

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO II

TECNOLOGIA DA ARGAMASSA E DO CONCRETO

- Idade do concreto. Verificação da resistência. Módulo de elasticidade. Ensaio.
- Durabilidade do concreto. Permeabilidade do concreto. Deformações do concreto, imediatas e lentas. Retração e expansão. Efeitos da variação de temperatura.

Tensão x Deformação do Concreto

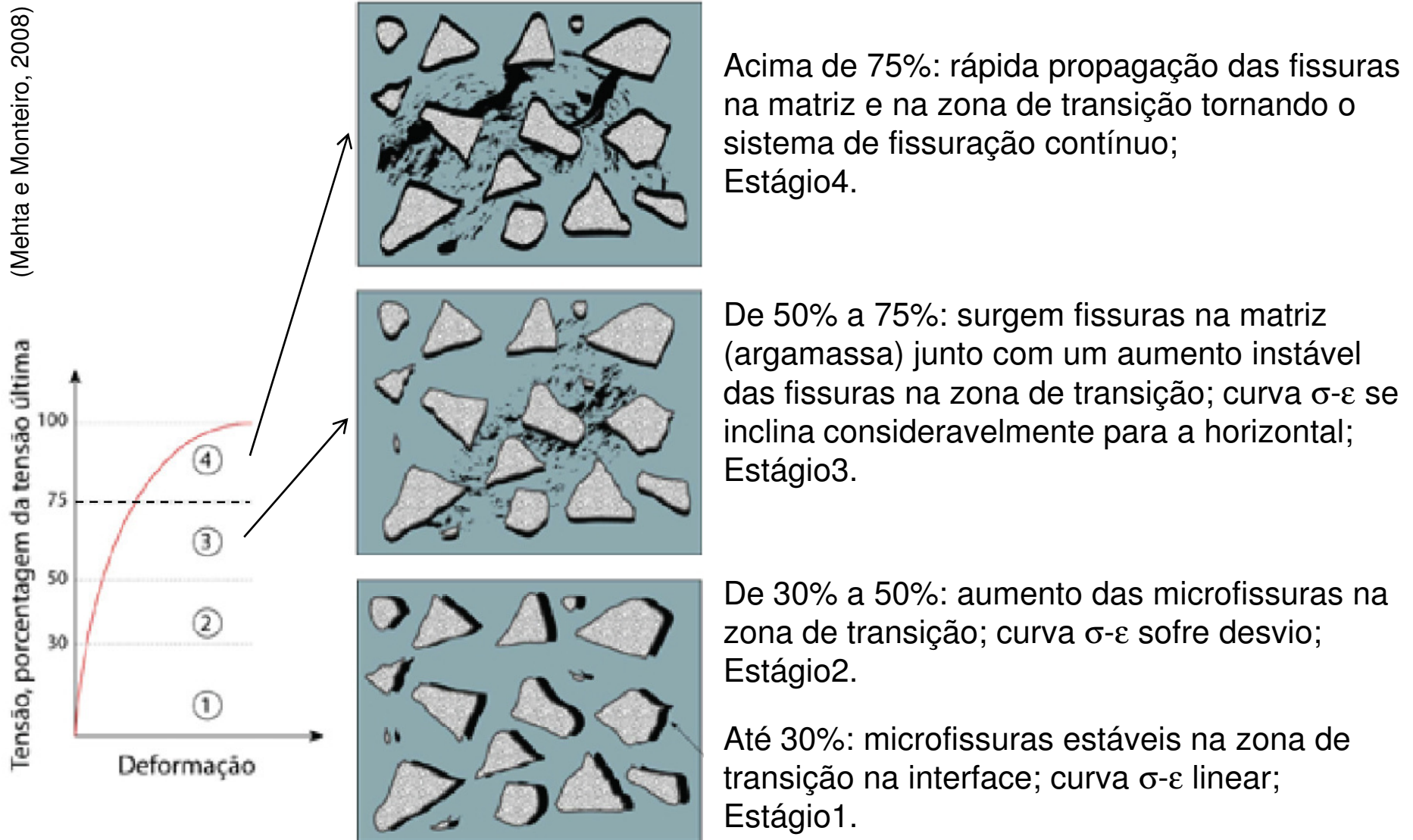
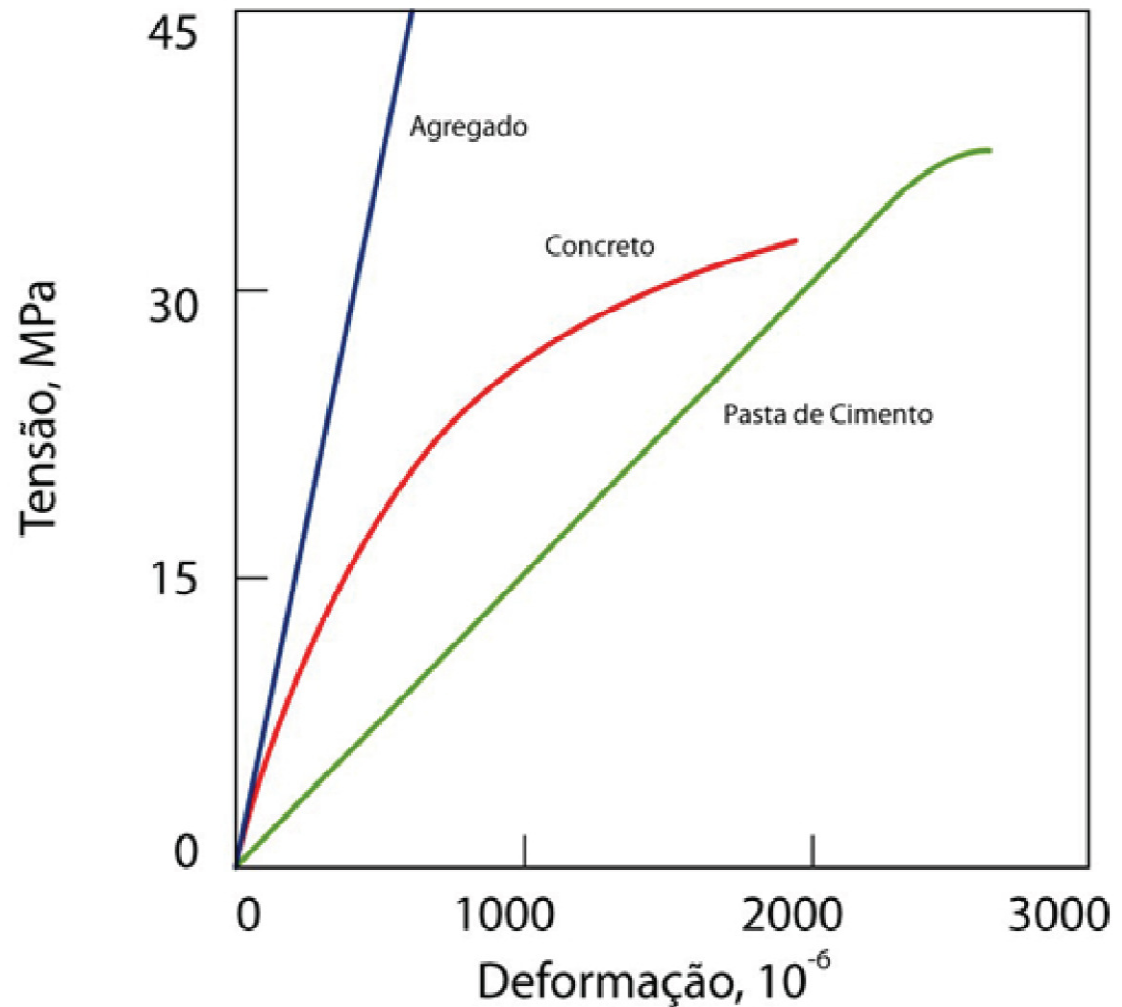


Gráfico Tensão x Deformação

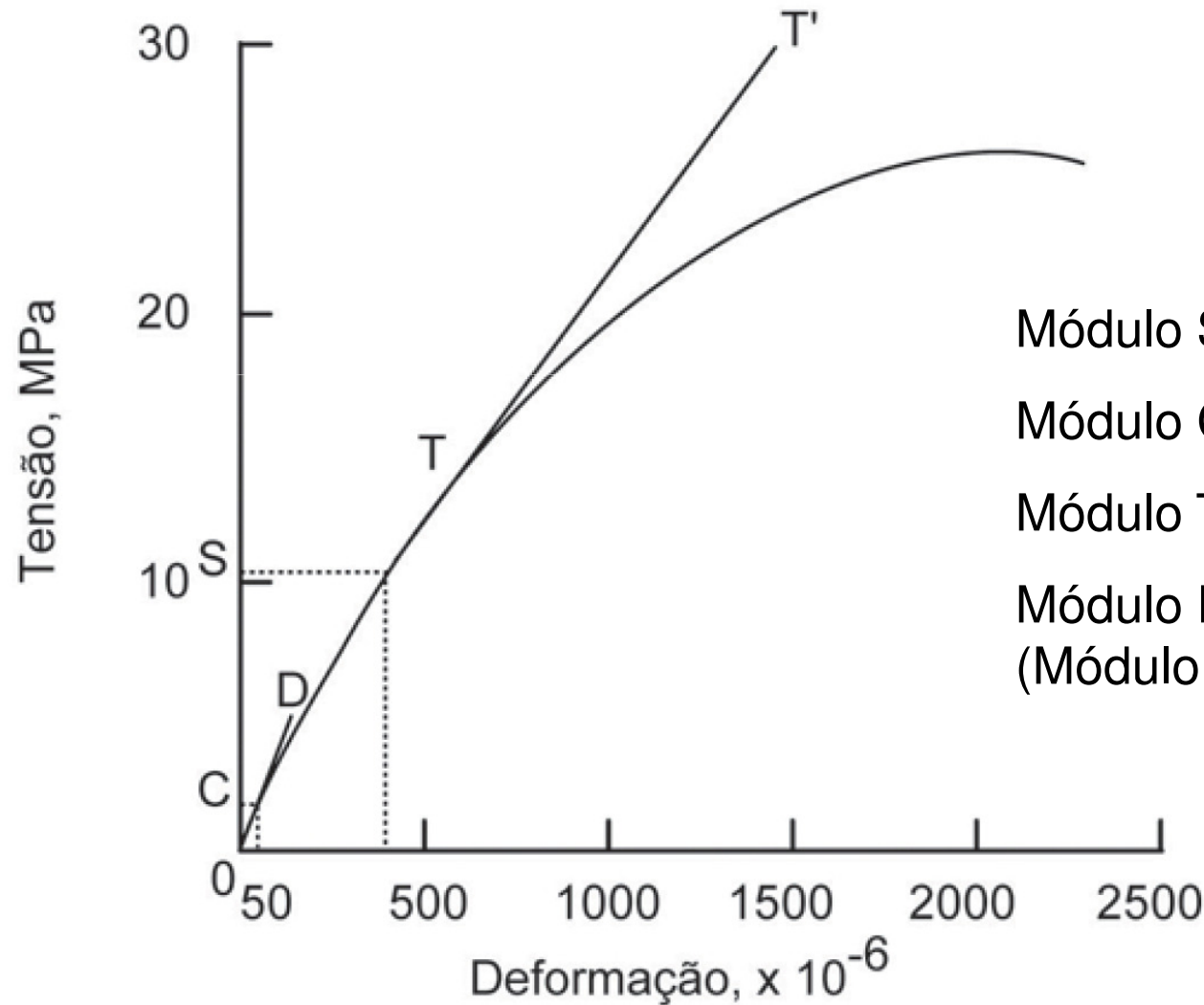
Concreto:

A pasta de cimento hidratada e os agregados apresentam em geral propriedade elásticas lineares, mas o concreto não.



(Mehta e Monteiro, 2008)

Módulo de Elasticidade



Módulo Secante: SO

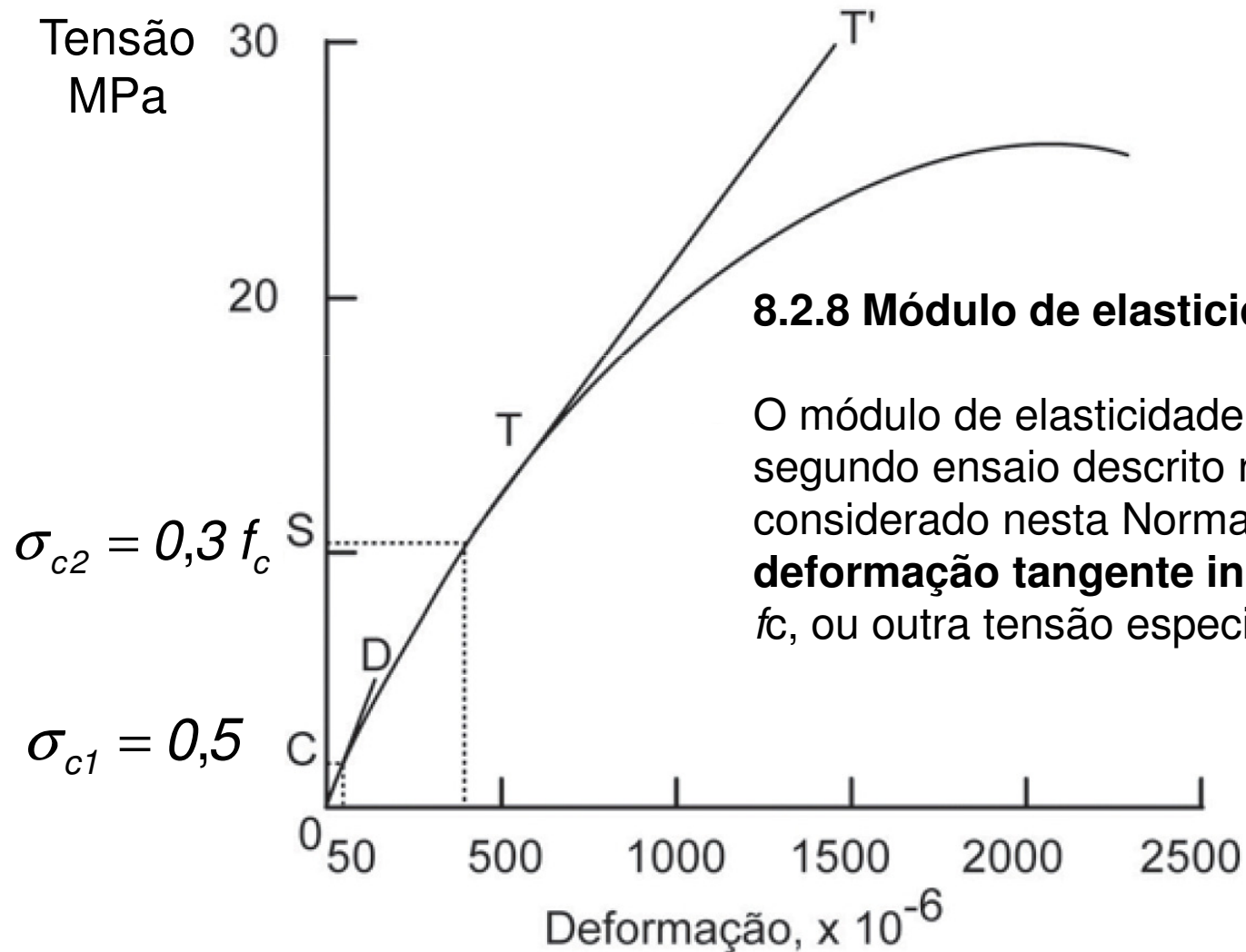
Módulo Cordal: SC

Módulo Tangente: TT'

Módulo Dinâmico: OD
(Módulo Tangente inicial)

Módulo de Elasticidade

NBR 6118:2003



8.2.8 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade deve ser obtido segundo ensaio descrito na **NBR 8522**, sendo considerado nesta Norma o **módulo de deformação tangente inicial cordal** a 30% f_c , ou outra tensão especificada em projeto.

Módulo de Elasticidade

NBR 6118:2003

Quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto usado na idade de 28 d, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade usando a expressão:

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2}$$

onde: **módulo de deformação tangente inicial cordal**

E_{ci} e f_{ck} são dados em megapascal.

O módulo de elasticidade numa idade $j \geq 7$ d pode também ser avaliado através dessa expressão, substituindo-se f_{ck} por f_{ckj} .

Quando for o caso, é esse o módulo de elasticidade a ser especificado em projeto e controlado na obra.

Módulo de Elasticidade

NBR 6118:2003

O módulo de elasticidade secante a ser utilizado nas análises elásticas de projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço, deve ser calculado pela expressão:

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci}$$

Na avaliação do comportamento de um elemento estrutural ou seção transversal pode ser adotado um módulo de elasticidade único, à tração e à compressão, igual ao **módulo de elasticidade secante** (E_{cs}).

Na avaliação do comportamento global da estrutura e para o cálculo das perdas de protensão, pode ser utilizado em projeto o módulo de deforcação tangente inicial (E_{ci}).

8.2.9 Coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade transversal

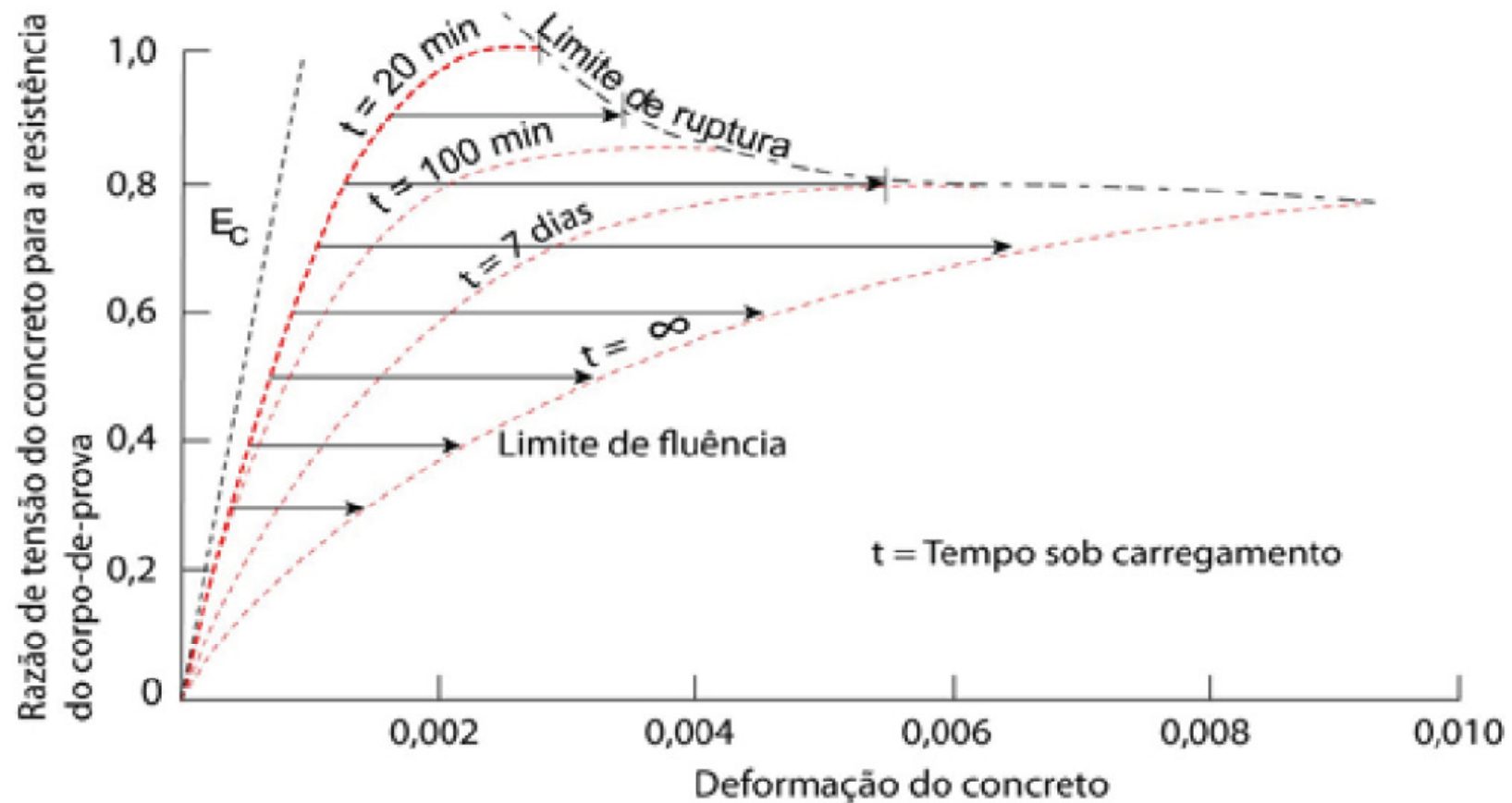
Para tensões de compressão menores que $0,5 f_c$ e *tensões de tração menores que f_{ct}* , o coeficiente de Poisson ν pode ser tomado como igual a 0,2 e o módulo de elasticidade transversal G_c igual a $0,4 E_{cs}$.

$$\nu = 0,2$$

$$G_c = 0,4 E_{cs}$$

Módulo de Elasticidade

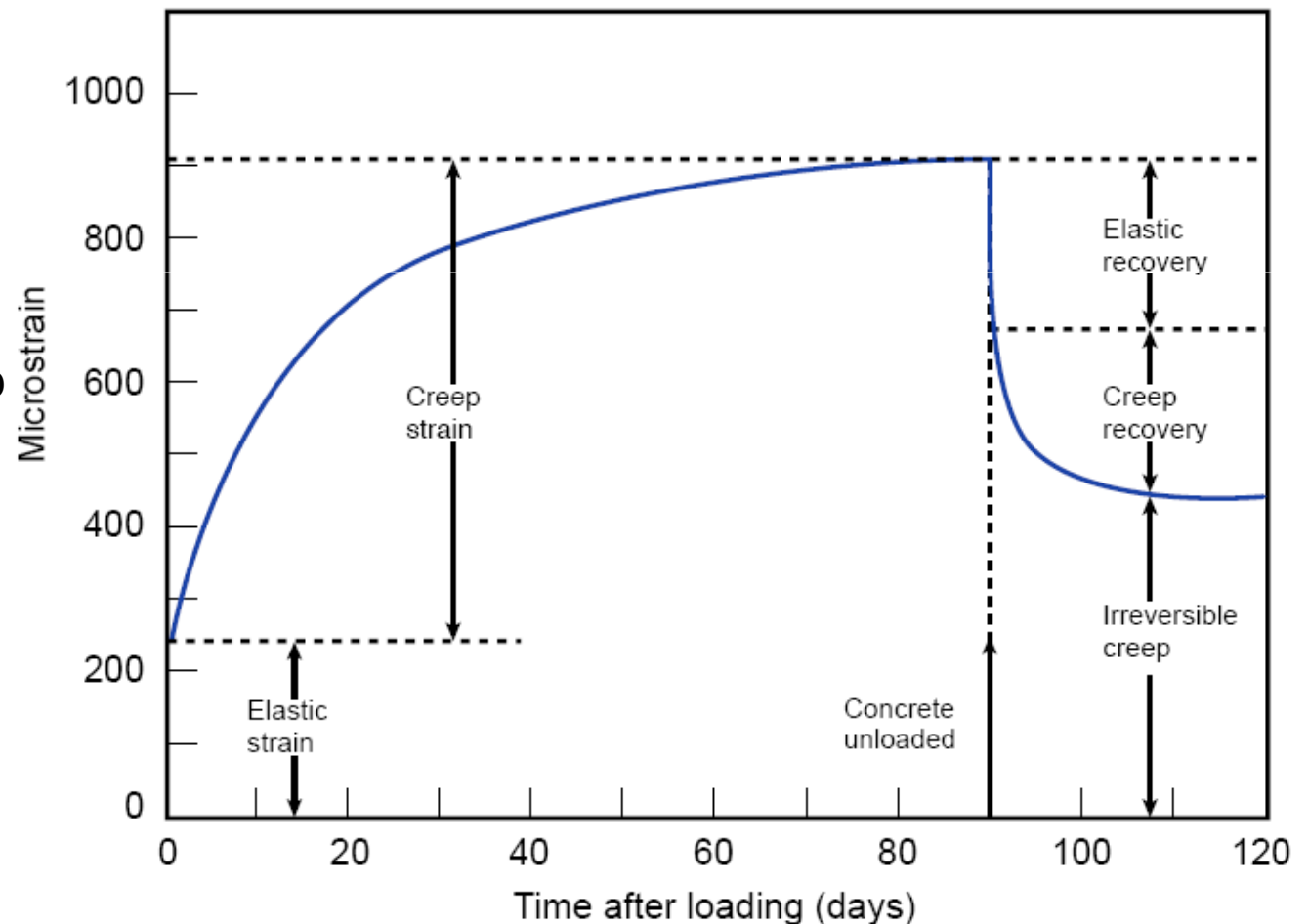
Fluência: (ou deformação lenta) fenômeno do aumento gradual da deformação ao longo do tempo sob um dado nível de tensão constante.



Deformação por fluência

Tipos ou reversibilidade da fluência:

- a pasta de cimento hidratada é que sofre a fluência
- o agregado contém a fluência
- logo, a fluência é função do volume da pasta/ volume de agregados
- é função ainda do módulo de elasticidade do agregado e da porosidade do concreto

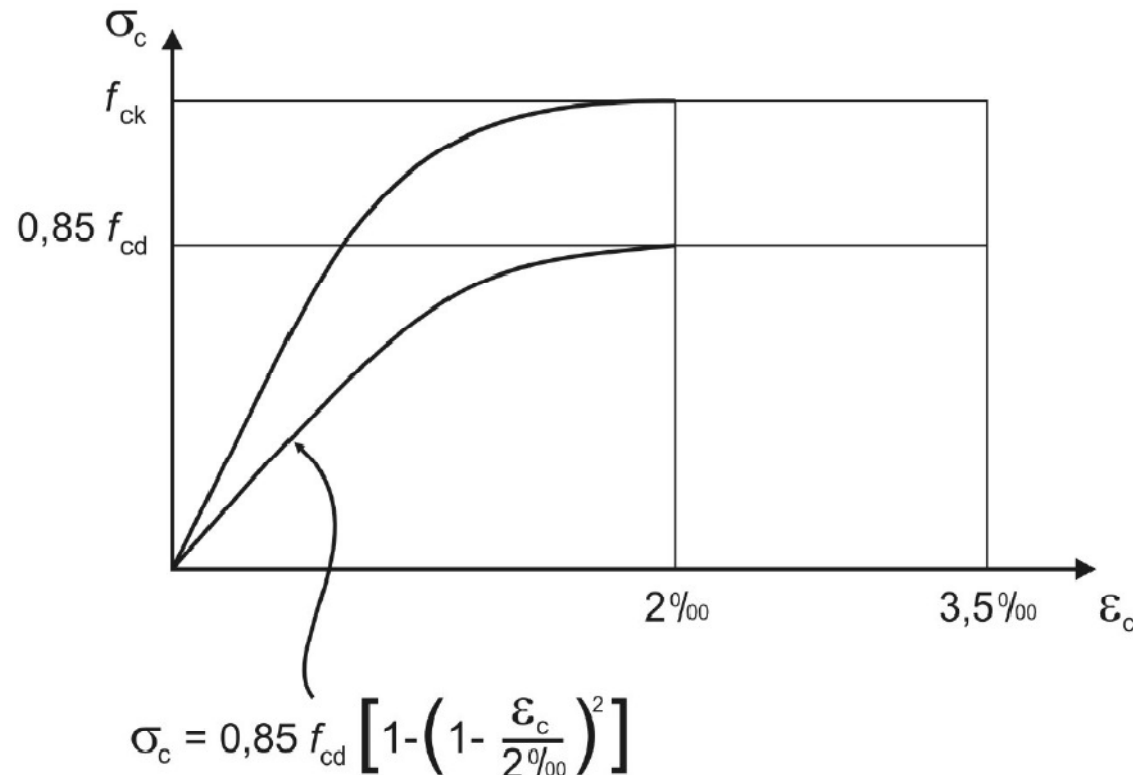


(Mehta e Monteiro, 2006)

Módulo de Elasticidade

NBR 6118:2003

Para tensões de compressão menores que $0,5 f_c$, pode-se admitir uma relação linear entre tensões e deformações, adotando-se para módulo de elasticidade o valor secante. Para análises no estado limite último, pode ser empregado o diagrama tensão-deformação idealizado mostrado na figura a seguir (ou as simplificações propostas na seção 17 da NBR-6118)



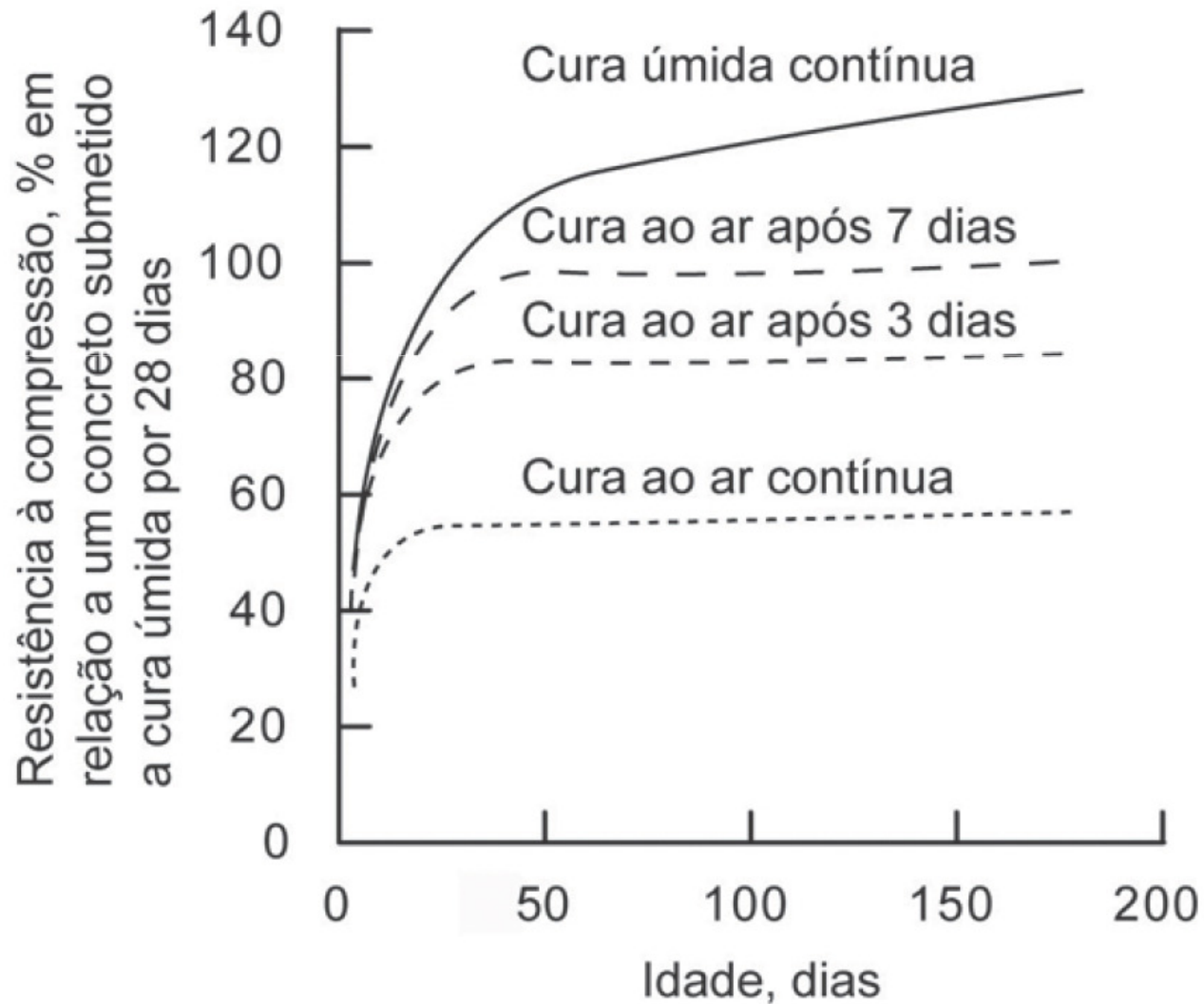
Cura do Concreto

Denomina-se período de cura o intervalo de tempo que corresponde às reações iniciais de hidratação do cimento e endurecimento do concreto.

Tal período e as condições de umidade e temperatura influenciam significativamente todas as propriedades do material, necessitando-se de cuidados especiais que favoreçam física e quimicamente a constituição da matriz de cimento.

Assim, deve-se garantir o tempo e a quantidade de água necessários para as reações de hidratação e para a constituição do gel, variáveis em função da composição química do cimento e eventuais adições.

Condições de Cura x Resistência



Períodos de Cura x tipo de cimento x fator a/c

Períodos mínimos de cura recomendados para concretos de cimento Portland

Tipo de cimento	Período mínimo de cura (dias) para relações água/cimento de:			
	0,35	0,55	0,65	0,70
CP I e CP II - 32	2	3	7	10
CP IV 32 (POZ)	2	3	7	10
CP III 32 (AF)	2	5	7	10
CP I e CP II 40	2	3	5	5
CP V (ARI)	2	3	5	5

Cura – NBR 6118:2003

14.1 Cura e outros cuidados

Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deverá ser protegido contra agentes prejudiciais, tais como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, agente químico, bem como contra choques e vibrações de intensidade tal que possa produzir fissuração na massa do concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura.

A proteção contra a secagem prematura, **pelo menos durante os 7 primeiros dias após o lançamento do concreto**, aumentado este munido quando a natureza do cimento o exigir, poderá ser feita mantendo-se umedecida a superfície ou protegendo-se com uma película impermeável. O endurecimento do concreto poderá ser antecipado por meio de tratamento térmico adequado e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem.

Tipos de Cura

- Cura com água: represamento ou aspersão contínua;
- Lonas plásticas, sacos de aniagem, manta geotêxtil constantemente umedecidos;
- Emulsão de resina acrílica (“película de cura”, “cura química”);
- Acelerada por aditivos
- Cura térmica (cuidado com o resfriamento)
- Cura à vapor

Retração

- Deformações em pastas de cimento, argamassas e concretos sem que haja qualquer tipo de carregamento.

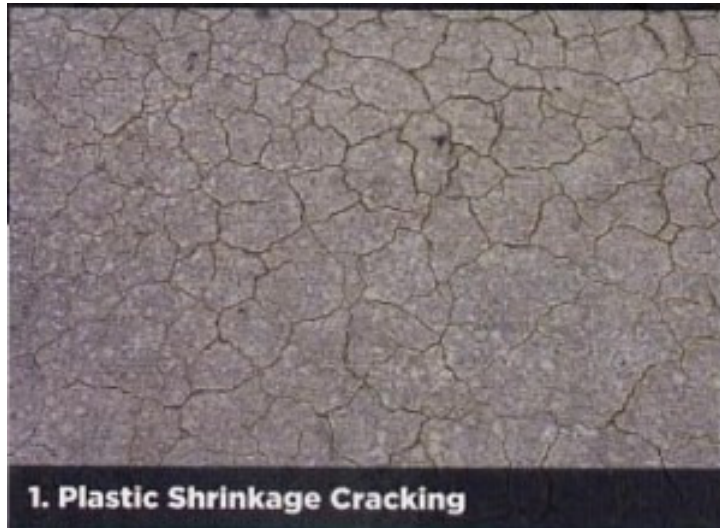


Figure 1: A typical plastic shrinkage crack.
(Courtesy of Portland Cement Association)

Retração

- Provocada por:
 - Dessecação superficial: vento, umidade relativa, temperatura
(Retração por secagem, ou plástica)
 - Vol dos silicatos < Vol cimento anidro + água
(Retração autógena, ou química)
 - Dilatação na hidratação, contração no resfriamento
(Retração térmica)
 - Reação da pasta com o CO₂
(Retração por carbonatação)

Retração Autógena

Diferenças da retração **AUTÓGENA** para a retração por secagem:

- não há perda de massa
- isotrópica
- não há gradiente de umidade

A água no concreto endurecido por ser classificada como:

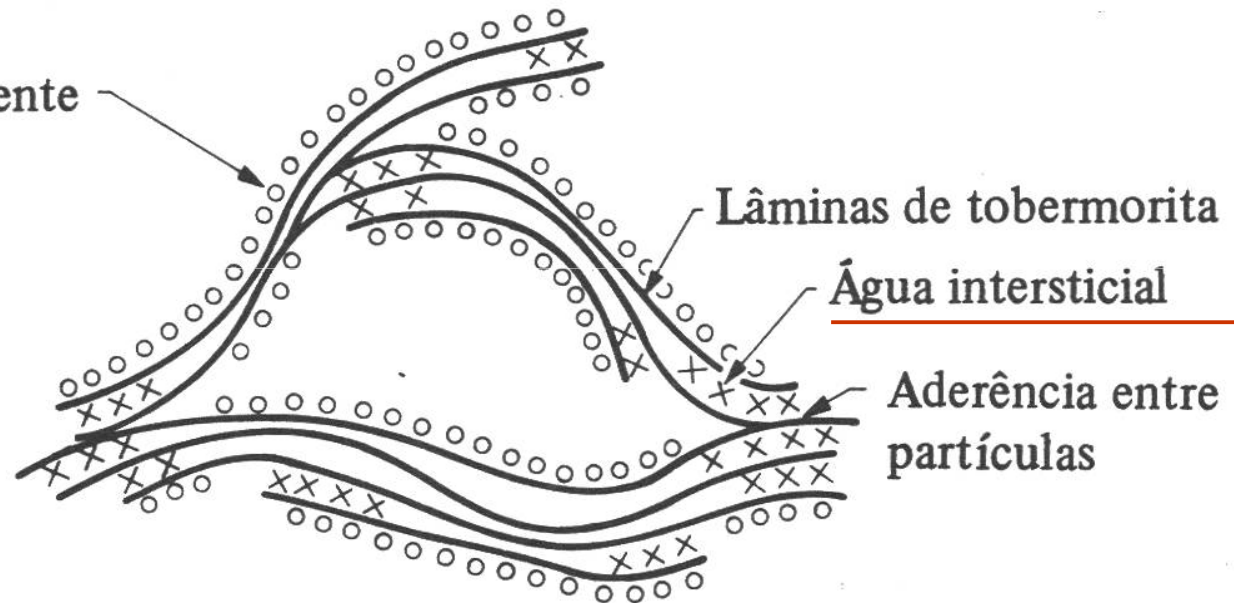
- Água livre → em geral não provoca retração
- Água adsorvida (fisicamente ou quimicamente)
→ principal responsável pela retração e fluência
- Água quimicamente combinada
→ só é perdida por aquecimento

Retração Autógena

Água adsorvida ou água retida no gel:

Água adsorvida fisicamente

retida pelas forças
superficiais das
partículas de gel



retida entre as superfícies de planos de cristalização

gel: massa coesiva do cimento hidratado

Deformações pela NBR 6118:2003

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_c(t_0) + \varepsilon_{cc}(t) + \varepsilon_{cs}(t)$$

$\varepsilon_c(t_0) = \sigma_c(t_0) / E_{ci}(t_0)$ é a deformação imediata, por ocasião do carregamento, com $E_{ci}(t_0)$ calculado, para $j = t_0$, pela expressão: $E_{ci}(t_0) = 5\,600 f_{ckj}^{1/2}$;

$\varepsilon_{cc}(t) = [\sigma_c(t_0) / E_{ci28}] \varphi(t, t_0)$ é a deformação por fluência, no intervalo de tempo (t, t_0) , com E_{ci28} calculado pela mesma expressão para $j = 28$ dias;

$\varepsilon_{cs}(t)$ é a deformação por retração, no intervalo de tempo (t, t_0) .

Tabela 8.1 - Valores característicos superiores da deformação específica de retração $\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_0)$ e do coeficiente de fluência $\varphi(t_\infty, t_0)$

Umidade ambiente %		40		55		75		90		
Espessura fictícia $2A_c/u$ cm		20	60	20	60	20	60	20	60	
$\varphi(t_\infty, t_0)$	t_0 dias	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
$\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_0)_{0/00}$	t_0 dias	5	- 0,44	- 0,39	- 0,37	- 0,33	- 0,23	- 0,21	- 0,10	- 0,09
		30	- 0,37	- 0,38	- 0,31	- 0,31	- 0,20	- 0,20	- 0,09	- 0,09
		60	- 0,32	- 0,36	- 0,27	- 0,30	- 0,17	- 0,19	- 0,08	- 0,09

Deformações pela NBR 6118:2003

Influência da idade de carregamento sobre a fluência

$$\varepsilon_{cc}(t) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_{ci28}} \cdot \varphi(t, t_0)$$

onde t_0 é a
idade do carregamento

