

Projeto de Estruturas de Concreto

NBR 6118 -2003



Propriedades dos materiais

Seção 8 (e Seção 12)

Lidia C. D. Shehata, UFF , COPPE-UFRJ

Convenções usadas (topo, à direita do slide)



Consta na NBR 6118-03, com eventuais complementações de norma, ou explicações, em verde



Consta em “Prática Recomendada IBRACON”
Comentários Técnicos NB-1

Comentários do autor

Propriedades dos materiais

MATERIAIS

Propriedades dependem dos componentes e sua proporção e do processo de fabricação

CONCRETO

AÇO

CONCRETO

COMPONENTES

- cimento
- água
- agregados miúdos
- agregados graúdos
- aditivos químicos
- adições

PROPORÇÕES

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

lançamento, compactação, condições ambientais, cura

Propriedades dos materiais



8.2 CONCRETO

8.2.1 CLASSES

Norma se aplica a concretos do grupo I (NBR 8953-92)

$f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$

Concreto com armadura passiva $f_{ck} \geq 20 \text{ MPa}$

Concreto com armadura ativa $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$

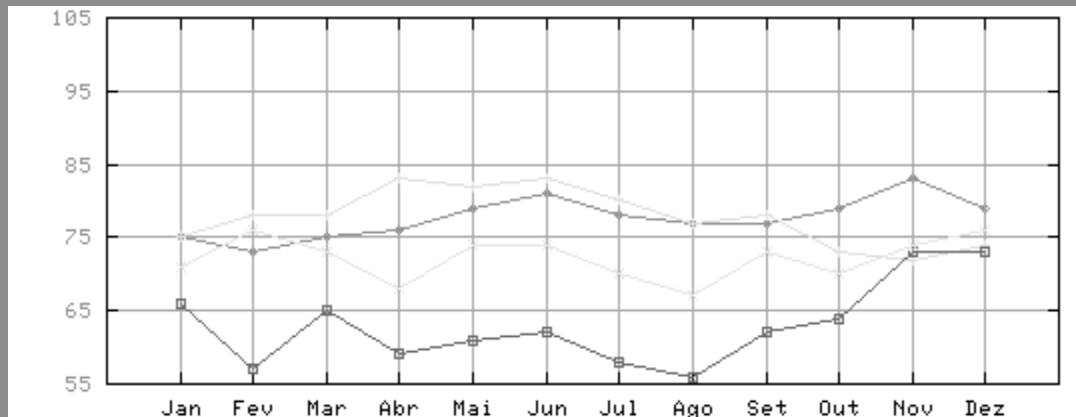
Critérios referentes à durabilidade devem ser atendidos (seções 6 e 7). Para CA:

Classe de agressividade moderada $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$, $A/C \leq 0,60$

Classe de agressividade forte $f_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$, $A/C \leq 0,55$

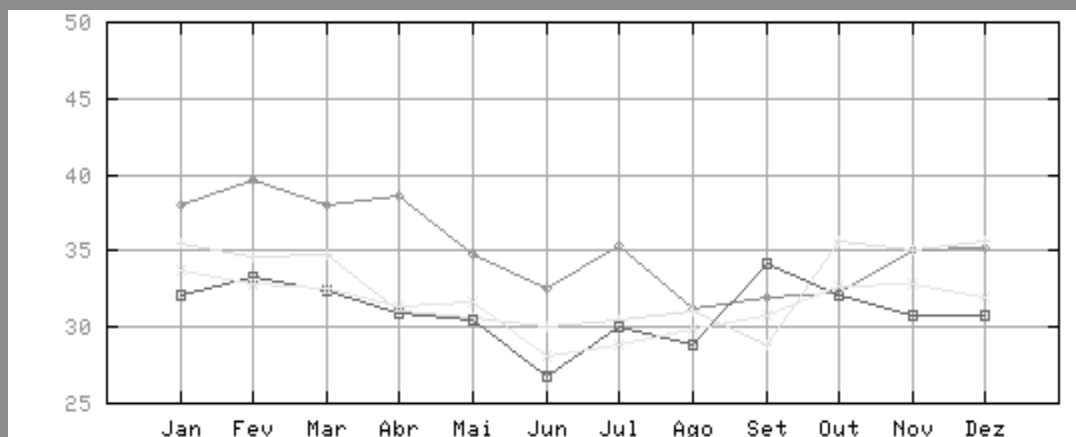
Condições ambientais

- clima
- qualidade do ar



Umidade (%) no período 2001
Fonte: INMET

— Rio de Janeiro
— Porto Alegre
— Belo Horizonte
— São Paulo



Temperatura Máxima (°C) em 2001
Fonte: INMET

— Rio de Janeiro
— Porto Alegre
— Belo Horizonte
— São Paulo

Propriedades dos materiais



8.2.2 MASSA ESPECÍFICA

Concretos secos em estufa com massa específica entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3

Para concretos com massa específica não conhecida, pode-se adotar 2400 kg/m^3 para concreto simples e 2500 kg/m^3 para concreto armado

Quando se conhecer a massa específica do concreto, pode-se considerar para massa específica do concreto armado esse valor acrescido de 100 kg/m^3 a 150 kg/m^3

Propriedades dos materiais



8.2.3 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA

Depende do tipo de agregado e da umidade do concreto, podendo variar entre cerca de $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ e $15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ nos concretos com agregados convencionais

Para efeito de análise estrutural, pode-se admitir $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Propriedades dos materiais



8.2.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Obtida de ensaios de cilindros moldados segundo a NBR 5738-94 e ensaiados segundo a NBR 5739-94

f_{cmj} correspondente a f_{ckj} estimada conforme indicado na NBR 12655-96 (idade j ?)

Depende da condição de preparo do concreto:

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 s$$

Condição A (C10 a C80) : $1,65 s = 6,6 \text{ MPa}$

Condição B (C10 a C25) : $1,65 s = 9,1 \text{ MPa}$

Condição C (C10 e C15) : $1,65 s = 11,6 \text{ MPa}$

f_{cj} deve ser obtida a partir de ensaios. Na falta destes, pode-se ter como orientação os valores indicados em 12.3.3

Resistência à compressão f_{cj}



12.3.3 RESISTÊNCIA DE CÁLCULO DO CONCRETO

$$f_{cdj} = f_{ckj} / \gamma_c$$

$$\frac{f_{ckj}}{f_{ck28}} = e^{s(1 - \sqrt{28/j})}$$

(CEB-FIP MC90, EC2-01, para f_{cmj})

f_{cj} resistência à compressão do concreto na idade j (dias)

f_{c28} resistência à compressão do concreto aos 28 dias

s depende do tipo de cimento

0,38 CP III (alto forno), CP IV (pozolânico)

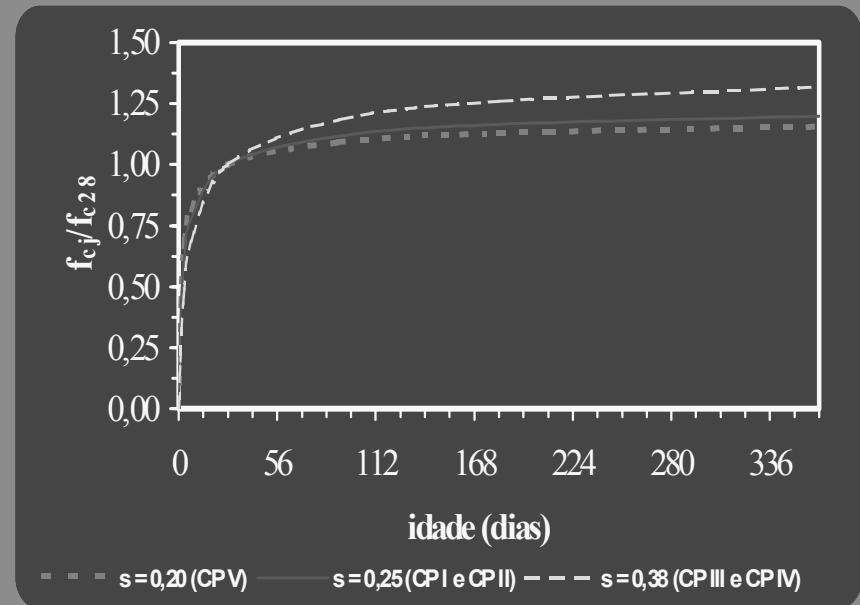
0,25 CP I (comum), CP II (composto)

0,20 CP V (alta resistência inicial)

$f_{cj}/f_{c28} = 1$ é considerado para j maior que 28 dias

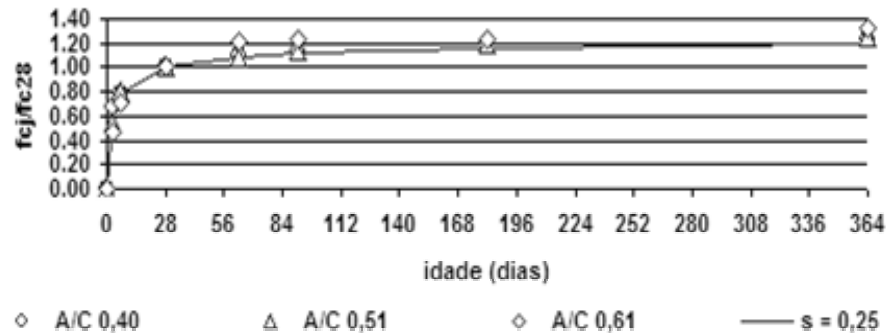
Valores estimados de f_{cj}/f_{c28}

CP	Idade j (dias)				
	3	7	14	28	365
III IV	0,46	0,68	0,85	1	1,32
I II	0,59	0,78	0,90	1	1,20
V	0,66	0,82	0,92	1	1,16

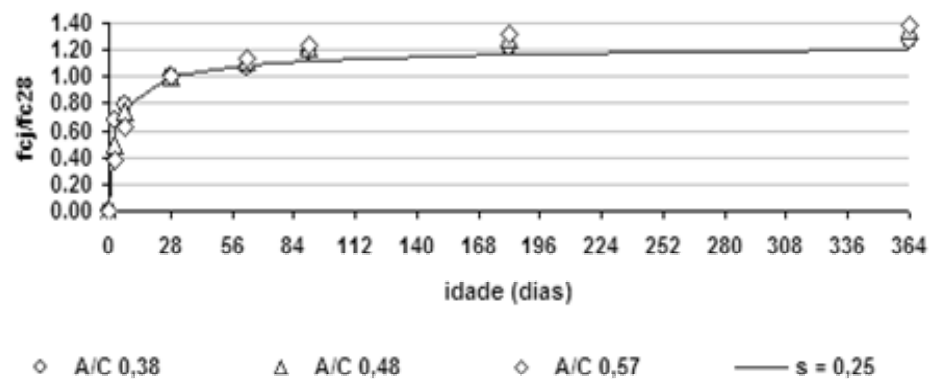


CP III (alto forno), CP IV (pozolânico)
 CP I (comum), CP II (composto)
 CP V (alta resistência inicial)

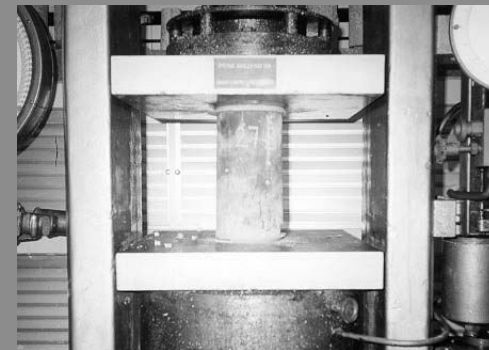
Comparação de f_{cj}/f_{c28} experimentais com calculados



Consistência fluida (200 mm)



Consistência plástica (100 mm)



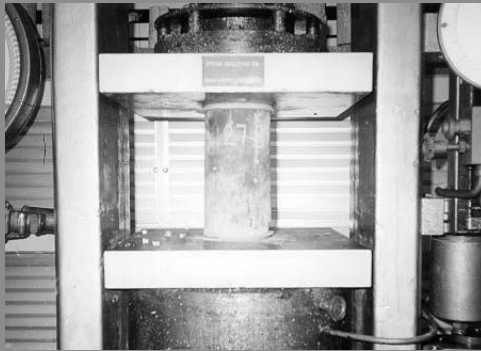
CP II E

C= 300 a 540 kg/m³

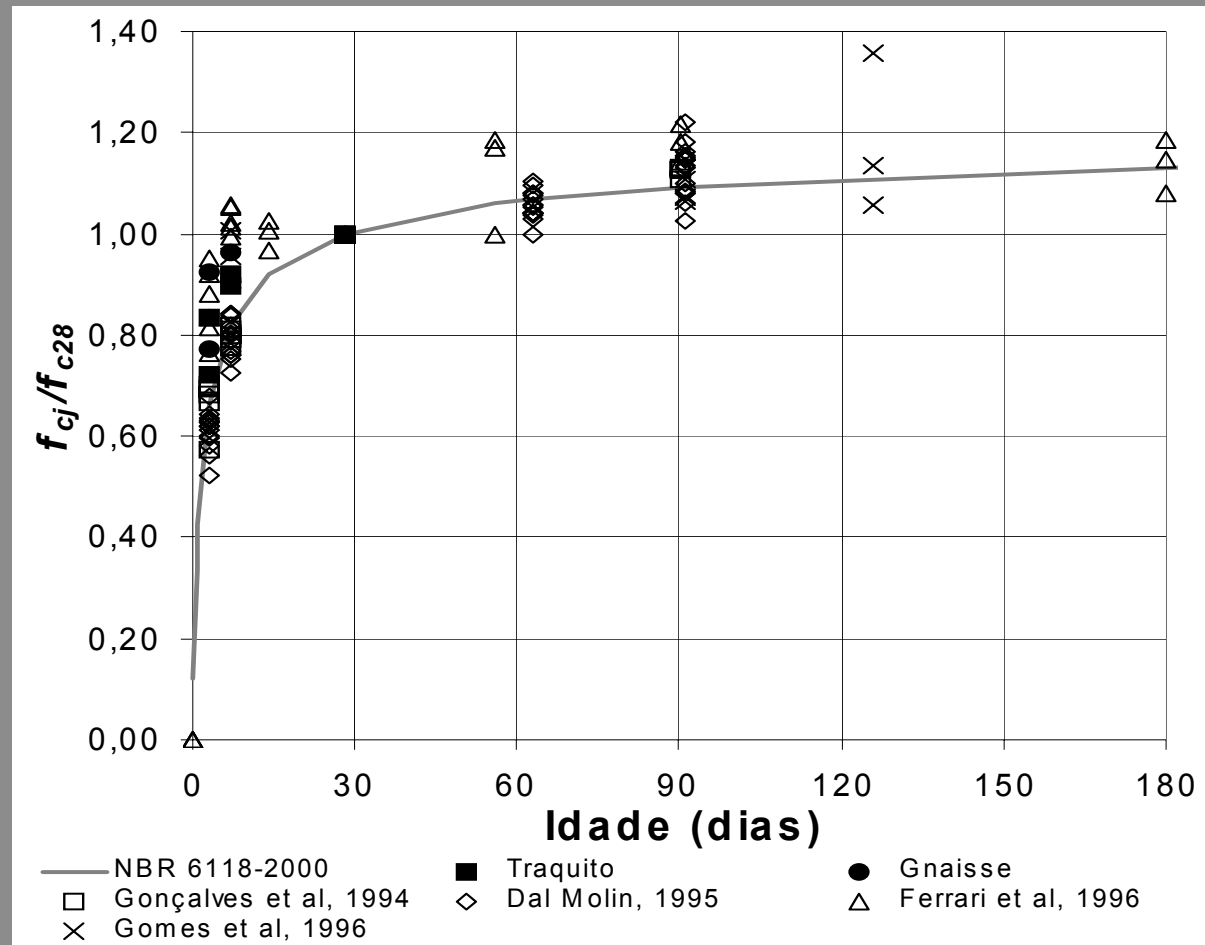
Sem aditivos e adições

f_{c28} = 26 a 62 MPa

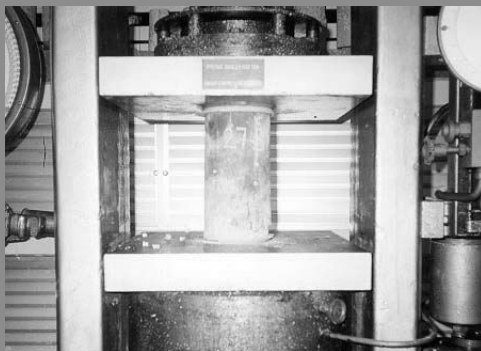
Comparação de f_{cj}/f_{c28} experimentais com calculados



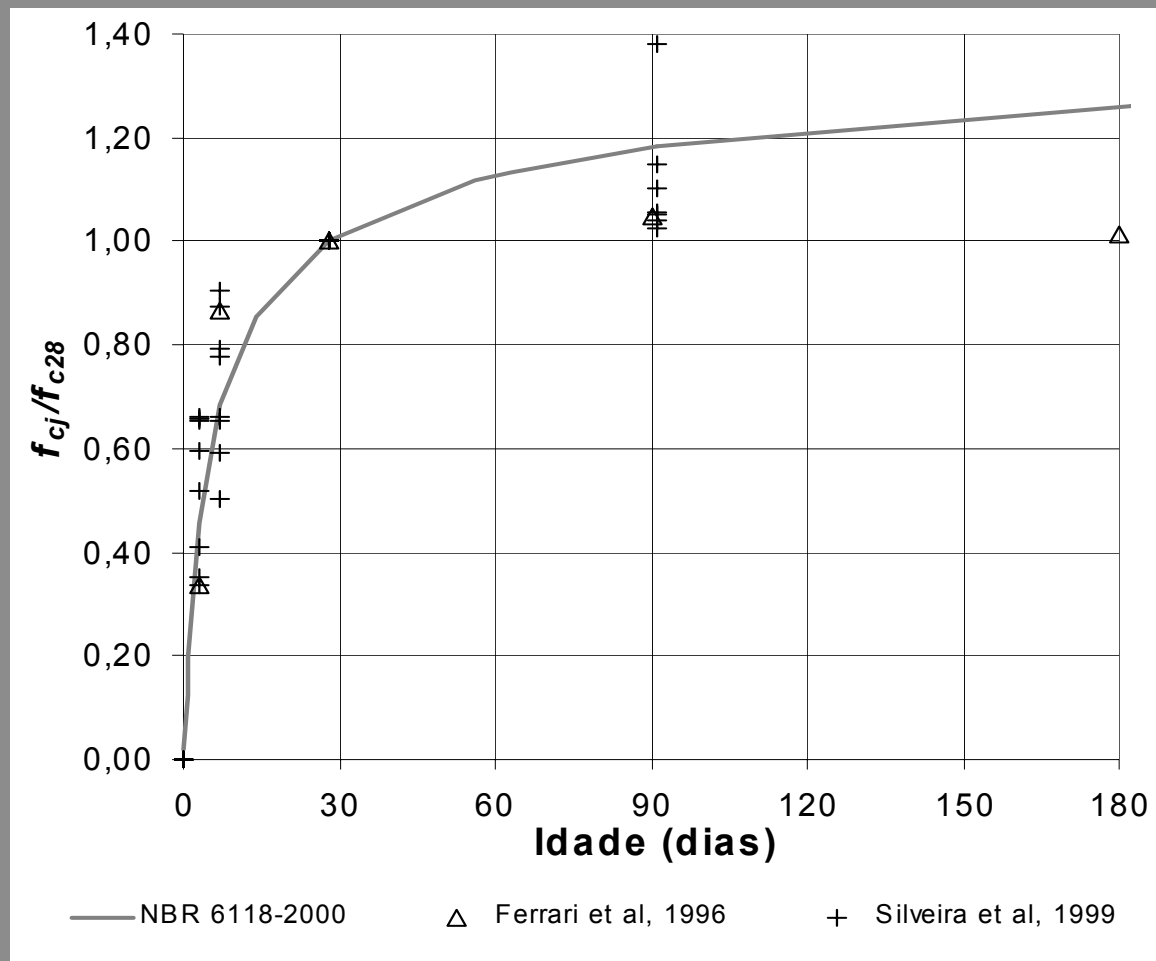
CP V



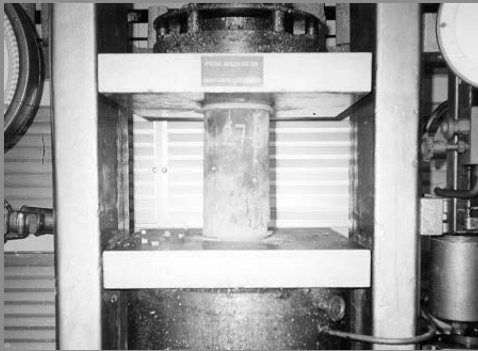
Comparação de f_{cj}/f_{c28} experimentais com calculados



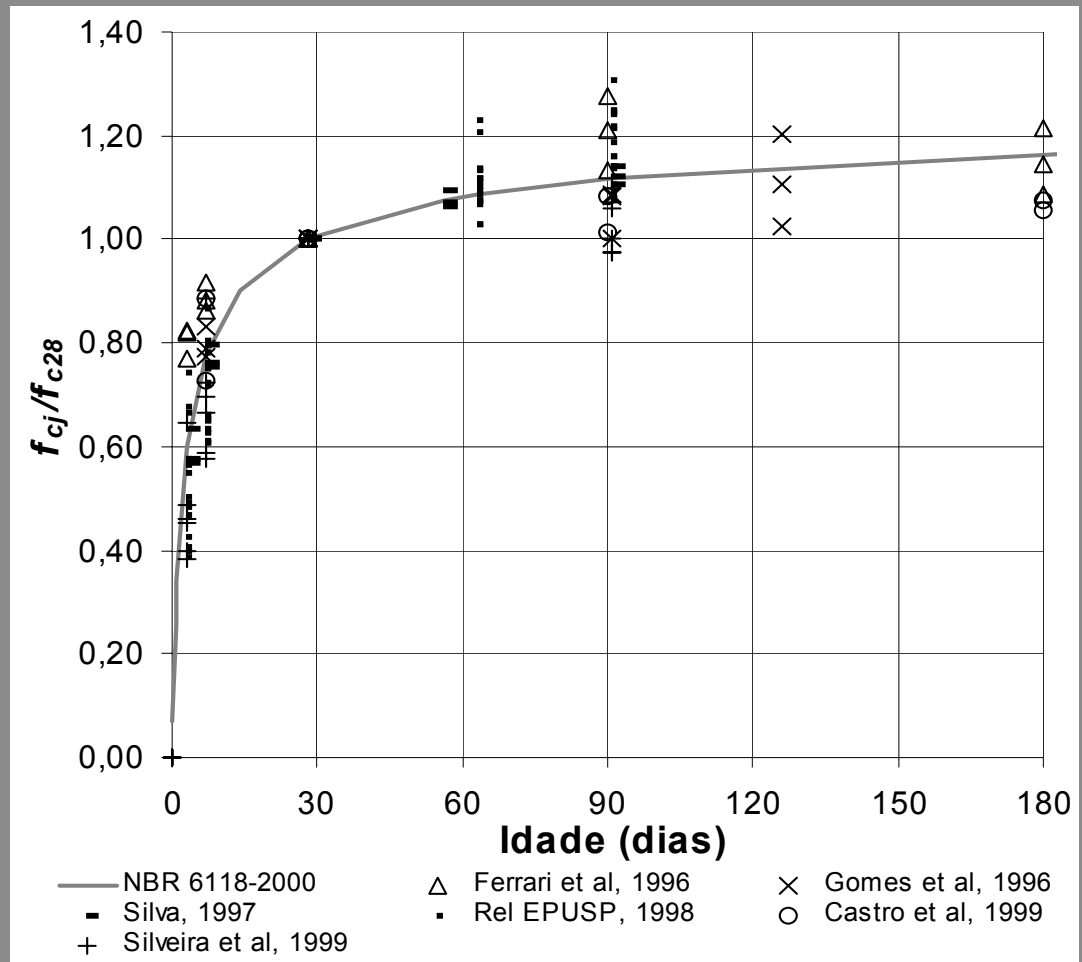
CP III



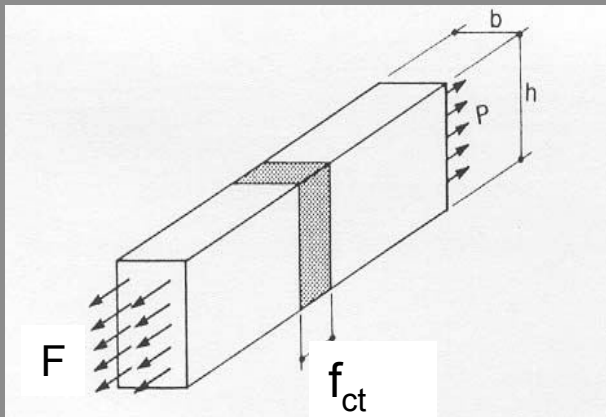
Comparação de f_{cj}/f_{c28} experimentais com calculados



CP II

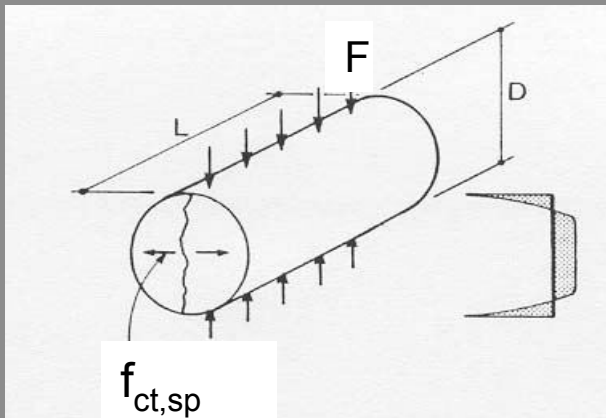


Resistência à tração



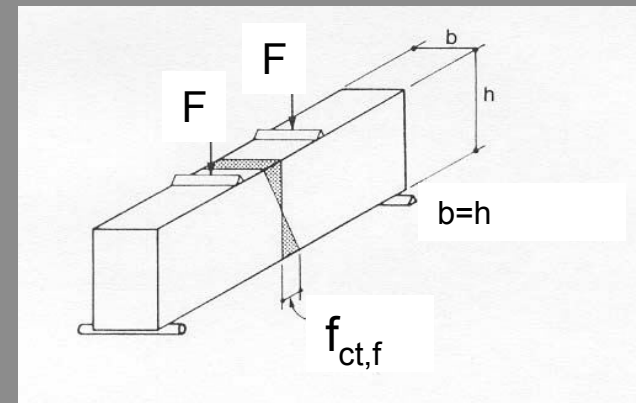
Direta (determinada só em pesquisa, tomada como referência)

$$f_{ct} = F/(bh)$$



Indireta (NBR 7222-94)
Compressão diametral

$$f_{ct,sp} = 2F/(\pi LD)$$



Flexão (NBR 12142-91)

$$f_{ct,f} = M_{cr}/(bh^2/6)$$

Propriedades dos materiais



8.2.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Resistência à tração indireta $f_{ct,sp}$ e resistência à tração na flexão $f_{ct,f}$ a serem obtidas de ensaios segundo as NBR 7222-94 e NBR 12142-91.

Resistência à tração direta f_{ct} pode ser considerada igual a

$$0,9 f_{ct,sp}$$
$$0,7 f_{ct,f}$$

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

(cálculo de armadura para controle de fissuração devida a deformações impostas, abertura de fissura, armadura transversal mínima)

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ctm}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ctm}$$

(cálculo de f_b e V_c)

(cálculo de armadura longitudinal mínima)

A expressão de f_{ctm} pode ser usada para idades diferentes de 28 dias, se $f_{cj} \geq 7 \text{ MPa}$

Resistência à tração

Comparação com normas anteriores

$$f_{\text{ctk,inf}} = 0,7 f_{\text{ctm}}$$

NBR 6118-78

$$f_{\text{ctk}} = f_{\text{ck}}/10$$

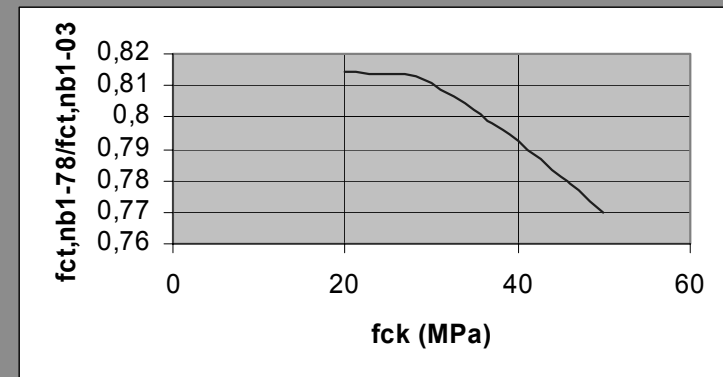
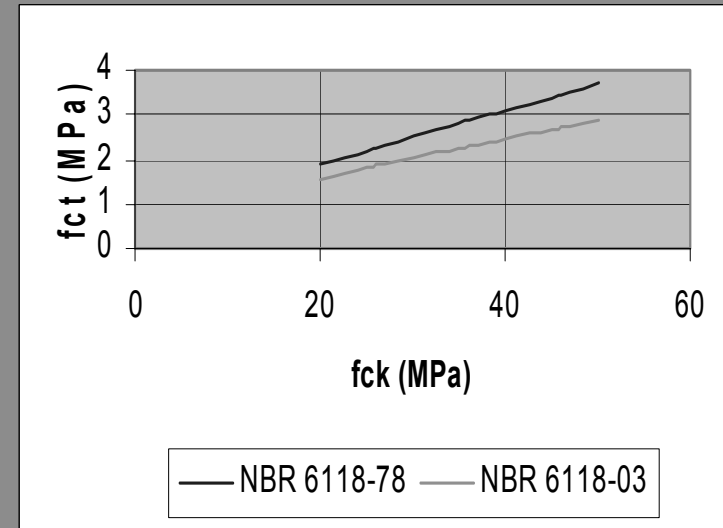
$$f_{\text{ctk}} = 0,06 f_{\text{ck}} + 0,7$$

$$f_{\text{ck}} \leq 18 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{ck}} \geq 18 \text{ MPa}$$

NBR 7187-87 (Pontes)

$$f_{\text{ctkj}} = 0,21 f_{\text{ckj}}^{2/3} = 0,7 f_{\text{ctm}}$$

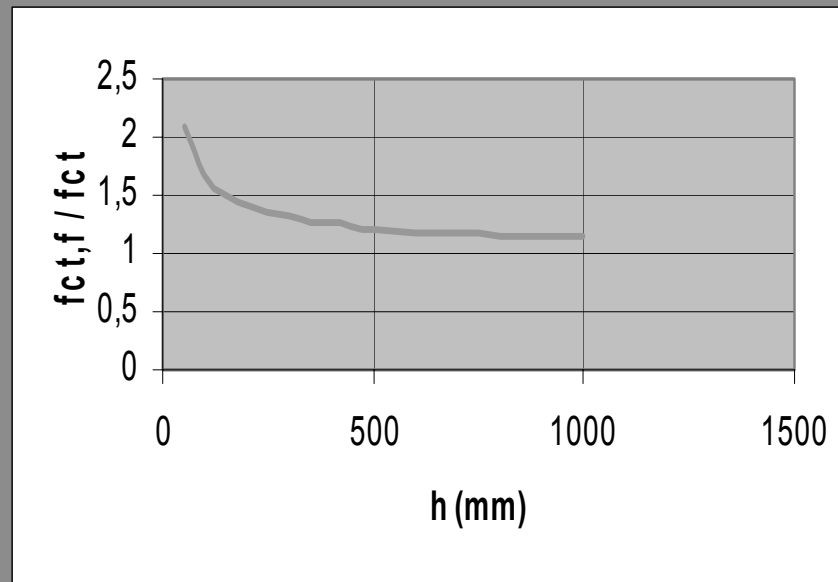


Resistência à tração

$$f_{ct} = 0,7 f_{ct,f}$$

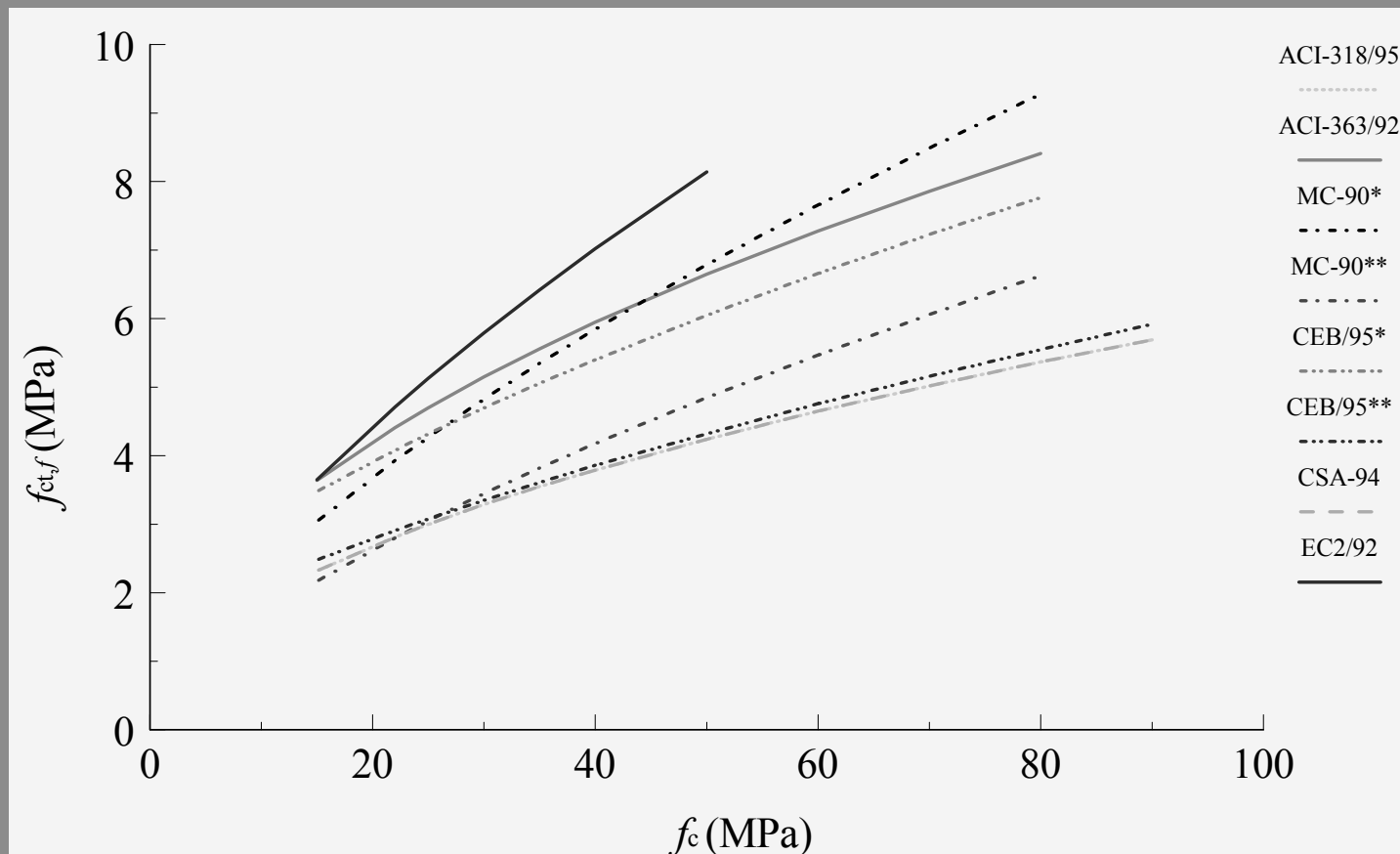


$$f_{ct,f} = 1,4 f_{ct}$$



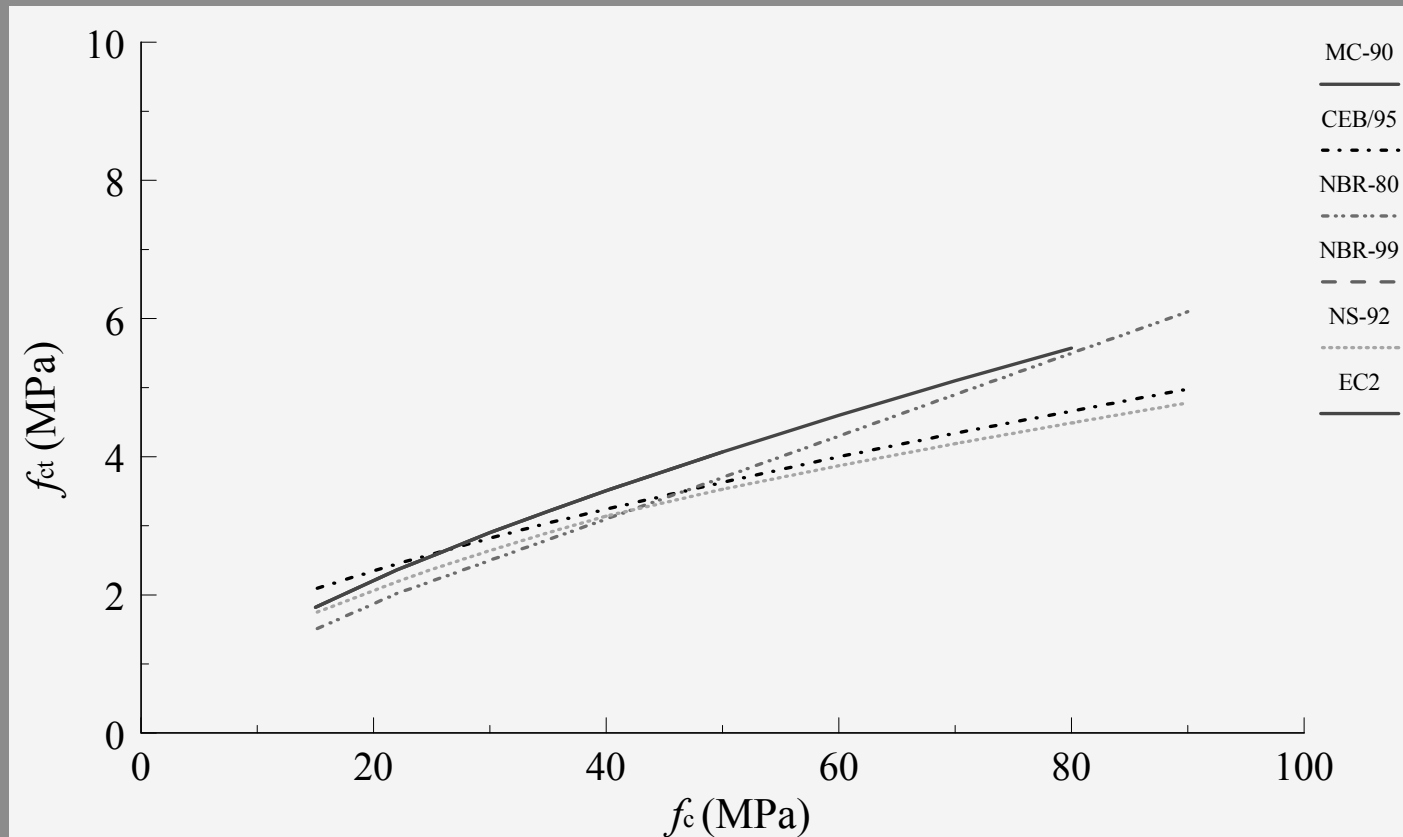
Relação entre $f_{ct,f}$ e f_{ct} segundo o CEB-FIP MC90

Resistência à tração na flexão avaliada segundo diferentes expressões



* $h = 100 \text{ mm}$ ** $h = 600 \text{ mm}$

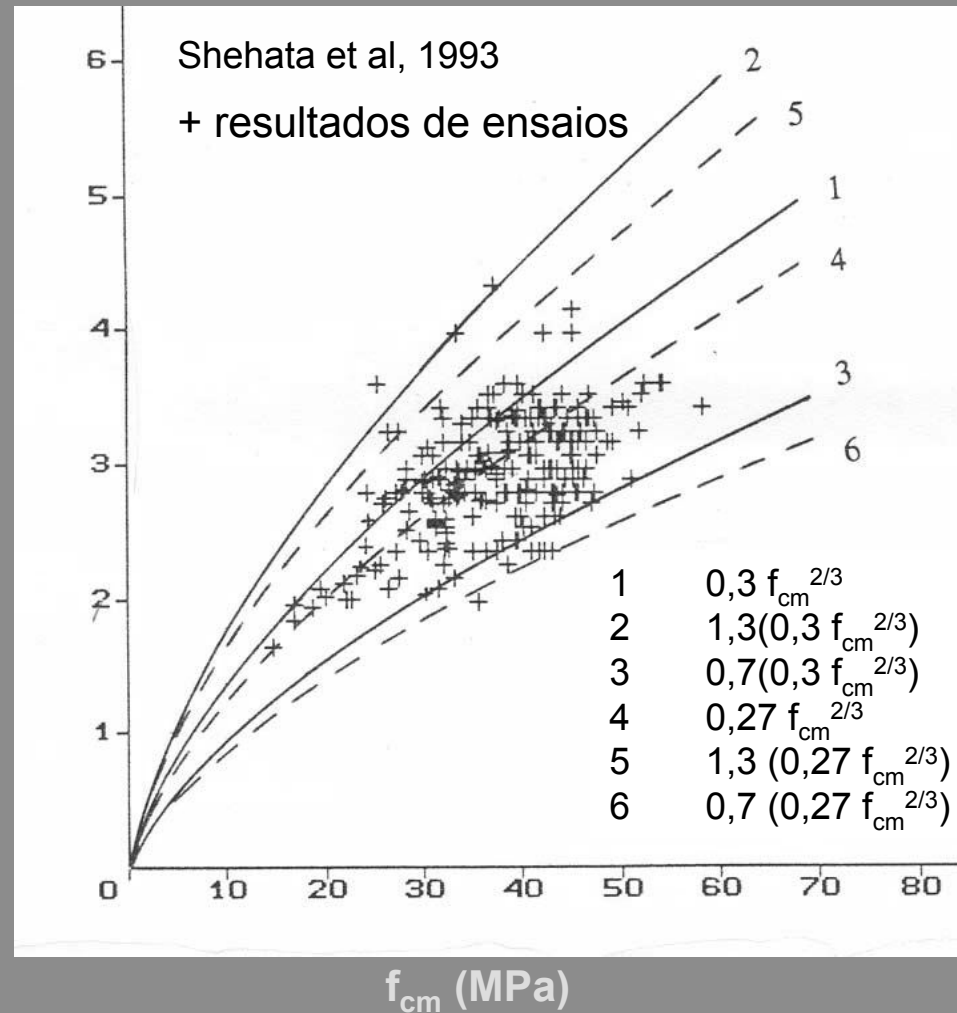
Resistência à tração direta avaliada segundo diferentes expressões



Resistência à tração

$$f_{ctm} = k_t f_{cm}^k$$

f_{ctm} (MPa)



Considerou-se

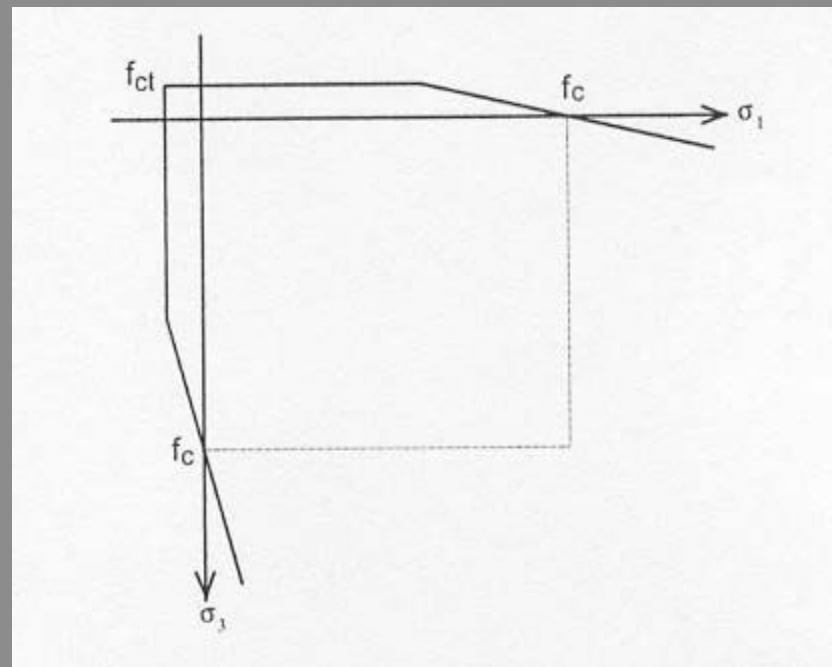
$$f_{ct} = 0,9 f_{ct,sp}$$

$$0,27 f_{cm}^{2/3} \sim 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

Propriedades dos materiais



8.2.6 RESISTÊNCIA NO ESTADO MULTIAXIAL DE TENSÕES



$$|\sigma_1| \leq f_{ctk}$$

$$|\sigma_3| \leq (f_{ck} + 4|\sigma_1|)$$

Propriedades dos materiais



8.2.8 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Ensaio, segundo a NBR 8522-84, para obter o módulo de deformação tangente inicial cordal para $\sigma_c = 0,3 f_c$ ou outra tensão especificada em projeto. Quando não existirem ensaios ou dados mais precisos, pode-se adotar

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

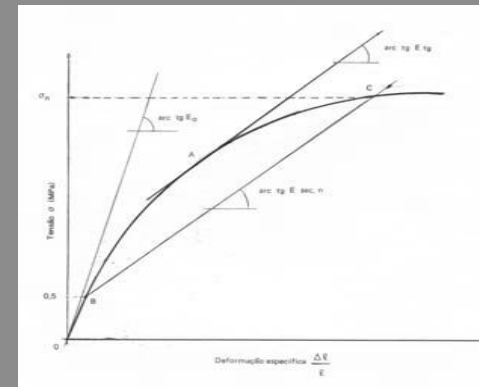
E_{ci} e f_{ck} em MPa

Esta expressão pode ser usada para idade ≥ 7 dias.

E_{ci} é o módulo a ser especificado em projeto e controlado na obra (?).

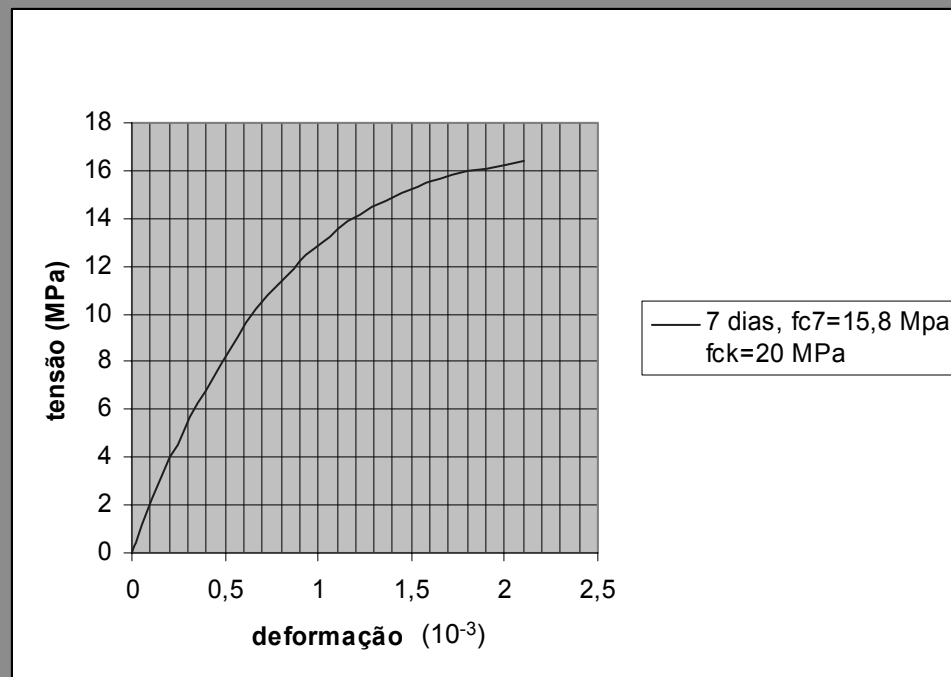
Módulo secante a ser usado nas análises elásticas:

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



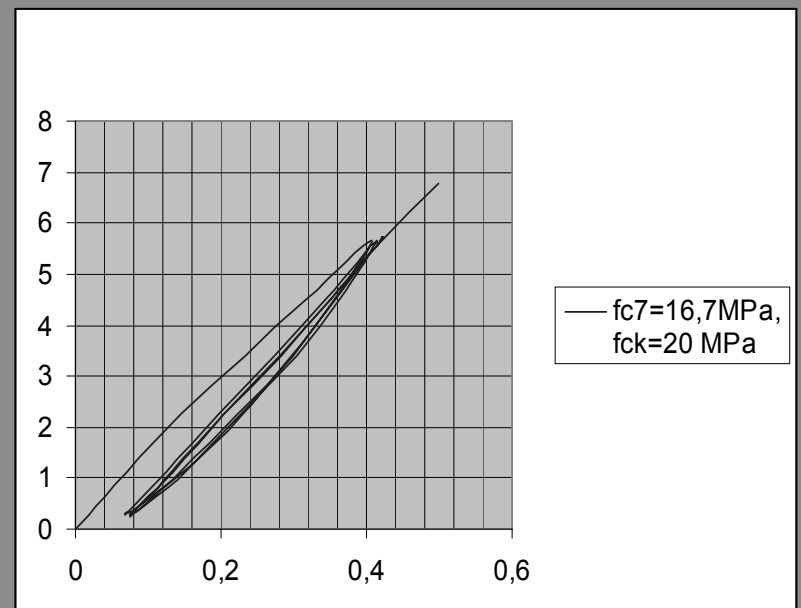
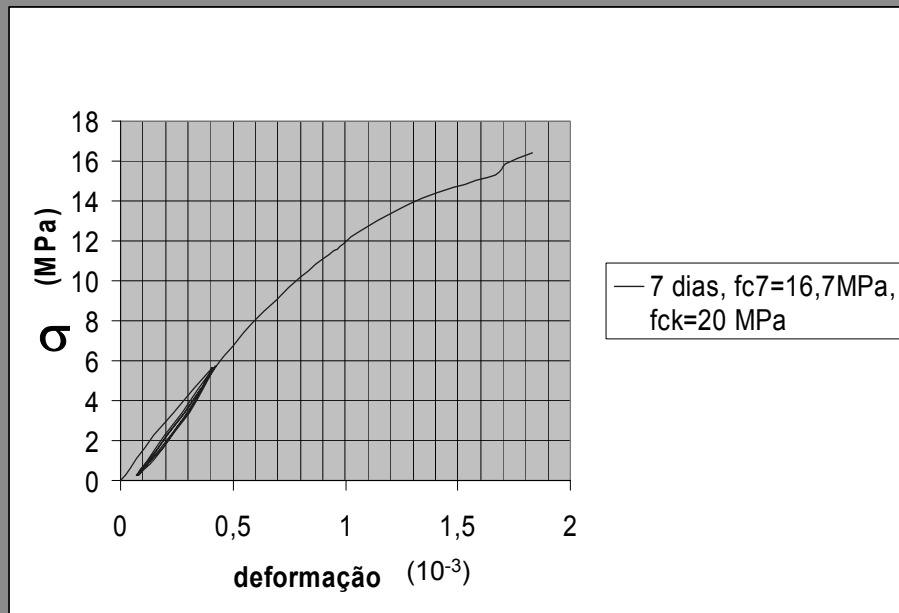
Módulo de elasticidade

Determinação do diagrama tensão- deformação



Módulo de elasticidade

Determinação do módulo tangente na origem



Módulo de elasticidade

Comparação com normas anteriores

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

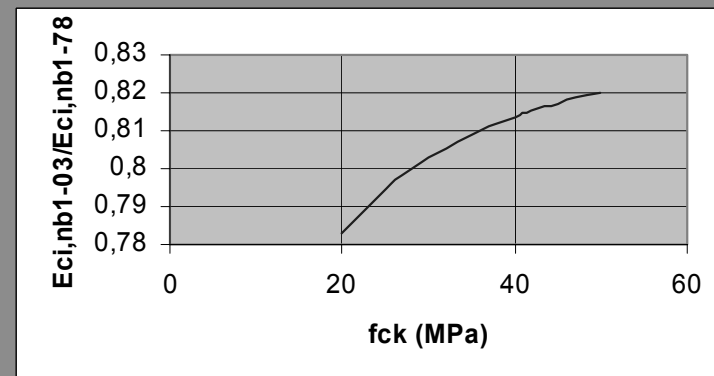
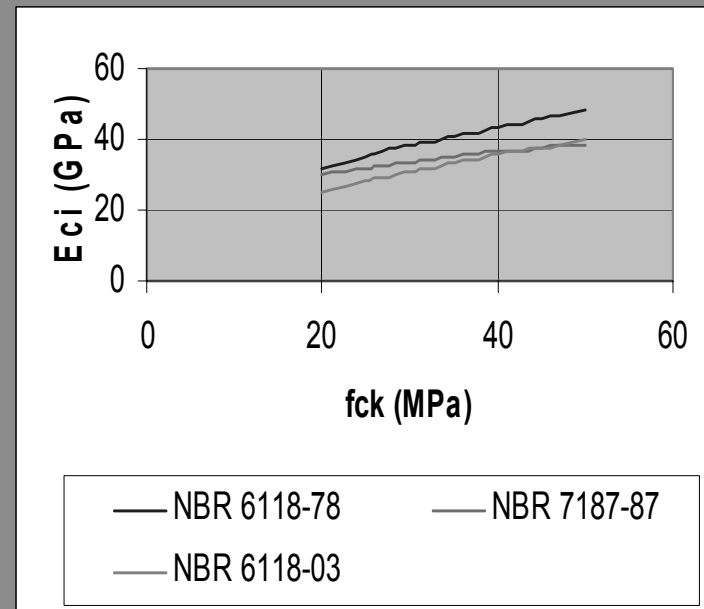
NBR 6118-78

$$E_{ci} = 6600 (f_{ckj} + 3,5)^{1/2}$$

NBR 7187-87 (Pontes)

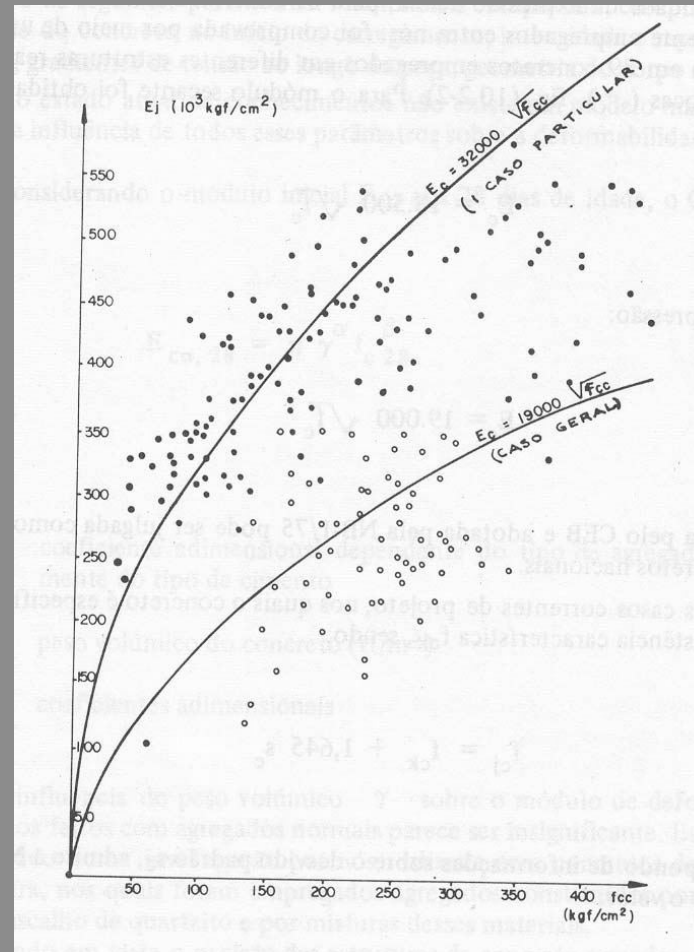
$$E_{cs} = 9500 (f_{ckj} + 8)^{1/3}$$

E_c e f_{ck} em MPa



Módulo de elasticidade

NBR 6118-78
(Fusco, 1976)

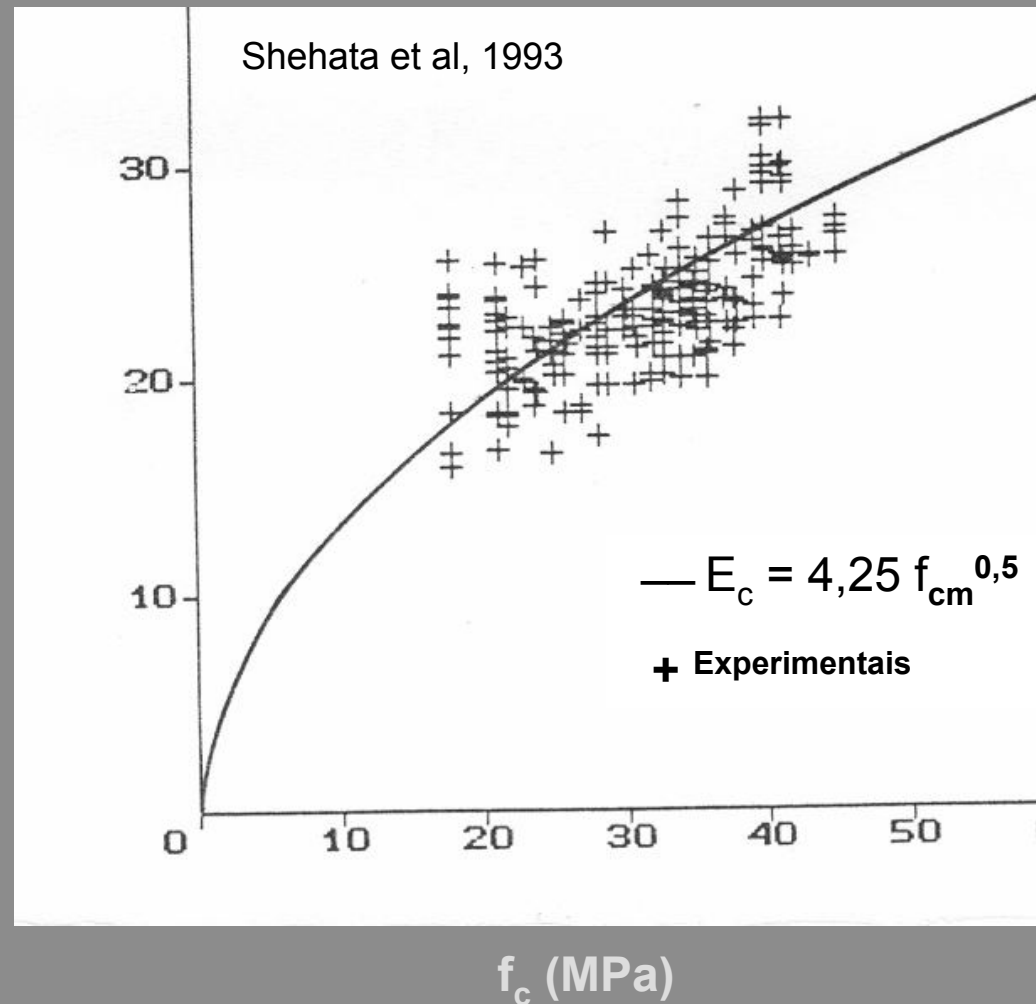


Módulo de elasticidade

$$E_c = K_e (f_c)^k$$

K_e depende dos agregados

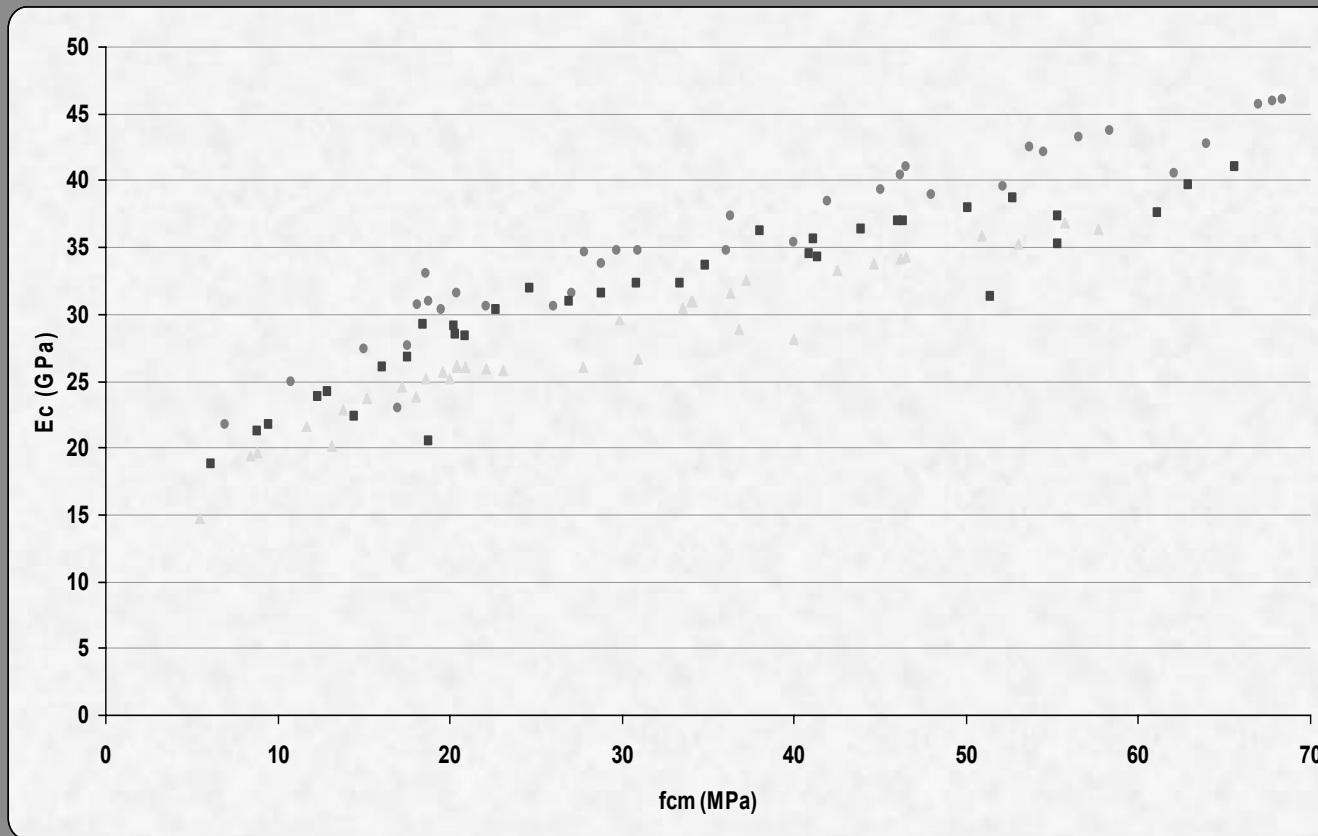
E_c (GPa)



Concretos com
agregados do Rio
de Janeiro

Módulo de elasticidade

Concretos com agregados de São Paulo (brita de granito)

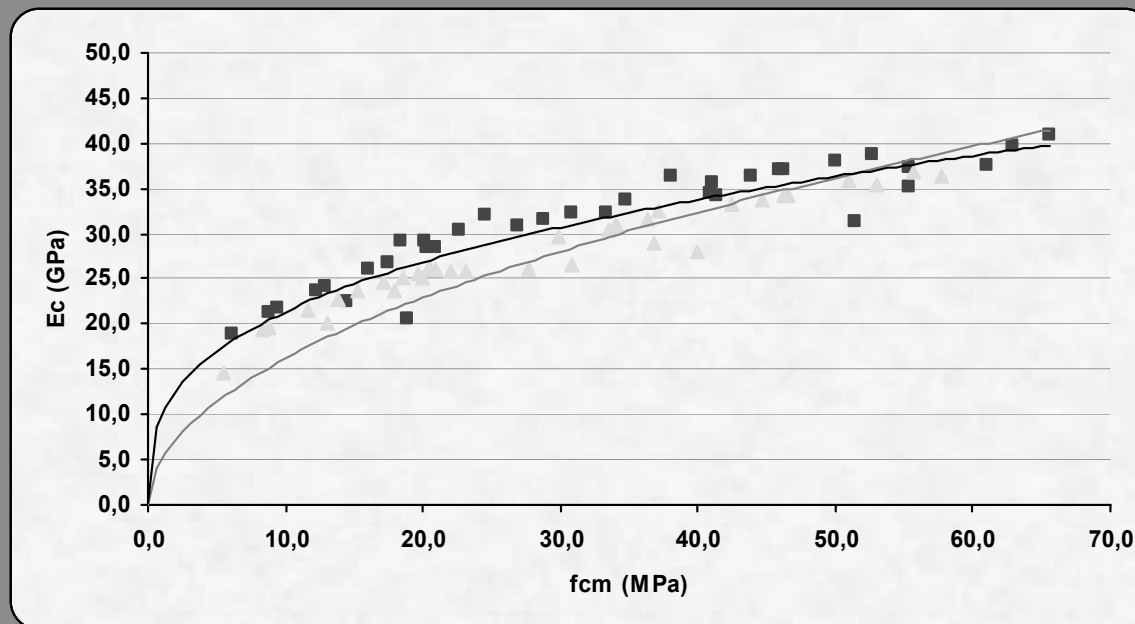


j = 3 a 364 dias
Teor de argamassa
seca constante
 $f_{c,28} = 26$ a 62 MPa

- CONSISTÊNCIA SECA (50±5 mm)
- CONSISTÊNCIA PLÁSTICA (100±10 mm)
- ▲ CONSISTÊNCIA FLUIDA (200±25 mm)

Módulo de elasticidade

Que tipo de expressão é melhor??



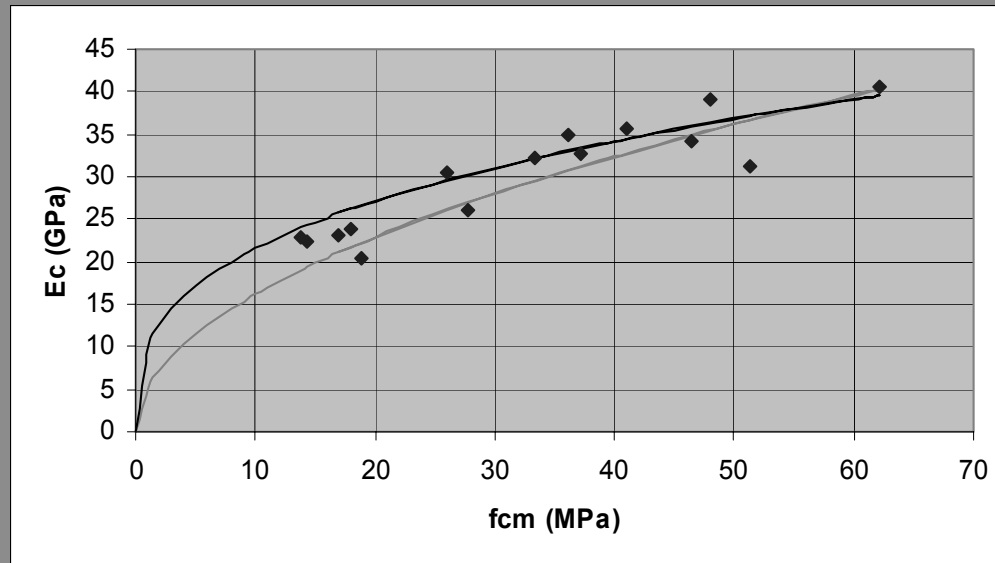
j = 3 a 364 dias
Consistências
plástica e fluida

----- $5,12 f_{cm}^{0,5}$ NBR 6118-03, considerando-se
coeficiente de variação de 10%

————— $10 f_{cm}^{0,33}$ MC 90, com $\alpha_e = 1$

Módulo de elasticidade

Que tipo de expressão é melhor??

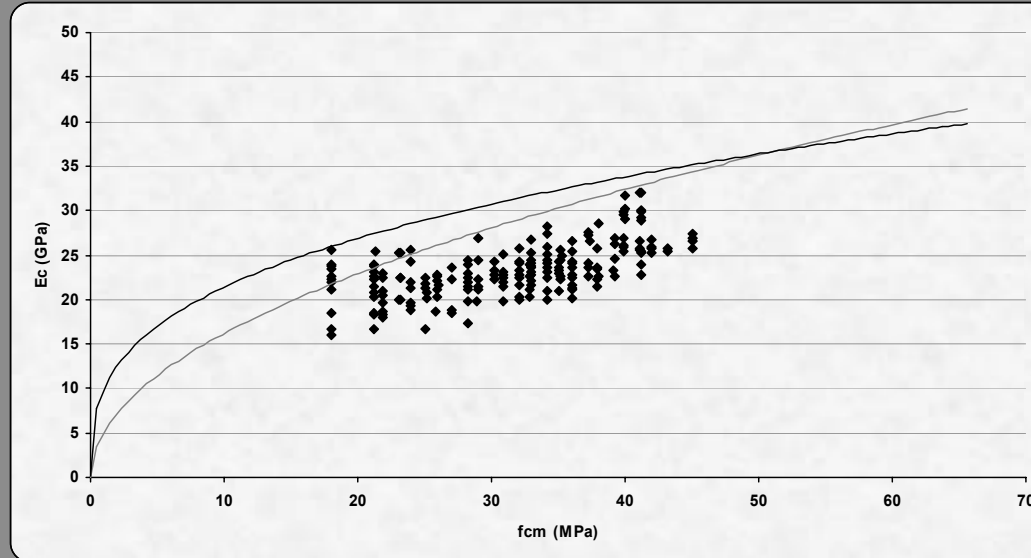


j = 28 dias

— $5,12 f_{cm}^{0,5}$
— $10 f_{cm}^{0,33}$

Módulo de elasticidade

Que tipo de expressão é melhor??

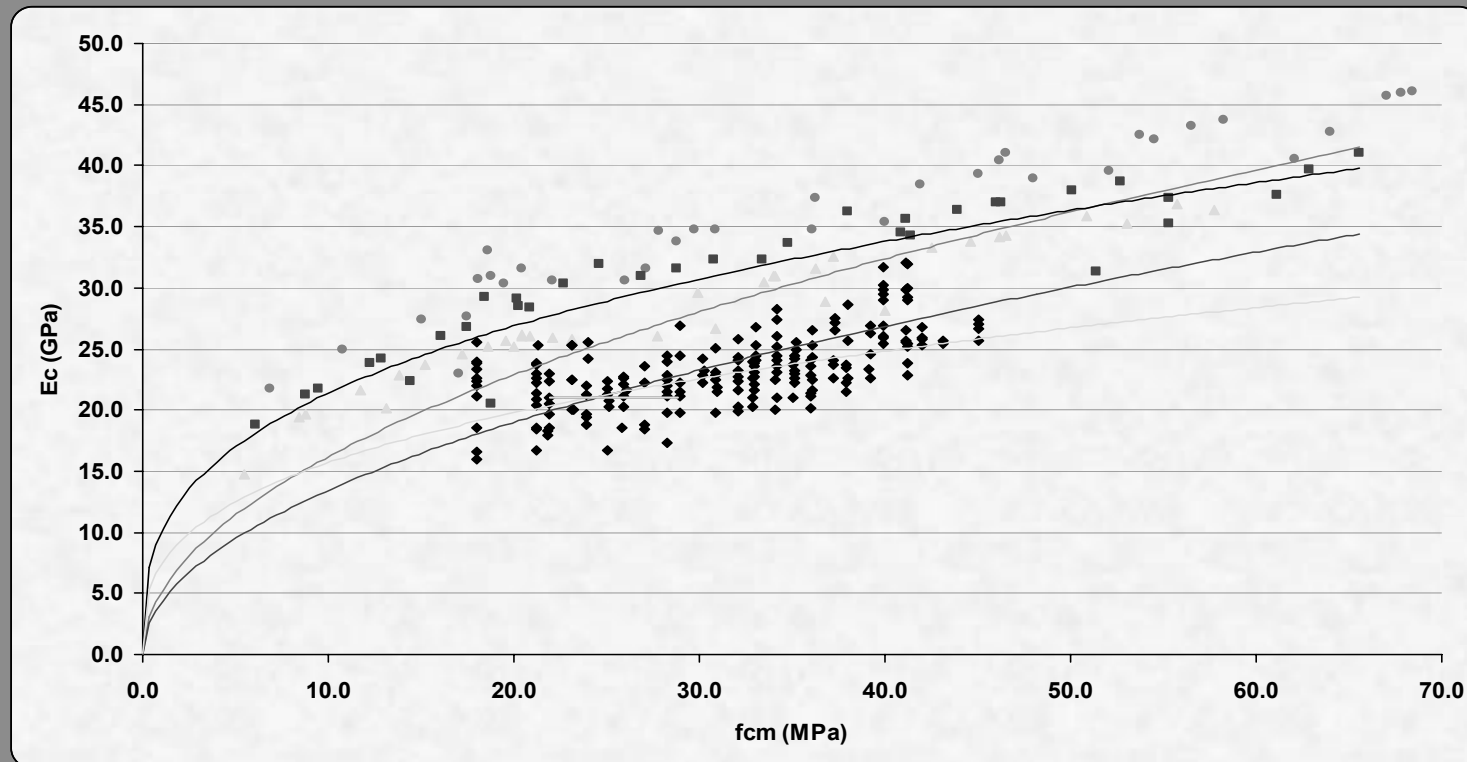


Concretos com
agregados do Rio
de Janeiro
Brita de gnaiss

— $5,12 f_{cm}^{0,5}$

- - $10 f_{cm}^{0,33}$

Módulo de elasticidade



- CONSISTÊNCIA SECA (BRITA DE GRANITO)
- CONSISTÊNCIA PLÁSTICA (BRITA DE GRANITO)
- ▲ CONSISTÊNCIA FLUIDA (BRITA DE GRANITO)
- ◆ CONSISTÊNCIA PLÁSTICA (BRITA DE GNAISSE)

$$\begin{aligned} & \text{---} 5,12 f_{cm}^{0,5} \\ & \text{---} 10 f_{cm}^{0,33} \\ & \text{---} 7,35 f_{cm}^{0,33} \\ & \text{---} 4,25 f_{cm}^{0,5} \end{aligned}$$

Módulo de elasticidade



$$E_{ci} = a_1 a_2 (5600 f_{ck}^{1/2})$$

a_1 depende do agregado

a_2 depende da consistência

Agregado graúdo	a_1
Basalto, diabásio, calcário sedimentar denso	1,1 a 1,2
Granito e gnaiss	1,0
Calcário metaforfítico, metasedimento	0,9
Arenito	0,7

Consistência	a_2
Fluída	0,9
Plástica	1,0
Seca	1,1

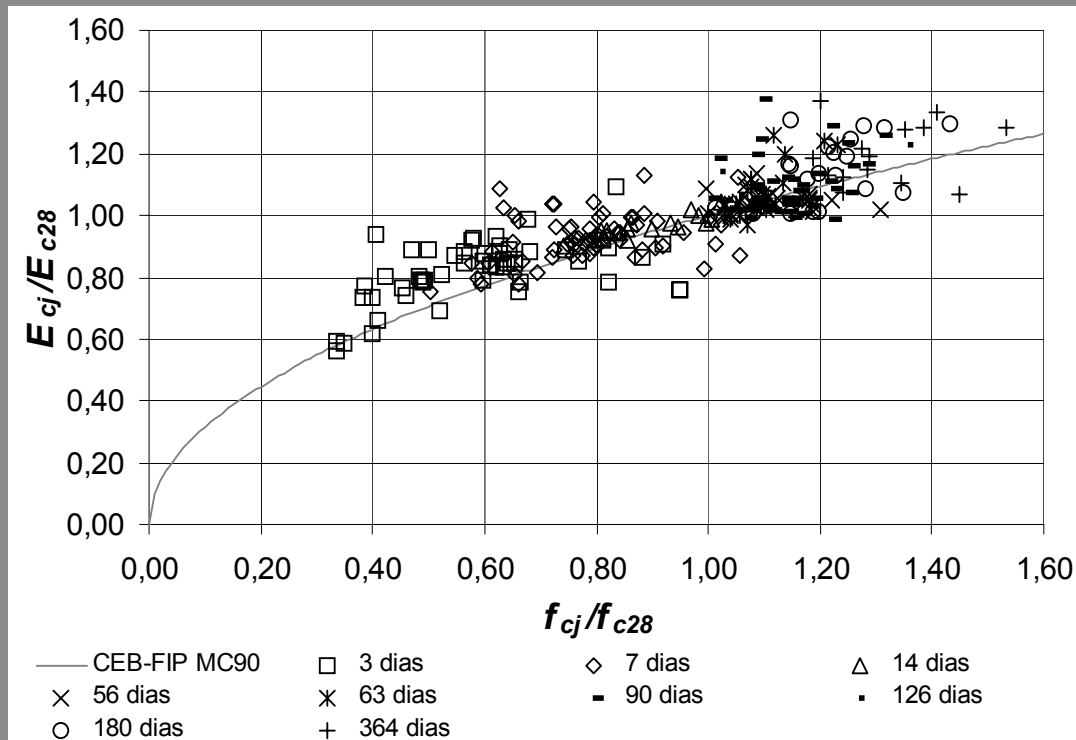
Consistência obtida sem aditivos

Módulo de Elasticidade *para idades diferentes de 28 dias*

CEB-FIP MC90

$$\frac{E_{cj}}{E_{c28}} = \left(\frac{f_{cj}}{f_{c28}} \right)^{0,50}$$

E_{cj} módulo de elasticidade do concreto na idade j
 E_{c28} módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias



NBR 6118-03
Mesma fórmula de E_{c28}
para $j \geq 7$ dias

mas pode ser para
 $j \geq 3$ dias

Propriedades dos materiais



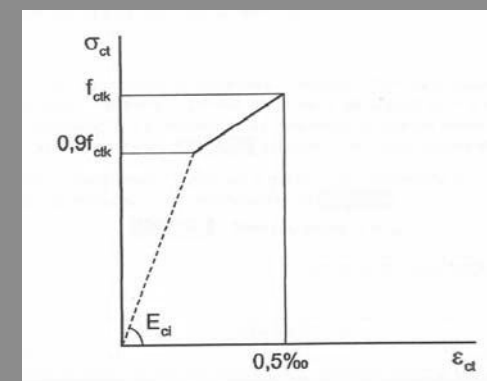
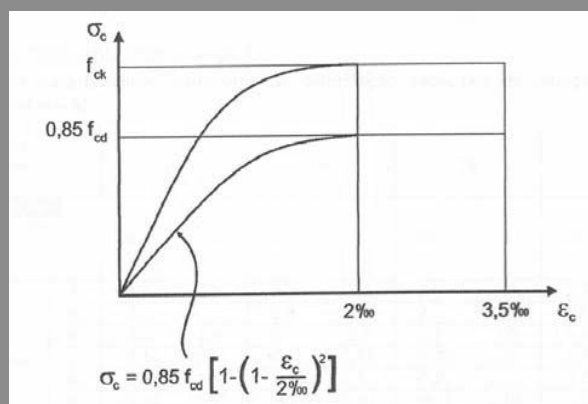
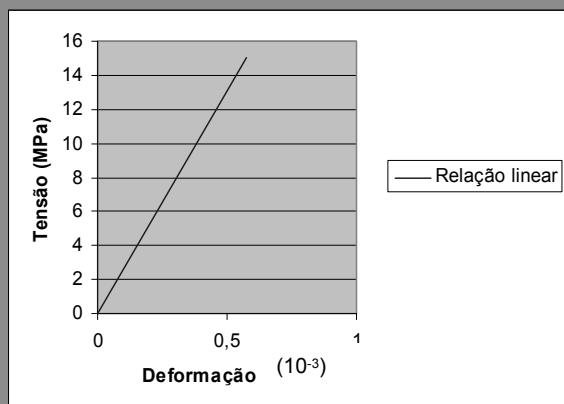
8.2.9 Coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade transversal

$$\text{Para } \sigma_c \leq 0,5 f_c \text{ ou } f_{ct} \quad \nu = 0,2$$
$$G_c = 0,4 E_{cs}$$

8.2.10 Diagramas tensão-deformação

$$\sigma_c \leq 0,5 f_c$$

Estado limite último



Propriedades dos materiais



8.2.11 FLUÊNCIA E RETRAÇÃO

Para $\sigma_c \leq 0,5 f_c$ quando do primeiro carregamento, quando não é necessária grande precisão, o coeficiente de fluência e a deformação específica de retração da tabela abaixo podem ser usados (T entre 10 e 20 °C, podendo-se admitir entre 0 e 40°C; concreto plástico) – Valores iguais aos da NBR 7197-89

Umidade Ambiente (%)		40		55		75		90	
Espessura Equivalente $2A_c/u$ (cm)		20	60	20	60	20	60	20	60
$\phi(t,t_0)$	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
$\epsilon_{cs}(t,t_0)$ ‰	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

Aço

COMPONENTES

Principal componente não metálico: carbono (C)

Ligas de ferro: manganês (Mn), silício (Si), cromo (Cr), níquel (Ni), Cobre (Cu), alumínio (Al)

Microligas: vanádio (V), nióbio (Nb), titânio (Ti), boro (B)

Impurezas: fósforo (P), enxofre (S), nitrogênio (N)

- C, Si, N pioram a soldabilidade
- S fragiliza o aço durante a soldagem
- V e Nb melhoram a soldabilidade
- C e P são os componentes que mais aumentam f_y e f_{st} . Junto com Si, Mn e Cr, melhoram f_y e f_{st} , mas pioram a ductilidade. Ni melhora ambas as propriedades

PROPORÇÕES

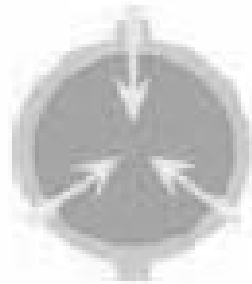
PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Laminação a quente, laminação a frio, trefilação, etc

Aço

Aços soldáveis

Tratamento térmico



Resfriamento
Controlado



Reaquecimento
da Superfície



Produto
Acabado

Propriedades dos materiais



8.3 AÇO DE ARMADURA PASSIVA

8.3.1 CATEGORIA

CA-25, CA-50, CA-60

Diâmetros e seções nominais segundo a NBR 7480-96

8.3.2 TIPO DE SUPERFÍCIE

Conformação superficial, configuração e geometria de saliências ou mossas de acordo com NBR 7480-96 e, no caso de solicitações cíclicas importantes, também a seção 23.

Tipo de barra	Coeficiente de conformação superficial	
	η_b (ensaio)	η_1 (cálculo de f_{bd})
Lisa (CA 25)	1,0	1,0
Entalhada (CA 60)	1,2 (1,5?)	1,4
Alta aderência (CA 50)	$\geq 1,5$	2,25

Propriedades dos materiais



8.3.3 MASSA ESPECÍFICA

7850 kg/m³

8.3.4 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA

10x10⁻⁶/°C (T entre -20 e 150°C)

8.3.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Na falta de ensaios ou de valor fornecido pelo fabricante, pode-se admitir $E_s = 210 \text{ GPa}$

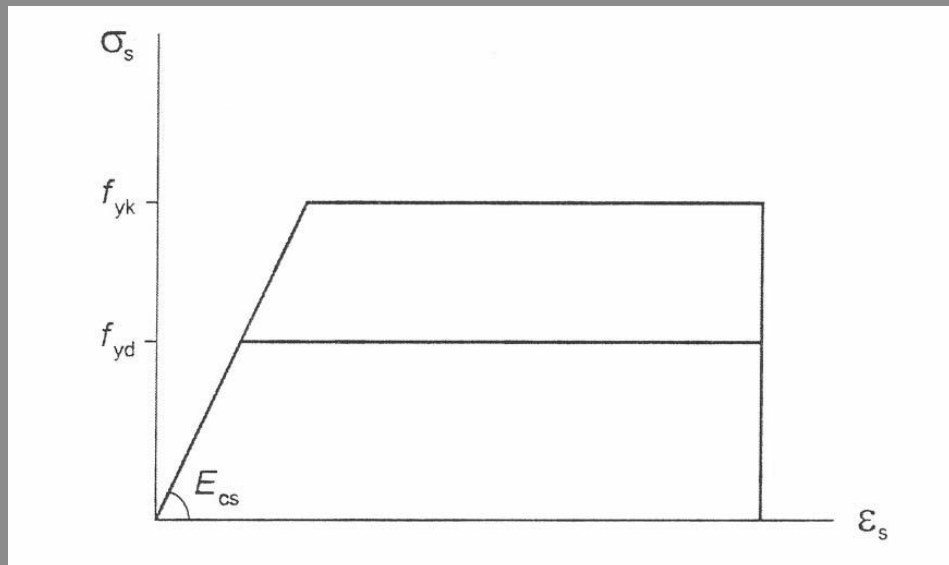
Propriedades dos materiais



8.3.6 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO, RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO E À TRAÇÃO

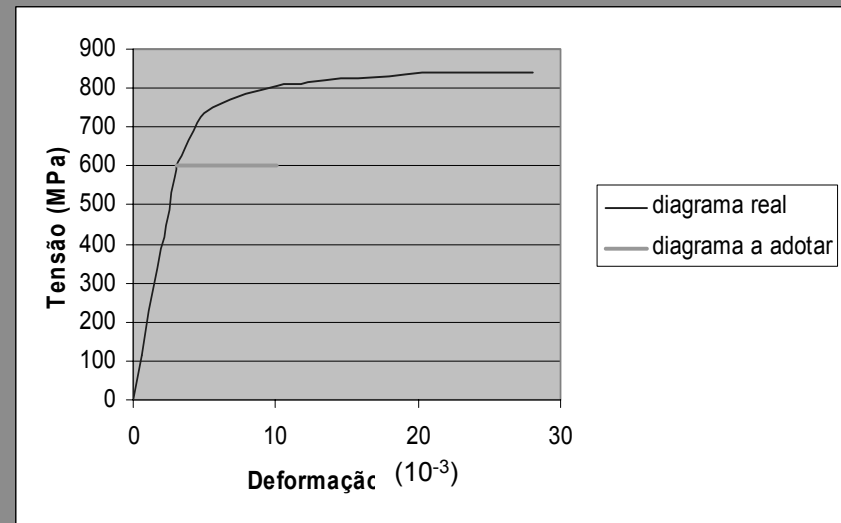
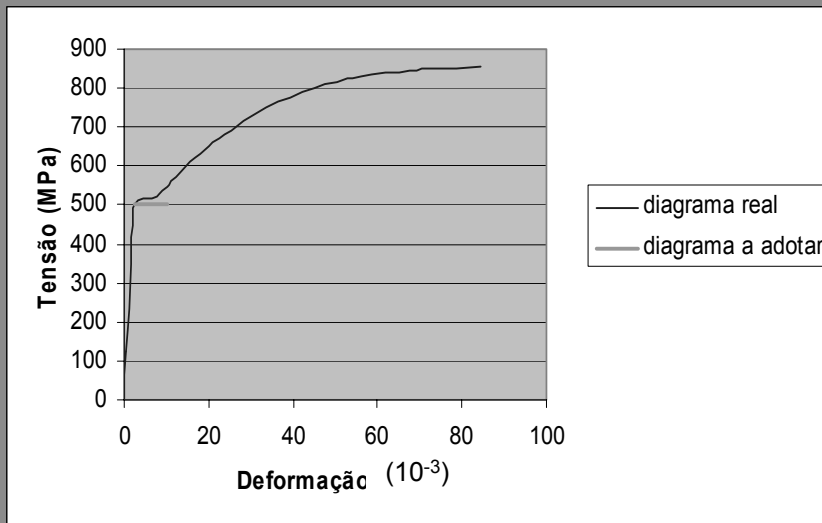
Diagrama, f_{yk} , f_{stk} , ε_{uk} devem ser obtidos de ensaios segundo a NBR 6152-88

Para cálculo, nos estados-limite de serviço e último, pode-se adotar diagrama simplificado



Diagramas do aço de armadura passiva

Aço CA 50 pode ter ou não patamar de escoamento (laminado a quente)
Aço CA 60 não tem patamar de escoamento (laminado a frio ou trefilado)



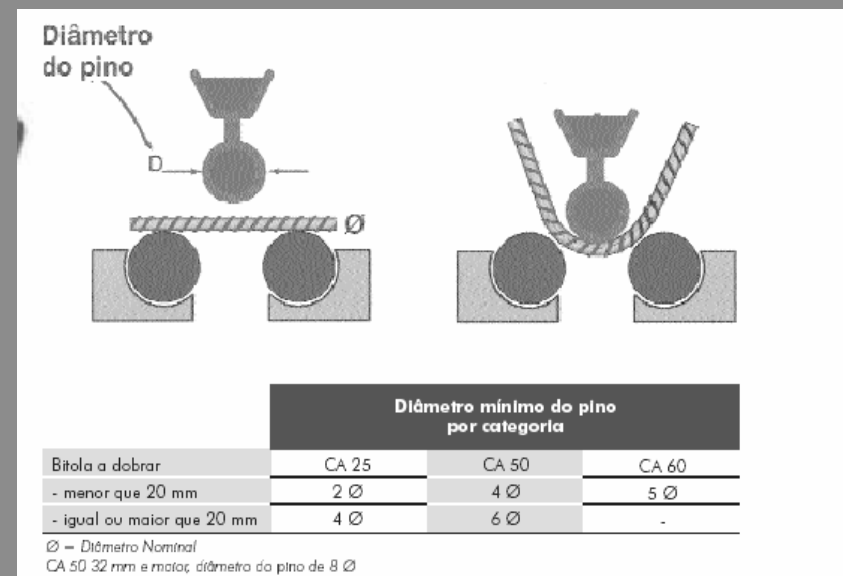
Propriedades dos materiais



8.3.7 CARACTERÍSTICAS DE DUCTILIDADE

f_{stk}/f_{yk} e ε_{yk} atendem NBR 7480-96, ensaios de dobramento segundo a NBR 6153-88 sem ocorrer fissuração e ruptura

Aço	f_y	f_{st}/f_y	ε_{su} em 10 ϕ (%)
CA 25	250	1,20	18
CA 50	500	1,10	8
CA 60	600	1,05	5



CA-25 e CA-50 considerados de alta ductilidade
CA-60 ductilidade normal

Propriedades dos materiais

8.3.9 SOLDABILIDADE

Composição do aço de acordo com limites estabelecidos na NBR 8965-85

Emenda deve ser ensaiada segundo a NBR 8548-84 e atender condições de carga de ruptura e deformação plástica mínima



SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA (CALDEAMENTO) JUNTA DE TOPO
Emendas de barras em armaduras que são preparadas em central de armação.



SOLDAGEM ELÉTRICA (ELETRODOS REVESTIDOS) JUNTA SOBREPOSTA
Emendas de barras em arranques ou pontas de espera visando a continuidade da obra. É também recomendada para recuperação estrutural.

Propriedades dos materiais



8.4 AÇO DE ARMADURA ATIVA

8.4.1 CLASSIFICAÇÃO

De acordo com NBR 7482-91 (fios) e NBR 7483-91 (cordoalhas)

8.4.2 MASSA ESPECÍFICA

7850 kg/m³

8.4.3 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA

10x10⁻⁶/°C (T entre -20 e 100°C)

8.4.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Na falta de ensaios ou de valor fornecido pelo fabricante, pode-se admitir $E_s = 200 \text{ GPa}$

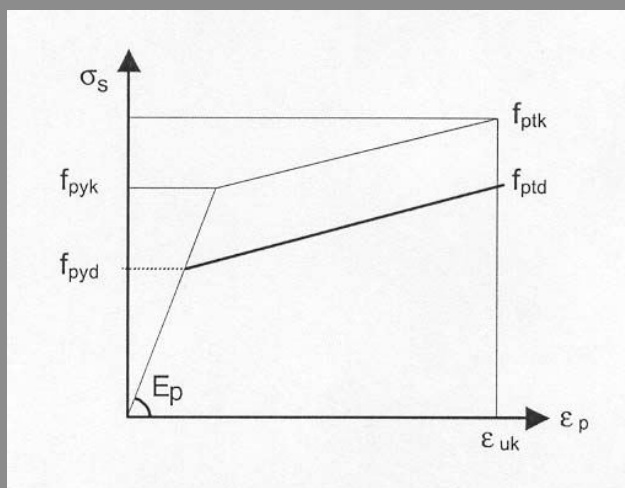
Propriedades dos materiais



8.4.5 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO, RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO E À TRAÇÃO

Diagrama deve ser obtido de ensaios segundo a NBR 6349-91 (fios, cordoalhas, barras) ou fornecido pelo fabricante. Os valores de f_{pyk} , f_{ptk} , ϵ_{uk} devem atender a NBR 7482-91 (fios) e NBR 7483-91 (cordoalhas)

Para cálculo, nos estados-limite de serviço e último, pode-se adotar diagrama simplificado



?

NBR 7187-87

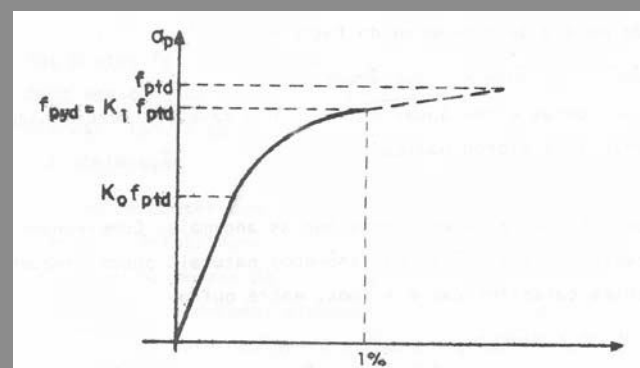
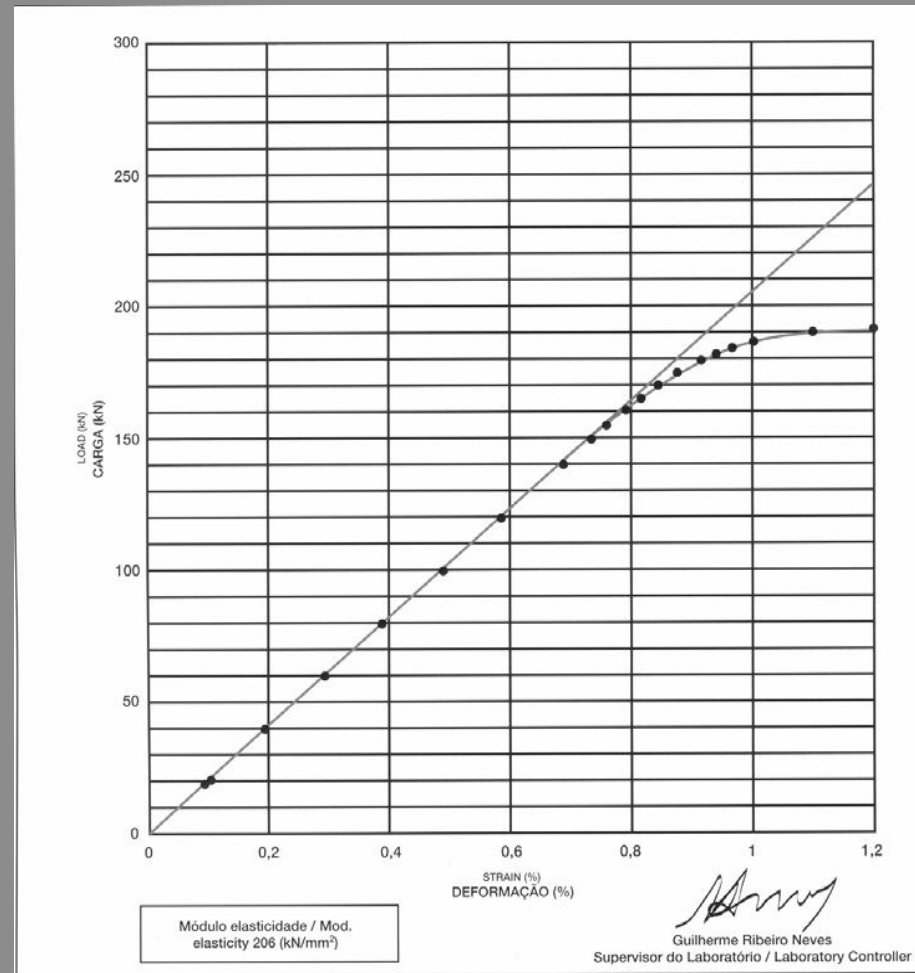


Diagrama dado pelo fabricante



Propriedades dos materiais



8.4.6 DUCTILIDADE

ϵ_{uk} atendendo a NBR 7482-91 (fios) e a NBR 7483-91 (cordoalhas), aço de ductilidade normal

Ensaio de dobramento de fios segundo a NBR 6004-84 deve atender a NBR 7482-91

8.4.8 RELAXAÇÃO

Os resultados dos ensaios de relaxação segundo a NBR 7484-91 devem atender a NBR 7482-91 (fios) e NBR 7483-91 (cordoalhas)

Para efeito de projeto pode-se considerar o que consta na tabela

Relaxação a 1000h a 20°C (%)

	Cordoalhas		Fios		Barras	NBR 7197-89	
Tensão	RN	RB	RN	RB		RN	RB
0,6 f_{ptk}	3,5	1,3	2,5	1,0	1,5	4,5	1,5
0,7 f_{ptk}	7,0	2,5	5,0	2,0	4,0	7,0	2,5
0,8 f_{ptk}	12,0	3,5	8,5	3,0	7,0	12,0	3,5

Bibliografia (excluindo normas e recomendações IBRACON)

- FREITAS, L. B., JUDICE, F. M. S., CARNEIRO, L. A. V., EVANGELISTA, A. C. J., SHEHATA, L. C. D. "Avaliação do módulo de elasticidade de concretos de alto desempenho com diferentes idades" In: 43o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2001, Foz do Iguaçu. IBRACON, 2001.
- SHEHATA, L. C. D., GASPARELO, M. M. "Propriedades do concreto e a nova NBR 6118" In: V Semana de Engenharia e III Seminário Fluminense de Engenharia, 1999, Niterói. Universidade Federal Fluminense, 1999.
- Fédération Internationale du Béton, "Structural Concrete", bulletin 1, 1999
- SHEHATA, L. C. D., MARTINS, P. C. R., PEREIRA, S. S. R. "Classificação e propriedades do concreto e do aço" In: III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 1993, São Paulo. EPUSP, 1993.
- EPUSP/PCC.CPqDCC/GEPE-MAT, "Estudo da variação do módulo de elasticidade do concreto com a composição e características do concreto fresco e endurecido", Relatório nº 10122, janeiro 1998
- TIZATO, V., SHEHATA, L.C.D., "Módulo de deformação longitudinal do concreto", Anais, XXIV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, 1987
- FUSCO, P.B., "Fundamentos do Projeto Estrutural", Editora da Universidade de São Paulo, 1976
- <http://www.gerdau.com.br>
- <http://www.belgomineira.com.br>
- <http://www.abcp.org.br>
- <http://www.inmet.gov.br>

Conclusões

O que mudou com relação à NBR 6118-78?
Concreto ?

Quais suas implicações em projeto ?

Aço ?

Quais suas implicações em projeto ?