

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PCC – Departamento de Engenharia de Construção Civil

Durabilidade: uma questão objetiva?

Paulo Helene
Professor Titular, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo PCC.USP.
Presidente do IBRACON
Coordenador Internacional da Red Rehabilitar CYTED.
Deputy Chairman fib (CEB-Fib) Commission 5 "Structural Service Life Aspects"

Novembro, 2003. PCC.USP

1

Classes de exposição

PCC.USP

2

Classes de agressividade ambiente

(adaptado das normas originais)

Norma	Classe de Agressividade			
	<i>Fraca</i>	<i>Moderada</i>	<i>Forte</i>	<i>Muito Forte</i>
NBR 6118-03	I	II	III	IV
	Rural/Submerso	Urbana	Marinha / Industrial	Industrial / Respingos de Maré
CEB	I	II	III e IV	V
	Ambiente seco	Ambiente úmido	Ambiente úmido + Sais degelo / Amb Marinho	Ambiente agressivo
ACI 318-02	Subjetivo	Subjetivo	Subjetivo	Subjetivo

PCC.USP

3

Cobrimentos Nominais

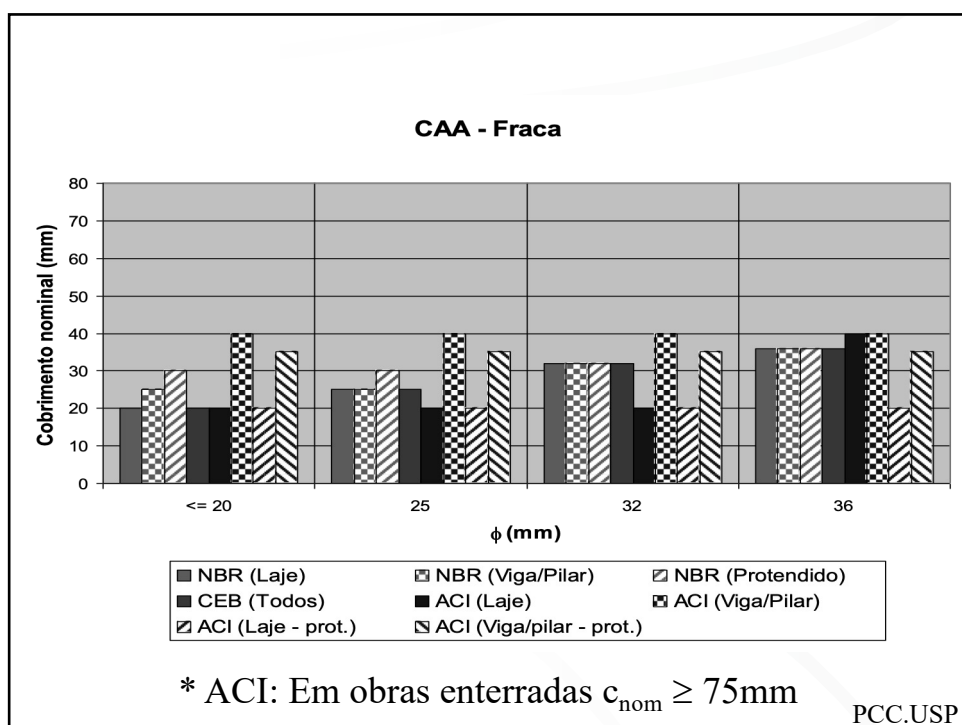
PCC.USP

4

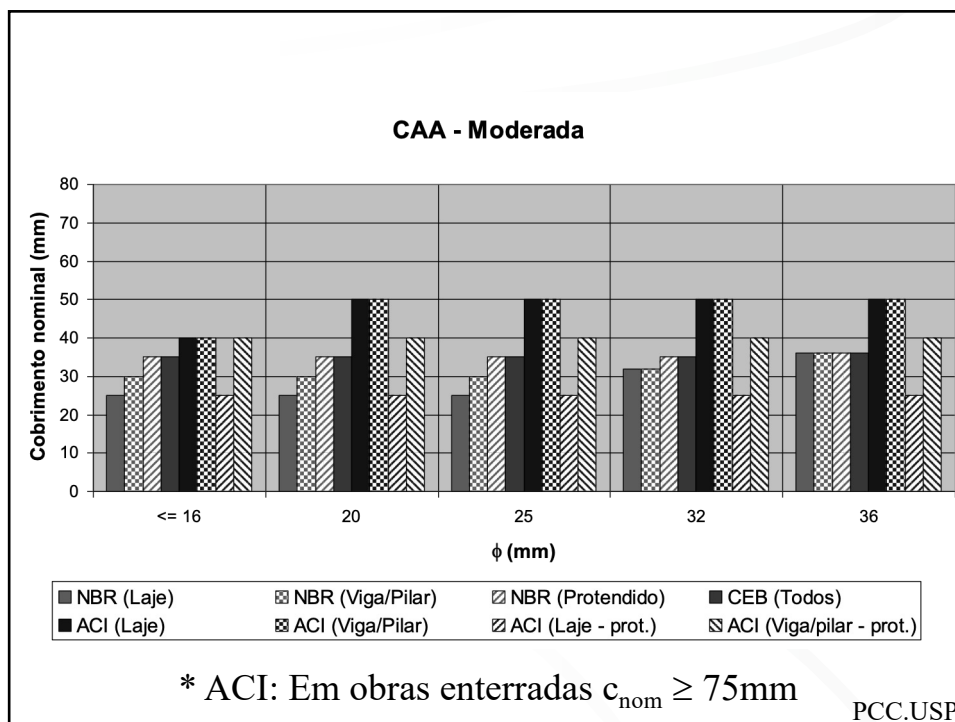
Variáveis que influem na determinação do Cobrimento nominal		
NBR	CEB	ACI
CAA	CAA	CAA
Elemento estrutural	Limites construtivos	Elemento estrutural
Presença de protensão		Presença de protensão
Limites construtivos		Limites construtivos
<i>Limites construtivos</i>	<i>Limites construtivos</i>	<i>Limites construtivos</i>
$\geq \phi_{\text{barra}}$	$\geq \phi_{\text{barra}}$	$f(\phi)$
$\geq \phi_{\text{eixe}}$	$\geq \phi_{\text{eixe}}$	
$\geq 0,5 \phi_{\text{bainha}}$	Na ancoragem = 3ϕ	
$d_{\text{max}} \leq 1,2 c_{\text{nom}}$		

PCC.USP

5



6



7

CAA Forte e CAA Muito Forte

	CAA	
	III	IV
NBR (Laje)	35	45
NBR (Viga/Pilar)	40	50
NBR (Protendido)	45	55
CEB (Todos)	50	***
ACI (Laje) *	50	50
ACI (Viga/Pilar) *	60	60
ACI (Laje - prot.) **	37,5	37,5
ACI (Viga/pilar - prot.) **	60	60

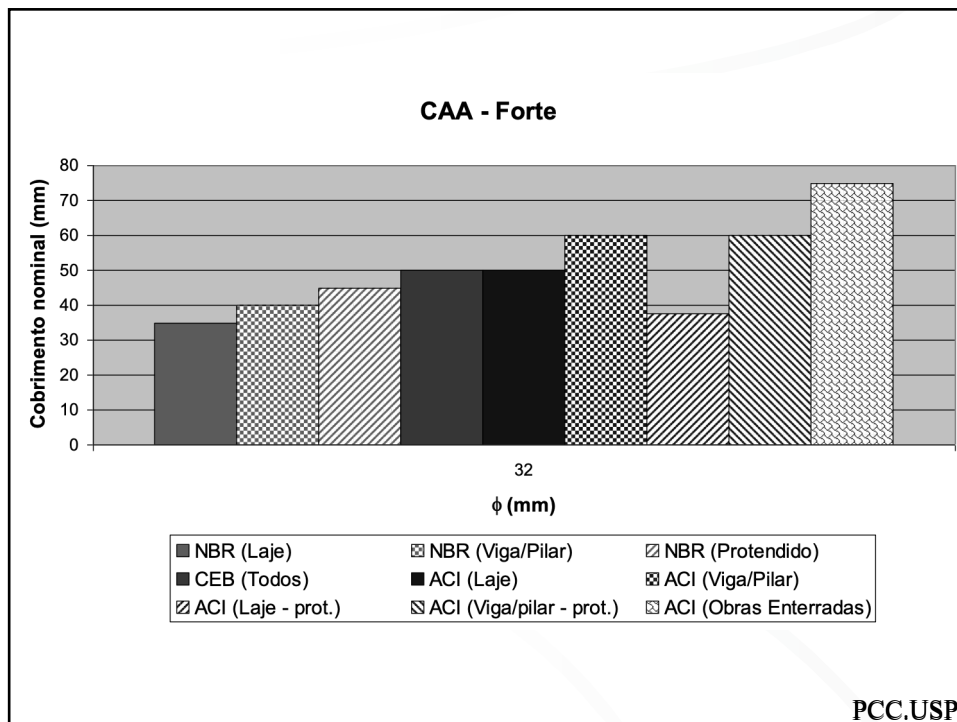
* Valores retirados dos comentários / a norma só dita que os valores devem ser aumentados

** Valores calculados / a norma diz que os valores devem ser acrescidos em 50% p/ essas CAA

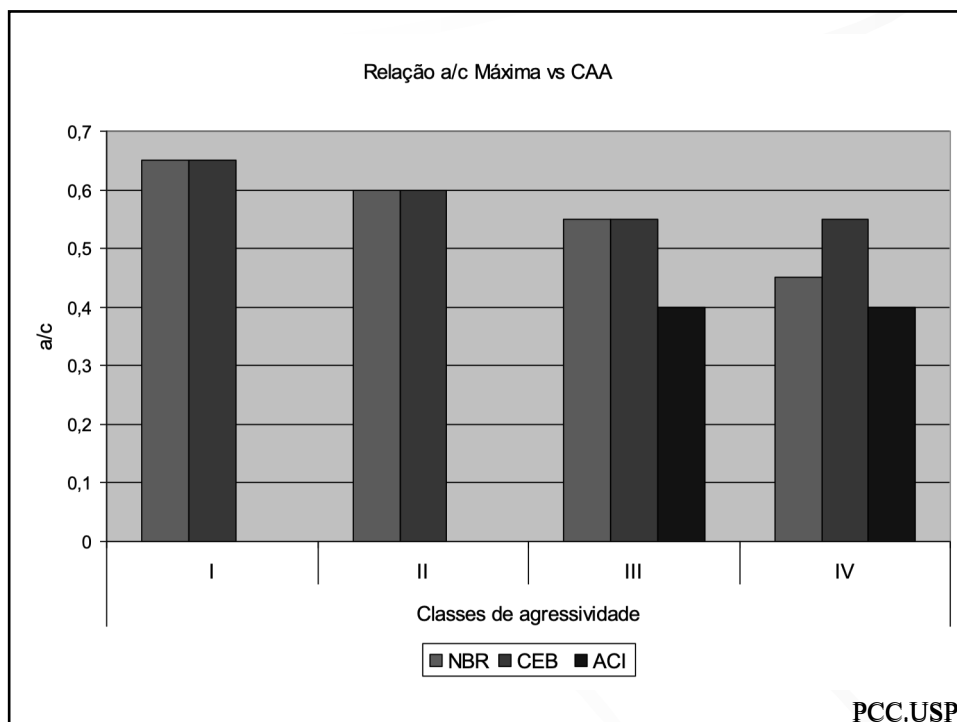
*** Deve ser estudado de acordo com o ambiente ao qual a obra é exposta

PCC.USP

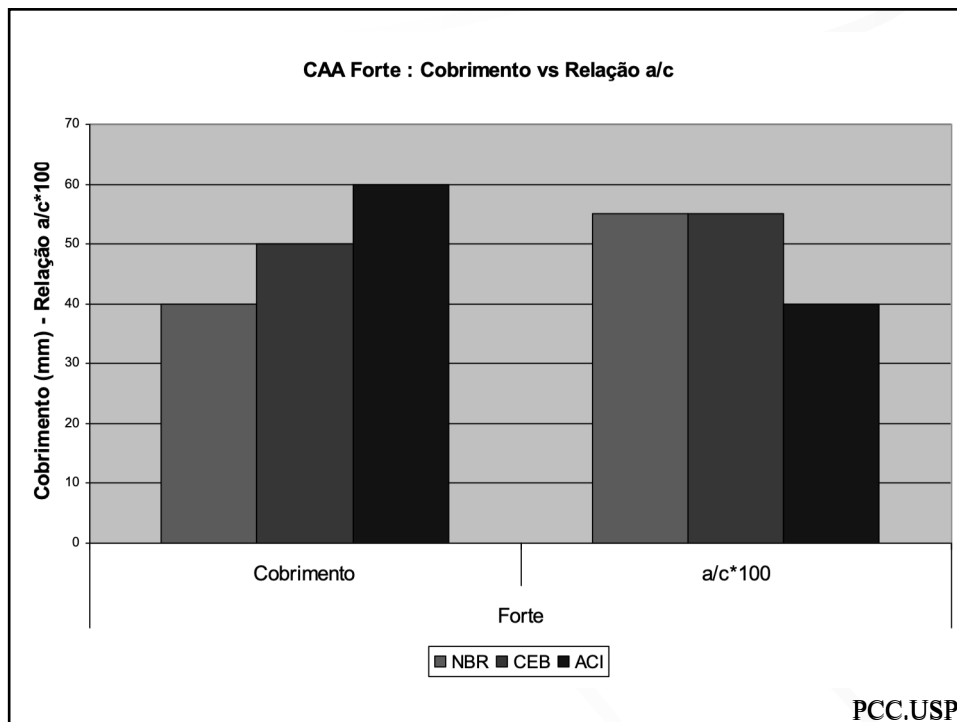
8



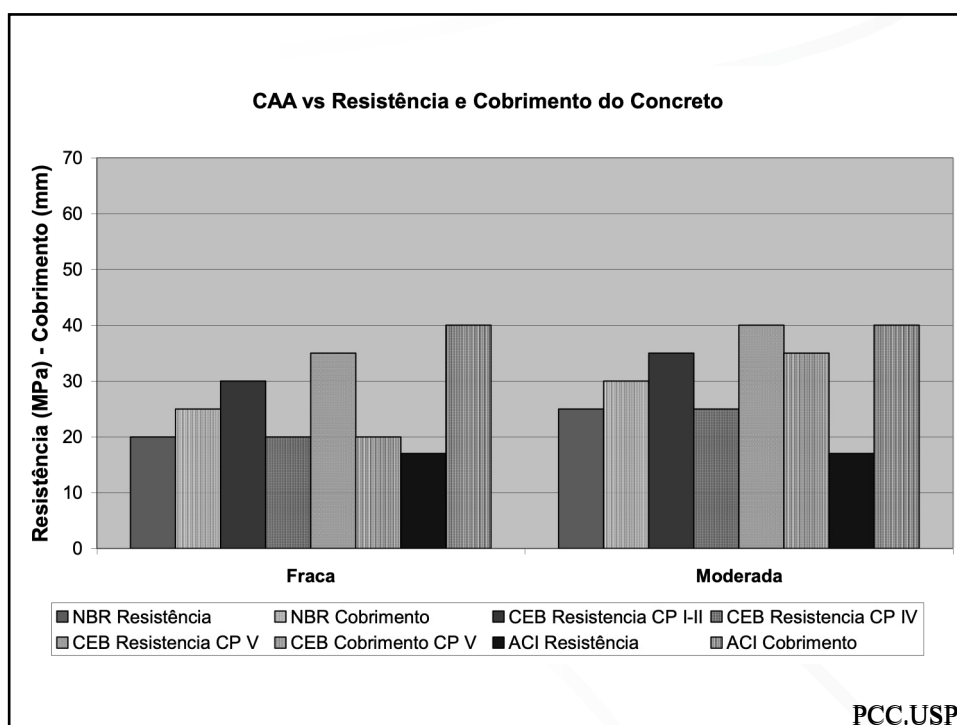
9



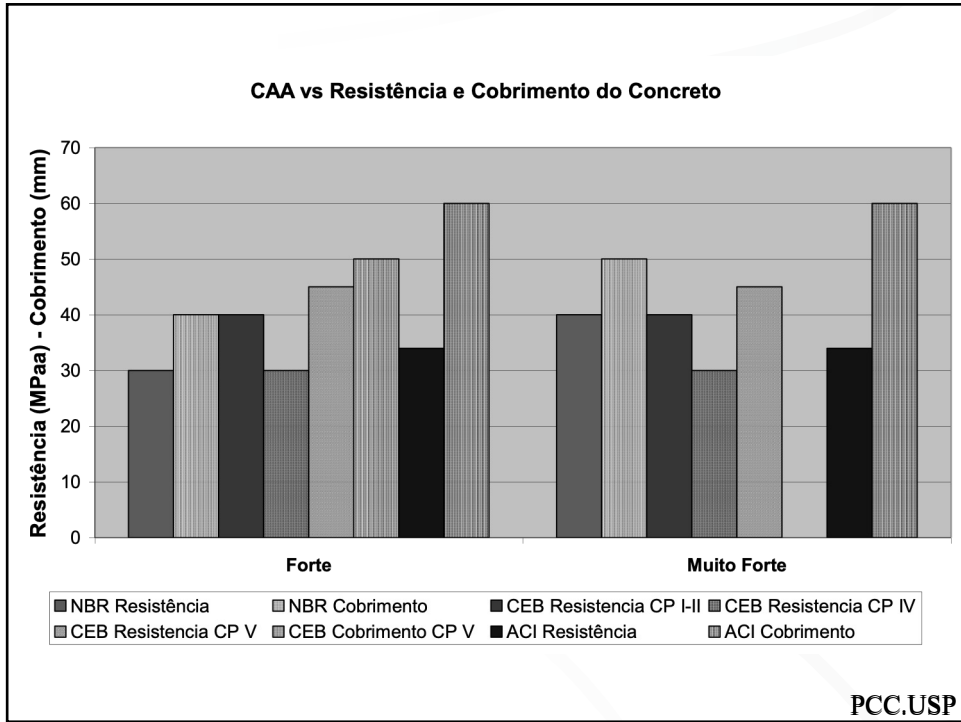
10



11



12



13

Flechas máximas

PCC.USP

14

Flechas

- **NBR 6118/03:**
 - Caso geral: $l/250$
 - Caso especial: $l/350$
- **CEB Model Code 90:**
 - P/ simples verificação: $l/300$
 - Limitada indiretamente pela relação vão/altura do elemento estrutural
- **ACI 318-02:**
 - Caso geral: $l/240$
 - Caso específico: $l/480$
 - Limitada indiretamente pela relação vão/altura do elemento estrutural

PCC.USP

15

Relação vão/altura (CEB)

$$\frac{l}{d} \leq \lambda = \lambda_0 k_T k_l \left(\frac{400}{f_{yk}} \right)$$

Onde:

λ_0 : f (sistema estrutural e nível de tensão no concreto)

$k_T = 1.0$ p/ relação mesa/alma < 3 ;

= $0,8$ p/ relação mesa/alma > 3

$k_l = 7/l \leq 1$, com l em metros

f_{yk} : tensão limite do aço

PCC.USP

16

Relação vão/altura (ACI)

TABLE 9.5(a)—MINIMUM THICKNESS OF NONPRESTRESSED BEAMS OR ONE-WAY SLABS UNLESS DEFLECTIONS ARE COMPUTED

	Minimum thickness, h			
	Simply supported	One end continuous	Both ends continuous	Cantilever
Member	Members not supporting or attached to partitions or other construction likely to be damaged by large deflections.			
Solid one-way slabs	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Beams or ribbed one-way slabs	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

* Span length l is in millimeters.

Values given shall be used directly for members with normal weight concrete ($w_c = 2300 \text{ kg/m}^3$) and Grade 420 reinforcement. For other conditions, the values shall be modified as follows:


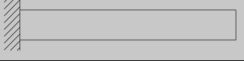
a) For structural lightweight concrete having unit weight in the range 1500-2000 kg/m^3 , the values shall be multiplied by $(1.65 - 0.0003w_c)$ but not less than 1.09, where w_c is the unit weight in kg/m^3 .

b) For f_y other than 420 MPa, the values shall be multiplied by $(0.4 + f_y/700)$.

PCC.USP

17

Relação vão/altura: CEB vs ACI

Norma				
	4m	7m	4m	7m
CEB	33	54	76	130
ACI 318-02	28	49	56	98

PCC.USP

18

Aberturas de fissuras máximas toleradas

PCC.USP

19

Variáveis que influem na determinação do Limite Máximo de Abertura de Fissuras

NBR	CEB	ACI
CAA	CAA	CAA
Presença de protensão	Presença de protensão	Presença de protensão
<i>Presença de Protensão</i>	<i>Presença de Protensão</i>	<i>Presença de Protensão</i>
Pré ou Pós-Tração	Pré ou Pós-Tração	
Nível de Protensão		Nível de Protensão

CAA - Classe de Agressividade Ambiental

PCC.USP

20

w_{lim} – Concreto Armado Simples

Norma	Classe de Agressividade ⁽¹⁾			
	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
NBR	0,4	0,3	0,2	0,2
CEB	(2)	0,3	0,3	(3)
ACI	(4)	(4)	(5)	(5)

⁽¹⁾ Segundo a NBR 6118-09

⁽²⁾ Permite relaxar os valores de aberturas de fissuras para valores maiores

⁽³⁾ A ser definido em acordo com o cliente dependendo da espessura e qualidade do concreto e camadas de proteção adicionais

⁽⁴⁾ Para agressividades ambientais fraca e moderada controlar-se o espaçamento da armadura mais próxima à face em tensão do elemento

⁽⁵⁾ Precisa-se de precauções e investigações especiais

PCC.USP

21

w_{lim} – Concreto Protendido

Norma	Classe de Agressividade			
	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
NBR (pré-nível 1)	0,2	nd	nd	nd
NBR (pós-nível 1)	0,2	0,2	nd	nd
NBR (pré-nível 2)	nihil	(3)	nd	nd
NBR (pós-nível 2)	nihil	nihil	(3)	(3)
NBR (pré-nível 3)	nihil	nihil	(4)	(4)
NBR (pós-nível 3)	nihil	nihil	nihil	nihil
CEB (pré)	0,2	0	0 e/ou prot adic	0 e/ou prot adic
CEB (pós)	0,2	0,2	0 e/ou prot adic	0 e/ou prot adic
ACI (fissurada)	(1)	(1)	(2)	(2)
ACI (transição)	nihil	nihil	nihil	nihil
ACI (ñ fissurada)	nihil	nihil	nihil	nihil

⁽¹⁾ Para agressividades ambientais fraca e moderada controlar-se o espaçamento da armadura mais próxima à face em tensão do elemento

⁽²⁾ Precisa-se de precauções e investigações especiais dependendo do estado real nível de estado de conservação e características do concreto

⁽³⁾ Verificar EL3-F em regime flexão de carga e EL3-D em regime cruzado permanente de carga

⁽⁴⁾ Verificar EL3-F em combinação rara de carregamento e EL3-D em regime flexão de carregamento

PCC.USP

22

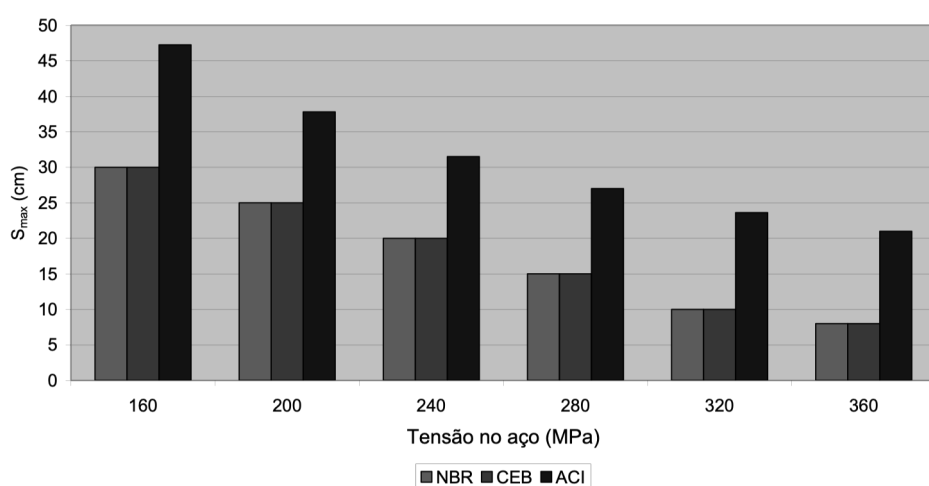
Controle da abertura de fissuras

Os códigos permitem o controle da abertura de fissuras indiretamente através do controle do espaçamento das armaduras.

PCC.USP

23

Espaçamento limite das armaduras p/ controle de fissuração



PCC.USP

24

Cálculo de Abertura de Fissuras

PCC.USP

25

NBR 6118/03

$$w = \min(w_1, w_2)$$

$$w_1 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

$$w_2 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

A_{cri} é a área da região de envolvimento protegida pela barra ϕ_i

E_{si} é o módulo de elasticidade do aço da barra considerada, de diâmetro ϕ_i

ϕ_i é o diâmetro da barra que protege a região de envolvimento considerada

ρ_{ri} é a taxa de armadura passiva ou ativa aderente em relação à área da região de envolvimento (A_{cri})

σ_{si} é a tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada, calculada no estágio II

PCC.USP

26

CEB Model Code 90

$$w_k = l_{s,\max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} - \varepsilon_{cs})$$

$l_{s,\max}$: comprimento sobre o qual ocorre o escorregamento entre o aço e o concreto

ε_{sm} : deformação média do aço em $l_{s,\max}$

ε_{cm} : deformação média do concreto em $l_{s,\max}$

ε_{cs} : deformação do concreto provocada pela retração

PCC.USP

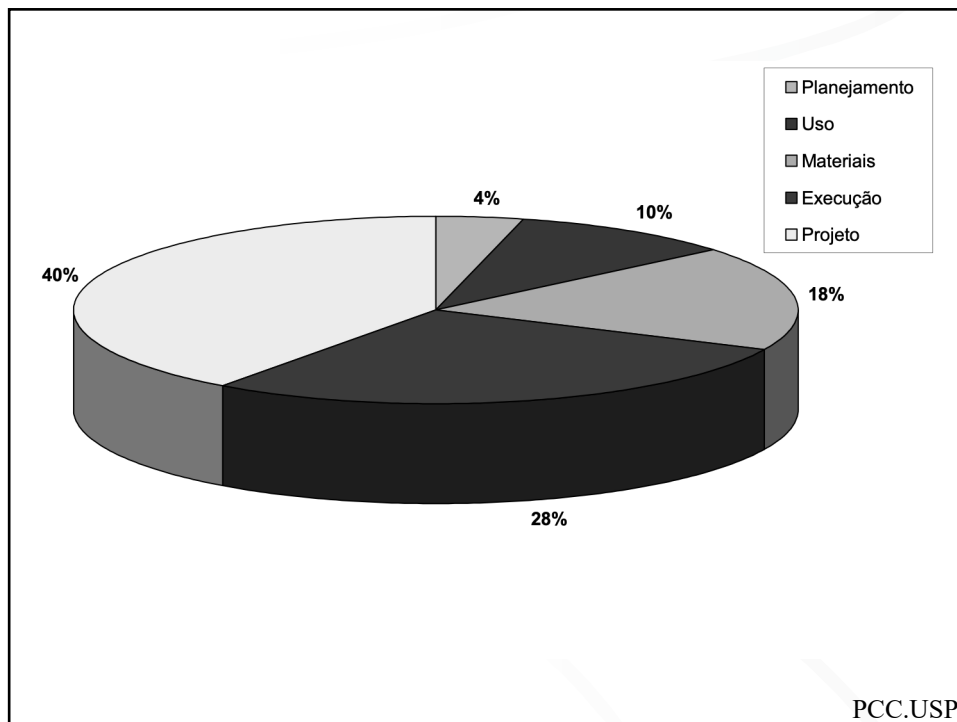
27

ACI 318-02

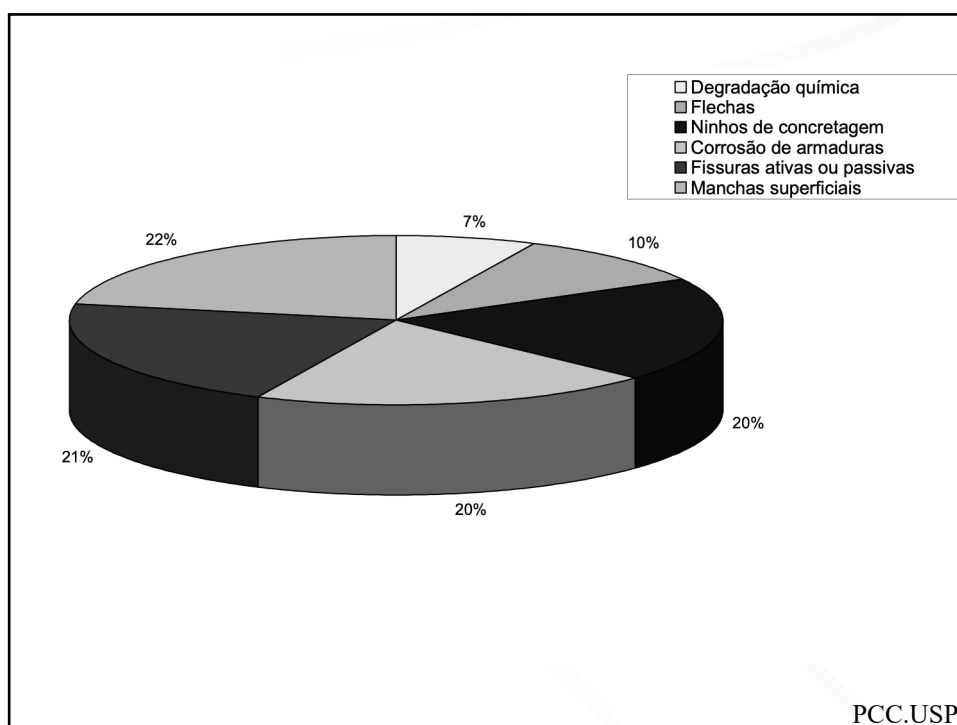
O código não apresenta nenhuma informação a respeito do cálculo das aberturas estimadas de fissuras

PCC.USP

28



29



30