

O MAIOR EVENTO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA EM CONCRETO NA AMÉRICA LATINA



CONCRETE SHOW 2010
SOUTH AMERICA - BRAZIL - SÃO PAULO
25 A 27 DE AGOSTO
das 13h às 20h
TRANSAMÉRICA EXPO CENTER • SÃO PAULO • BRASIL



Organização:
Sienna Interlink UBM



CONCRECOPA
2010
O CONCRETO FAZ A COPA
CONCRETE SHOW
SOUTH AMERICA - BRAZIL - SÃO PAULO

Dosagem e controle de concreto sob o enfoque da vida útil



ABECE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL






PhD
Engenharia

Eng. Carlos Brites
PhD Engenharia Ltda.

Data: 27 / 08 / 2010

1

A origem e os intervenientes

projetista estrutural **fornecedor do material** **construtora (execução)**

Atribuição de responsabilidades NBR 12655 (2006)

2

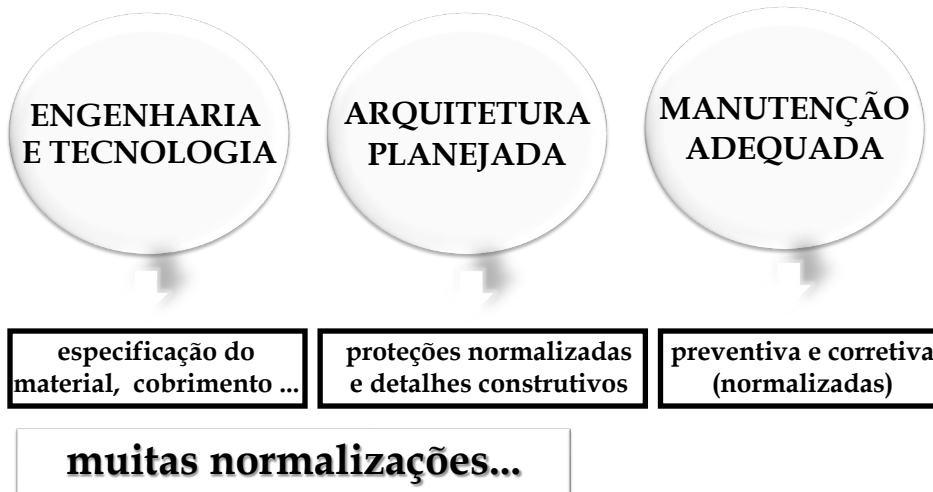
Ponderação

É possível uma interação entre os intervenientes do processo para especificação, fornecimento e aplicação de um material adequado para uma determinada vida útil requerida, conforme o uso da edificação? Quem realmente é responsável?

3

Visão sistêmica da vida útil

Interação de três universos:



4

Enfoque em vida útil: especificação

O que estamos realmente fazendo quando especificamos o concreto em projeto (resistência e cobrimento)?

O que está faltando?

5

Modelo normalizado: nacional

- 1. classificação da agressividade ambiental (12655)**
- 2. classificação da qualidade do concreto (12655)**
- 3. classificação do cobrimento (6118)**

- ✓ pelo menos duas normas**
- ✓ grande avanço na NBR 12655:2006**
- ✓ não especificamos vida útil (terceira norma)**
- ✓ temos que nos adequar ...**

6

Modelo normalizado: nacional

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1) 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1) 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1) 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, gavanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

poderia ser pelo processo de deterioração

7

Modelo normalizado: nacional

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto kg/m ³	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

NOTA: CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado; CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido

não permite variação com o cobrimento

8

Modelo normalizado: nacional

Tipo de estrutura	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas pelo item 7.4.75 (da NBR 6118/2003), respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

não permite variação com a resistência

9

Modelo normalizado: nacional

**Onde podemos avançar :
na relação da especificação do
concreto com uma determinada
vida útil de projeto.**

Como?

10

Enfoque em vida útil

discussão do modelo internacional:

1. classificação das condições de exposição (BS 8500)

2. seleção da resistência e do cobrimento (BS 8500)

3. relacionar com a previsão de vida útil (BS 8500)

✓ documento único (centralização)

✓ diferentes especificações de concreto

✓ diretrizes extensas e rigorosas

11

Modelo normalizado: BS 8500:2006

BS 8500:2006 Concrete - Complementary British Standard to BS EN 206-1

Parte 1: Method of specifying and guidance for the specifier

Parte 2: Specification for constituent materials and concrete

concreto certificado

12

Modelo normalizado: internacional

Exposure Classes		
Class	Class description	Informative example applicable to the United Kingdom
No risk of corrosion or attack (XO class)		
XO	For concrete without reinforcement or embedded metal where there is no significant freeze/thaw, abrasion or chemical attack.	Unreinforced concrete surfaces inside structures. Unreinforced concrete completely buried in non-aggressive soil (exposure AC-1). Unreinforced concrete permanently submerged in non-aggressive water. Unreinforced concrete in cyclic wet and dry conditions not subject to abrasion, freezing or chemical attack. NOTE: For reinforced concrete, use at least XC1.
Corrosion induced by carbonation (XC classes)^A (Where concrete contains reinforcement or other embedded metal is exposed to air and moisture.)		
XC1	Dry or permanently wet.	Reinforced and prestressed concrete surfaces inside structures except areas of structures with high humidity. Reinforced and prestressed concrete surfaces permanently submerged in non-aggressive water.
XC2	Wet, rarely dry.	Reinforced and prestressed concrete completely buried in soil. NOTE: Need to combine with appropriate ACEC class – see section 1.7.
XC3 & XC4	Moderate humidity or cyclic wet and dry.	External reinforced and prestressed concrete surfaces sheltered from, or exposed to, direct rain. Reinforced and prestressed concrete surfaces inside structures with high humidity (e.g. bathrooms, kitchens). Reinforced and prestressed concrete surfaces exposed to alternate wetting and drying.
Corrosion induced by chlorides other than from sea water (XD classes)^A (Where concrete contains reinforcement or other embedded metal is subject to contact with water containing chlorides, including de-icing salts, from sources other than from seawater.)		
XD1	Moderate humidity.	Concrete surfaces exposed to airborne chlorides. Reinforced and prestressed concrete surfaces in parts of bridges away from direct spray containing de-icing agents. Parts of structures exposed to occasional or slight chloride conditions.

13

Modelo normalizado: internacional

Selected¹ recommendations for normal-weight reinforced concrete quality for combined exposure classes and cover to reinforcement for at least a 50-year intended working life and 20 mm maximum aggregate size

Exposure conditions			Cement/combination designations ²	Strength class ³ , maximum w/c ratio, minimum cement or combination content (kg/m ³), and equivalent designated concrete (where applicable)							
Typical Example	Primary	Secondary		Nominal cover to reinforcement ⁴							
				15 + Δc _{dev}	20 + Δc _{dev}	25 + Δc _{dev}	30 + Δc _{dev}	35 + Δc _{dev}	40 + Δc _{dev}	45 + Δc _{dev}	50 + Δc _{dev}
Internal mass concrete	XO		All	Not recommended that this exposure is not applied to reinforced concrete							
Internal elements (except humid locations)	XC1		All	C20/25, 0.70, 240 or RC25	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<
Buried concrete in AC-1 ground conditions ⁵	XC2	AC-1	All	—	—	C25/30, 0.65, 260 or RC30	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<
Vertical surface protected from direct rainfall			All except IVB	—	C40/50, 0.45, 340 or RC50	C32/40, 0.55, 300 or RC40	C28/35, 0.60, 280 or RC35	C25/30, 0.65, 260 or RC30	<<<	<<<	<<<
Exposed vertical surfaces		XF1	All except IVB	—	C40/50, 0.45, 340 or RC50	C32/40, 0.55, 300 or RC40	C28/35, 0.60, 280 or RC35	<<<	<<<	<<<	<<<
Exposed horizontal surfaces		XF3	All except IVB	—	C40/50, 0.45, 340 ⁶ or RC50XF ⁶	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<
		XF3 (air entrained)	All except IVB	—	—	C32/40, 0.55, 300 plus air ⁷	C28/35, 0.60, 280 plus air ⁷ or DW2	C25/30, 0.60, 280 plus air ^{7,8} or DW1	<<<	<<<	<<<

14

Enfoque em vida útil

A norma de desempenho NBR 15575:2008 abriu um precedente para especificarmos e dosarmos o concreto de acordo com uma vida útil pré-determinada em projeto:

**podemos pensar em
certificação do concreto?**

15

Após norma de desempenho...

A resistência do concreto e o cobrimento já estão especificados em projeto:

pressupõe-se que houve análise da classe de exposição de acordo com o processo de deterioração (ex. 12655:2006)

Próximo passo: estudo de dosagem

vida útil implícita ?

16

Estudo de dosagem (tradicional)

- ✓ estudo do teor de argamassa ideal
- ✓ traço piloto, rico e pobre
- ✓ dosagem e compatibilidade de aditivos
- ✓ simulação de temperatura ambiente
- ✓ verificação da massa específica
- ✓ verificação da temperatura inicial do traço
- ✓ simulação em caminhão betoneira (protótipo)

apenas uma pequena parte...

17

Estudo de dosagem (com vida útil)

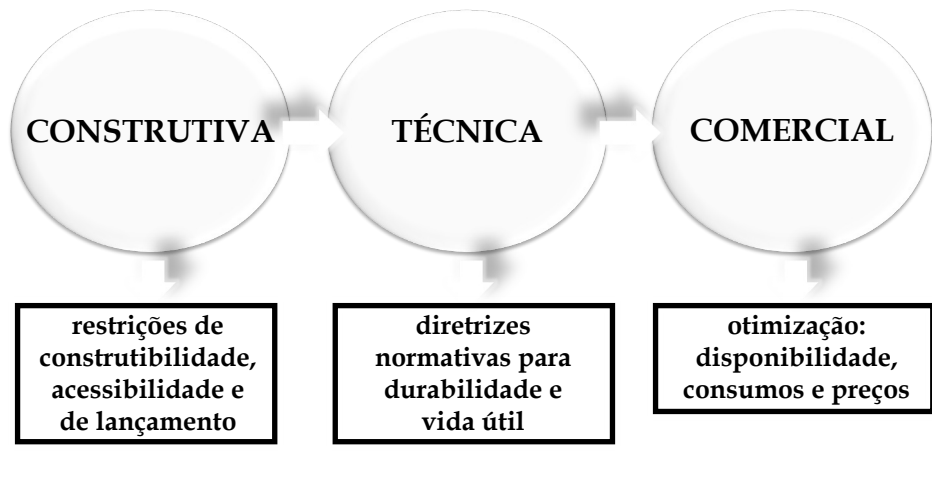
- ✓ água como agente de deterioração
- ✓ ataque por sulfato
- ✓ ação do congelamento
- ✓ efeito do fogo
- ✓ reação álcali agregado
- ✓ ambiente marinho
- ✓ chuva ácida (ou neblina)
- ✓ ciclos de congelamento e degelo...

**Não é somente a
resistência e a
espessura de
cobrimento do
concreto que
definem e garantem
a vida útil...**

18

Estudo de dosagem: visão ampla

restrições de prioridades:



19

O universo do concreto

- ✓ normal/convencional
- ✓ estrutural leve
- ✓ de alta resistência
- ✓ autoadensável
- ✓ concreto massa
- ✓ reforçado com fibras
- ✓ contendo polímeros
- ✓ de retração compensada
- ✓ concreto projetado
- ✓ concreto centrifugado
- ✓ pesado para blindagem de radiação

- ✓ compactado com rolo
- ✓ branco ou coloridos
- ✓ translúcido
- ✓ fotogravado
- ✓ autolimpante
- ✓ concreto...

independentemente do tipo, todos podem estar submetidos ao mesmo processo de deterioração.

20

Exemplo (ênfoque em vida útil)



21

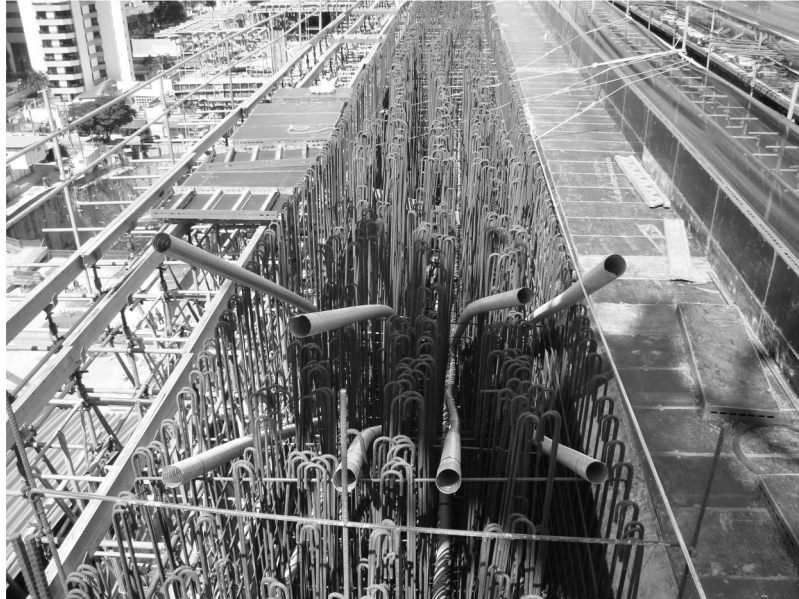
Exemplo

- ✓ dimensões da viga: 44,40m x 2,5m* x 6,0m
- ✓ geometria "Viga T"
- ✓ volume de concreto: 800m³ (concreto massa)
- ✓ concreto: f_{ck} 50MPa (autoadensável)
- ✓ uso de gelo: 100% (somente umidade dos agregados)

O estudo de dosagem deve atender estas especificações

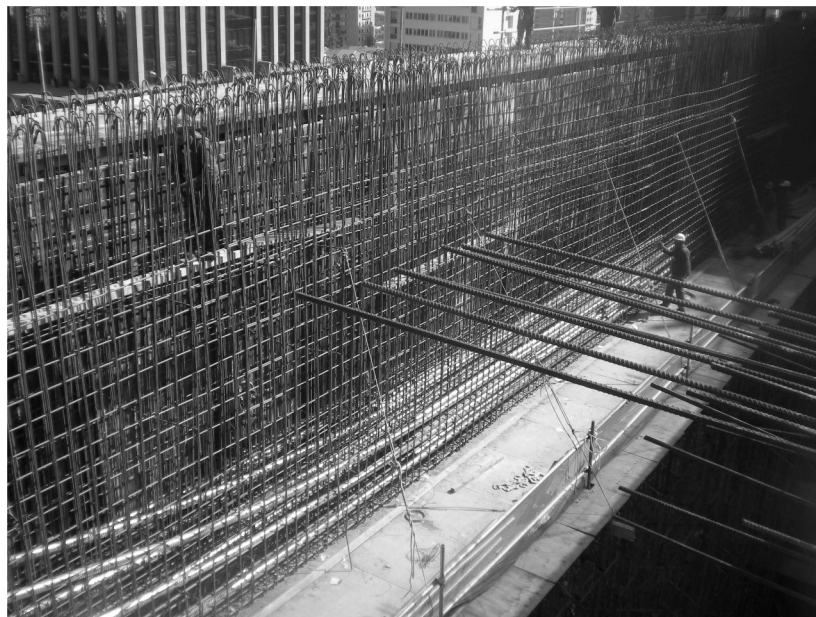
22

Por que concreto autoadensável?



23

Por que concreto autoadensável?



24

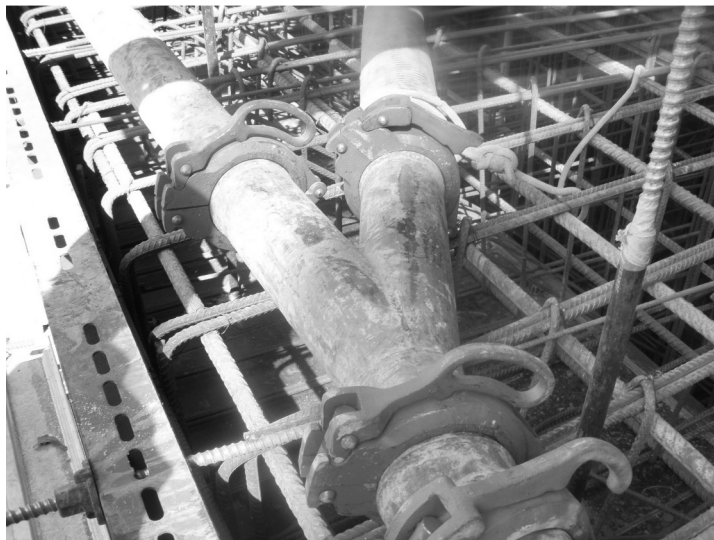
Construtibilidade e vida útil

A especificação e a dosagem correta do material devem, também, garantir a construtibilidade. Tudo tem relação com a vida útil...

execução com qualidade = vida útil

25

Distribuição uniforme: esforços

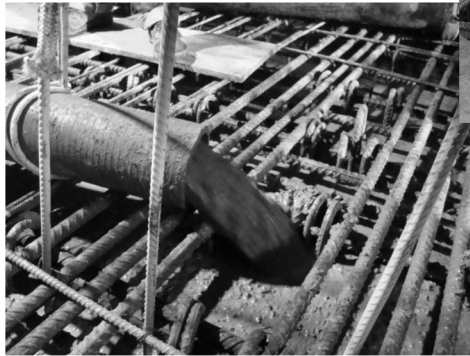


recursos planejados

26

Lançamento correto (h = 6m)

**Procedimento
normalizado
NBR 14931:2004**



**Tudo tem relação
com a vida útil**

27

Lançamento correto

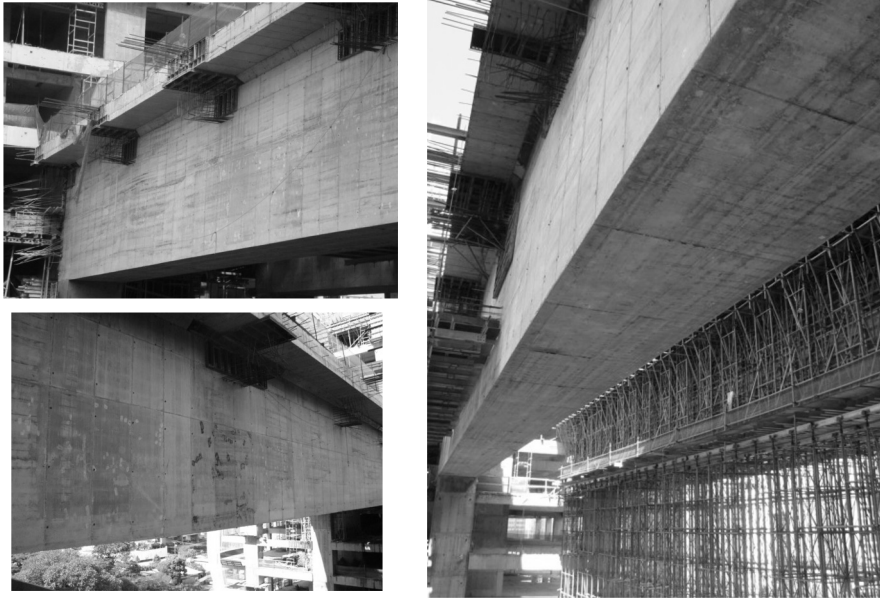
**E se chover durante
a concretagem?**



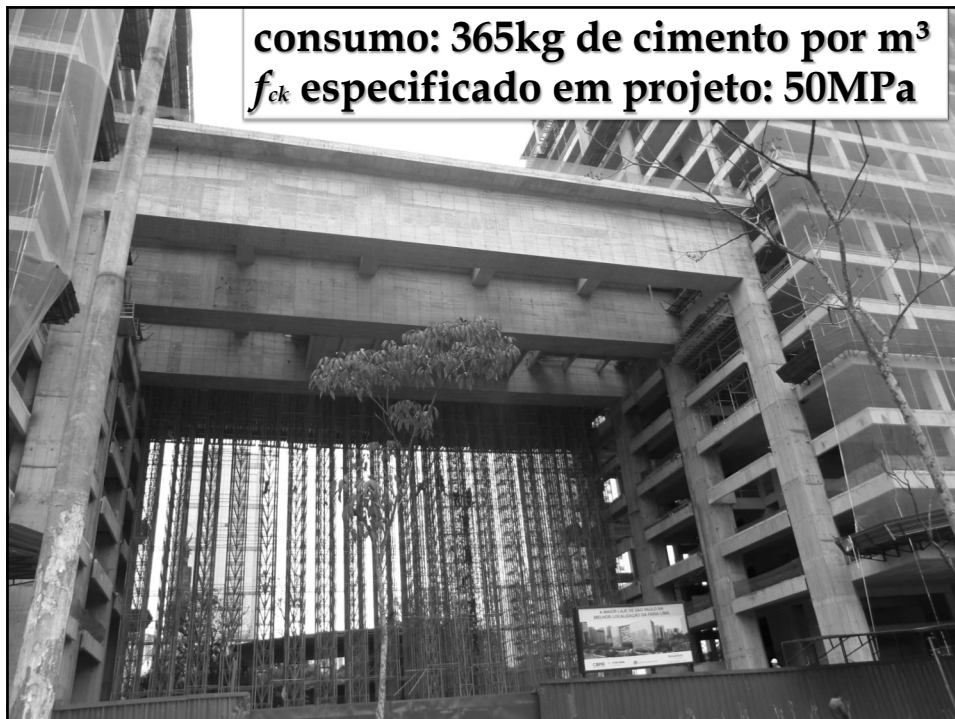
**Obrigatório proteção
provisória ...**

28

Resultado: vida útil



29



30

Estudo de dosagem

**E como conceber um concreto
massa, de alta resistência e ainda
autoadensável, mantendo os
padrões de construtibilidade,
durabilidade e de
vida útil?**

31

Exemplo... teorias conflitantes



32

Exemplo

✓ dimensões do bloco: 28,40m x 18,60m x 4,5m

✓ volume de concreto: 2480m³ (concreto massa)

✓ concreto: f_{ck} 70MPa (autoadensável)

✓ cimento: CP III

✓ uso de gelo: 100% (somente umidade dos agregados)

33

Exemplo (primeira restrição)

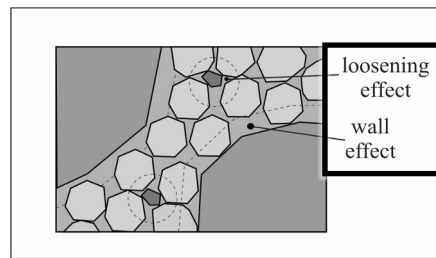
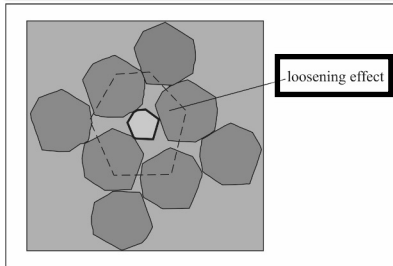
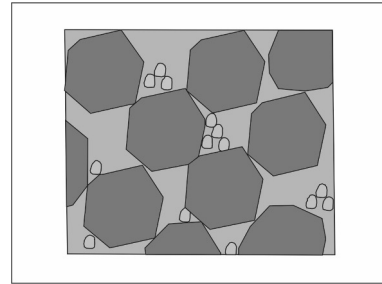
Estudo de dosagem visando alta
resistência com baixo consumo
de cimento

f_{ck} especificado em projeto: 70MPa

34

Estudo de dosagem

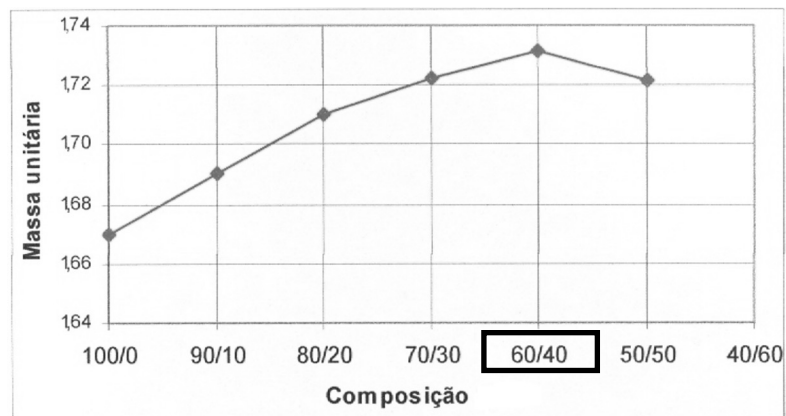
**empacotamento teórico
granulometria descontínua
(de Larrard, 1999)**



tamanho, forma e textura dos grãos

35

Estudo de dosagem (na prática)



**empacotamento empírico
(Helene e Terzian, 1992)**

Libório et al, 2008

36

Estudo de dosagem



teor de argamassa ideal



37

Estudo de dosagem

verificação do teor de ar aprisionado



verificação da massa específica



38

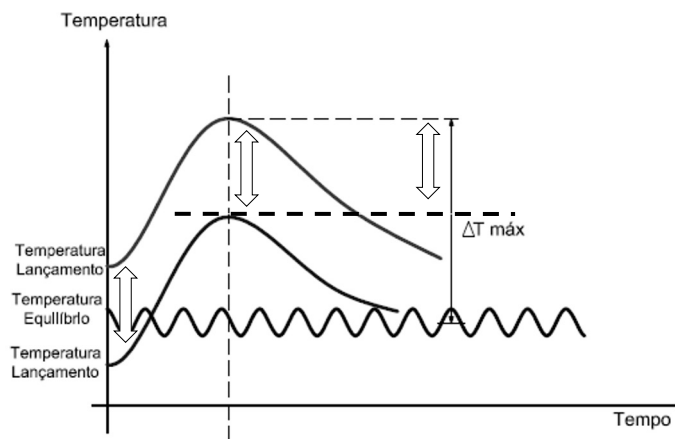
Exemplo (segunda restrição)

Estudo de dosagem visando alta resistência com baixo consumo de cimento, com enfoque em concreto massa

volume do bloco: 2480m³

39

Conceito básico de concreto massa

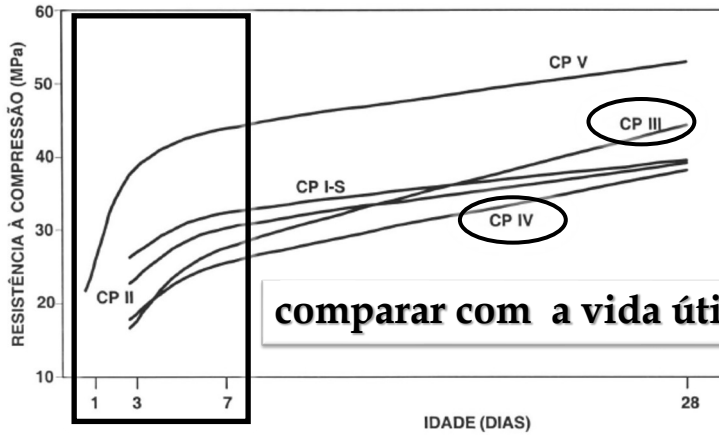


controle da temperatura de lançamento

40

Geração de calor

ABCP, 2003 (BT 106)



cimento: consumo e tipo

41

Uso de gelo: recurso adicional

Material	Consumo kg/m³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m³.°C)	T (°C)	Q (kcal/m³)
Cimento.CPIII-40	447,0	0,222	99,2	70	6946,3
Sílica	38,3	0,191	7,3	40	292,6
Areia Artif.	480,9	0,175	84,1	23	1935,6
Areia Nat.	320,6	0,181	58,0	26	1508,7
Brita 0	194,2	0,175	33,9	26	883,6
Brita 1	776,8	0,175	135,9	26	3534,4
Água	134,9	1,000	134,9	26	3508,0
Umidade Miúdo Ar.	24,0	1,000	24,0	26	625,1
Umidade Miúdo Nat.	16,0	1,000	16,0	26	416,7
Umidade Graúdo	0	1,000	0	26	0
Betoneira					1000
Total			593,6604		20651,4
Transporte (Ganho)		2,0°C			
T Lançamento=		36,8°C			

sem gelo

42

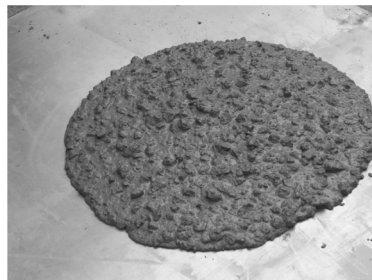
A influência do gelo: dosagem

Material	Consumo kg/m ³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m ³ .°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	Ti -Tf (°C)	Q (kcal/m ³)
Cimento.CPIII-40	447,0	0,222	99,2	70	0	70	6946,3
Sílica	38,3	0,191	7,3	40	0	40	292,6
Areia Artif.	480,9	0,175	84,1	23	0	23	1935,6
Areia Nat.	320,6	0,181	58,0	26	0	26	1508,7
Brita 0	194,2	0,175	33,9	26	0	26	883,6
Brita 1	776,8	0,175	135,9	26	0	26	3534,4
Água	0	1,000	0	26	0	26	0
Umidade Miúdo Art.	24,0	1,000	24,0	26	0	26	625,1
Umidade Miúdo Nat.	16,0	1,000	16,0	26	0	26	416,7
Umidade Graúdo	0	1,000	0	26	0	26	0
Gelo	134,9	0,500	67,4	-10	0	-10	-674,6
Fusão Gelo	134,9	1,000	134,9	0	0	0	-10794,0
Gelo + Água	134,9	1,000	134,9	0	18	-18	-2428,6
Betoneira							1000
Total			796,0				3246,0
Transporte (Ganho)		2,0°C					
T Lançamento=		6,1°C					

com gelo: redução de 80%

43

Temperatura de lançamento



é possível ...

44

Exemplo (terceira restrição)

Estudo de dosagem visando alta resistência com baixo consumo de cimento, com enfoque em concreto massa e em concreto autoadensável

restrição de construtibilidade

45

Exemplo: restrição de dosagem

MATERIAL	PESO (kg/m ³)
Finos (cimento + filler + aditivos)	380 - 600
Pasta (cimento + filler + aditivos + água)	530 - 810
Água	150 - 210
Agregado graúdo	650 - 900
Areia	(*)

(*) Para ajustar na dosagem, normalmente entre 48 a 55% do peso total dos agregados

além do uso de aditivos específicos

46

Por que concreto autoadensável?



47

Construtibilidade



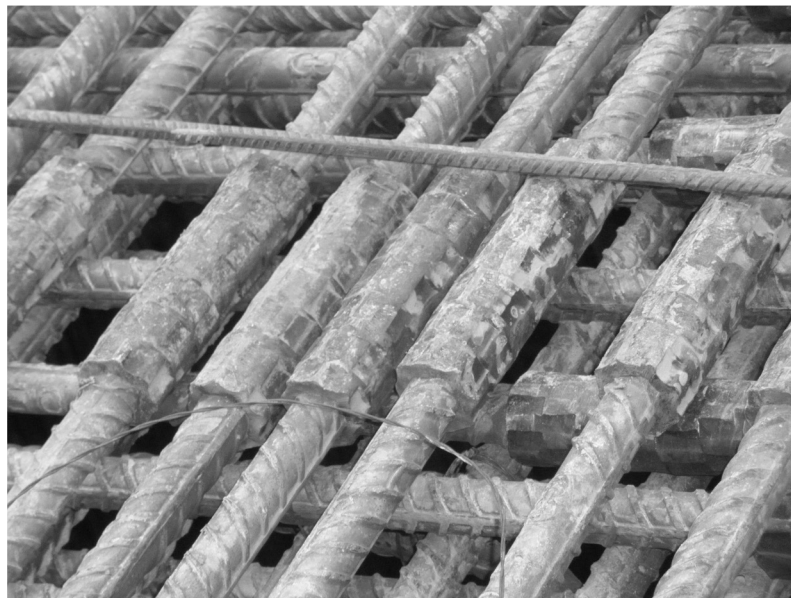
48

Construtibilidade



49

Construtibilidade



50



51

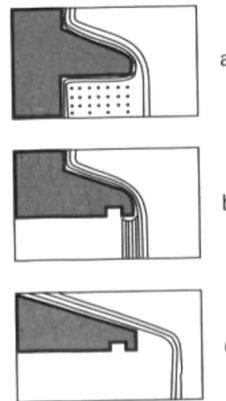
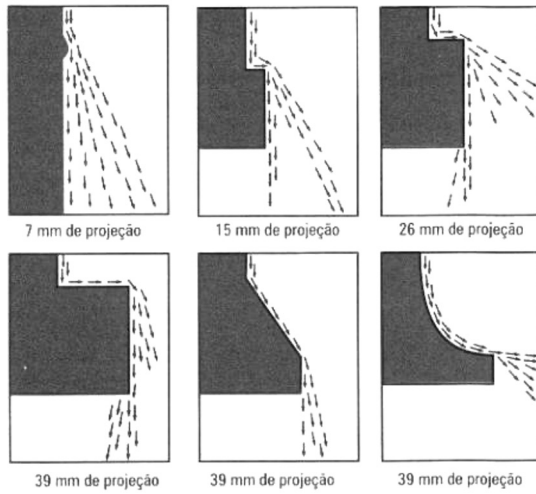
Enfoque em vida útil

Um concreto bem especificado, um fornecimento correto e uma execução adequada é suficiente para garantir vida útil?

não é somente isso...

52

Arquitetura planejada



**cornijas, beirais,
pingadeiras ...**

Uemoto, 2005 apud Couper, 1974

53

Martinelli (1929)

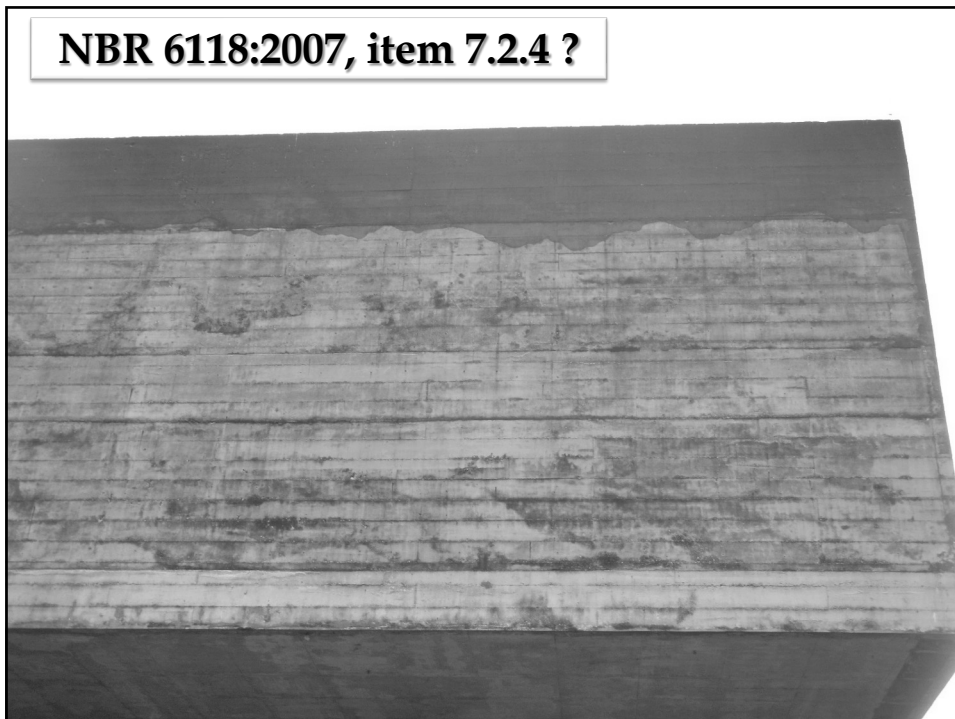


**81 anos de idade,
vida útil ?**

54



55



56

Arquitetura planejada

NBR 6118:2007, item 7.2.4:

“Todos os topos de platibandas e paredes devem ser protegidos por chapins. Todos os beirais devem ter pingadeiras e os encontros a diferentes níveis devem ser protegidos por rufos”

de quem é a responsabilidade?

57



58

O problema não é somente estético...



40 anos de idade...

59

O problema não é somente estético...



risco de vida (não é a útil)

60

Enfoque em vida útil

Um concreto bem especificado, um fornecimento correto, uma execução adequada e uma arquitetura planejada é suficiente para garantir vida útil?

não é somente isso (ainda)...

61



Manutenção de estruturas

the official site of
THE EIFFEL TOWER

vamos refletir um pouco ?

Mid-December on the Eiffel Tower +
New Exhibit:
The Construction of the Eiffel Tower 1887 to 1889 +

111 anos de idade !

62

Manutenção de estruturas

“A Torre Eiffel foi um projeto revolucionário em aço resistente, mas leve o suficiente para minimizar a força do vento e reduzir a sobrecarga em sua fundação. Ao mesmo tempo, sua construção foi econômica e esteticamente perfeita.

Mas, infelizmente, o aço não foi galvanizado.

O tamanho e a geometria da torre impõem um trabalho árduo de proteção contra a corrosão e manutenção do aço, e esta manutenção é particularmente difícil ...

Michael Martin, Internacional Zinco Association (www.iza.com)

63

Vida útil ?

... A operação de manutenção acontece a cada 7 anos, dura 14 meses e utiliza 60t de tinta sobre uma área de total de 200.000m². Durante esta operação, os reparos da torre de 320m de altura acontecem em toda a sua estrutura, por uma equipe de 25 pintores que removem a ferrugem, as sujeiras dos pássaros, as lascas de tinta e os danos causados pela poluição da cidade.”

Michael Martin, Internacional Zinco Association (www.iza.com)

64

Enfoque em vida útil

NBR 6118:2007, item 25.4:

“Dependendo do porte da construção e da agressividade do meio e de posse das informações dos projetos, dos materiais e dos produtos utilizados e da execução da obra, deve ser produzido por profissional habilitado, devidamente contratado pelo contratante, um manual de utilização, inspeção e manutenção ...

bom senso: toda construção precisa

65

Enfoque em vida útil

NBR 6118:2007, item 25.4:

... Esse manual deve especificar de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessárias para garantir a vida útil prevista para a estrutura.”

vida útil implícita

66

Visão sistêmica da vida útil

Interação de três universos:

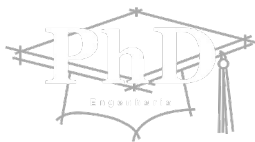


é possível !!!

67

Obrigado !!!

carlos.britez@concretophd.com.br



68