

# TECNOLOGIA DO CONCRETO MASSA



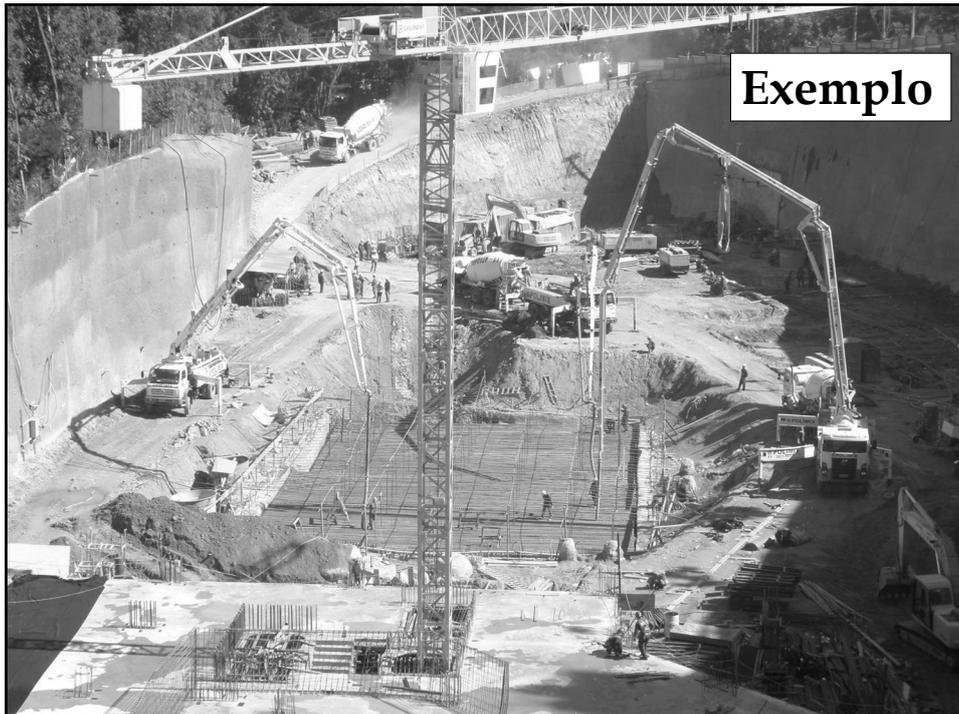
**Carlos Brites**  
*Diretor PhD*

Sede da Rio Verde

11/05/2012

Limeira/SP

1



2

## Especificação do concreto

- ✓ o solo é agressivo?
- ✓ há presença de lençol freático?
- ✓ é solo de reaterro?
- ✓ qual o pH do extrato de água do solo?
- ✓ os insumos do traço são reativos (agregados)?
- ✓ há adições incorporadas ao traço?
- ✓ necessita de gelo em substituição à água?
- ✓ cumpre com a normalização?

necessita de  
ensaios  
comprobatórios

direitos reservados 2012

3

## Estudo de dosagem (convencional)

- ✓ 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...

direitos reservados 2012

4

## 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...

direitos reservados 2012

não é somente a resistência e a espessura de revestimento do concreto que definem e garantem a vida útil...

5

## 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...

direitos reservados 2012

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

6

## Voltando ao Exemplo

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

✓ volume de concreto: 2480m<sup>3</sup> (concreto massa)

✓ concreto:  $f_{ck}$  70MPa (CAR e CAA)

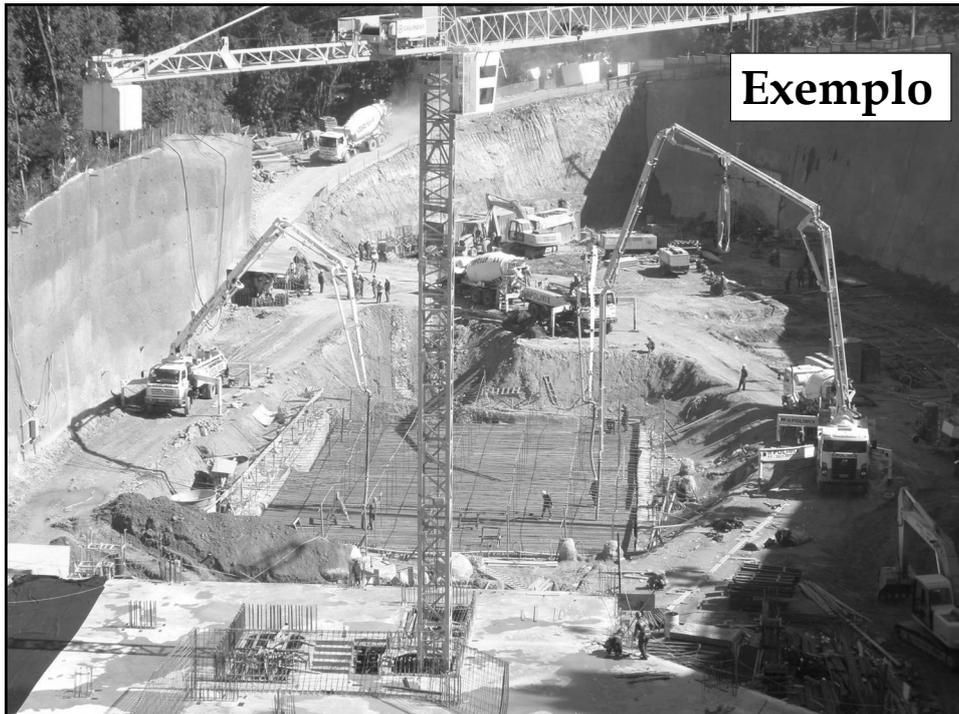
✓ cimento: tipo CP III

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

teorias conflitantes ...

direitos reservados 2022

7



8

## Concreto de alta resistência

Parâmetro	Concreto normal	Concreto de alta resistência	Concreto de altíssima resistência	Concreto de ultra-alta resistência
Resistência, MPa	< 50	50 – 100	100 – 150	> 150
Relação água/cimento	> 0,45	0,45 – 0,30	0,30 – 0,25	< 0,25
Aditivos químicos	desnecessário	reductor de água	super-reductor de água	super-reductor de água
Adições	desnecessário	cinza volante	sílica ativa	sílica ativa
Coef. de permeabilidade (cm/s)	> 10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-12</sup>	< 10 <sup>-13</sup>

*Farny & Panarese, 1994  
(Portland Cement Association)*

**no Brasil: ABNT NBR 8953:2009\* (versão de 2011)**

9

## Concreto massa

*“Concreto massa é qualquer volume de concreto com dimensões suficientes para requerer que sejam tomadas medidas para fazer frente à geração de calor, provocada pela hidratação do cimento, e para minimizar a fissuração oriunda da conseqüente mudança volumétrica”*

*ACI 207.1R-05,  
Guide to Mass Concrete*

**ACI 207.1R-05 “Guide to Mass Concrete”**

10

## Concreto massa

*“Concreto-massa é qualquer volume de concreto moldado in situ com dimensões de magnitude suficiente para exigir que sejam tomadas medidas para controlar a geração de calor e a variação de volume decorrente, a fim de minimizar a sua fissuração”*

IBRACON, 2005

direitos reservados 2022

11

## Concreto massa

*“Concreto-massa é o concreto em uma estrutura maciça; por exemplo, viga, pilares, estacas, comportas, ou barragens onde o volume é de tal magnitude que requer meios especiais para combater a geração de calor e a decorrente mudança de volume”*

Mehta & Monteiro, 2008  
ACI Committee 116

direitos reservados 2022

12

## Concreto autoadensável

*“Concreto que é capaz de fluir, autoadensar pelo seu peso próprio, preencher a fôrma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, lançamento e acabamento”*

ABNT NBR 15823:2010 (Parte 1)

**ABNT NBR 15823:2010 (Parte 1)**

direitos reservados 2012

13

## Concreto autoadensável

*“Concreto fluído que pode ser moldado in loco sem o uso de vibradores para formar um produto livre de vazios e falhas”*

Mehta & Monteiro, 2008

direitos reservados 2012

14

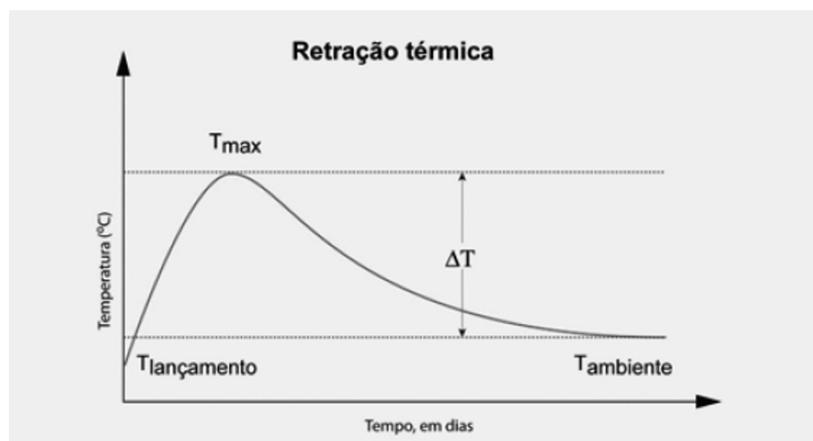
## Concreto autoadensável

- ✓ capacidade de preencher todos os espaços no interior da forma (*filling ability*)
- ✓ capacidade de passar através de pequenas aberturas como espaçamento entre barras de aço (*passing ability*)
- ✓ capacidade de permanecer uniforme e coeso durante o processo de transporte e lançamento (*segregation resistance*)

direitos reservados 2012

15

## Conceituação do concreto massa



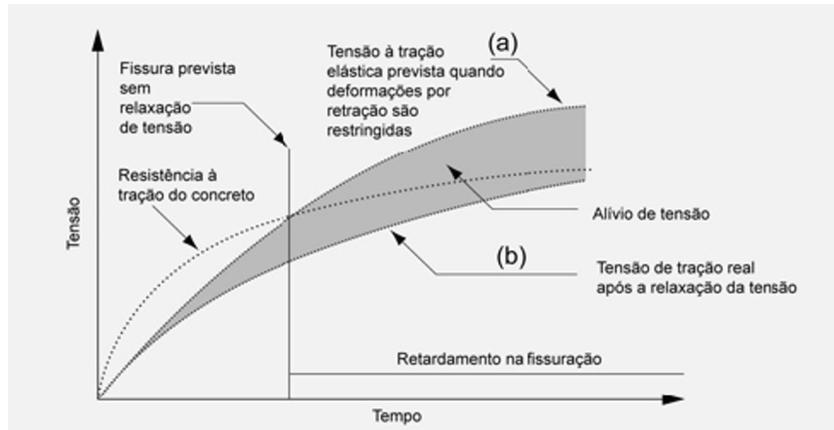
Mehta & Monteiro, 2008

equilíbrio de temperaturas

direitos reservados 2012

16

# Conceituação do concreto massa



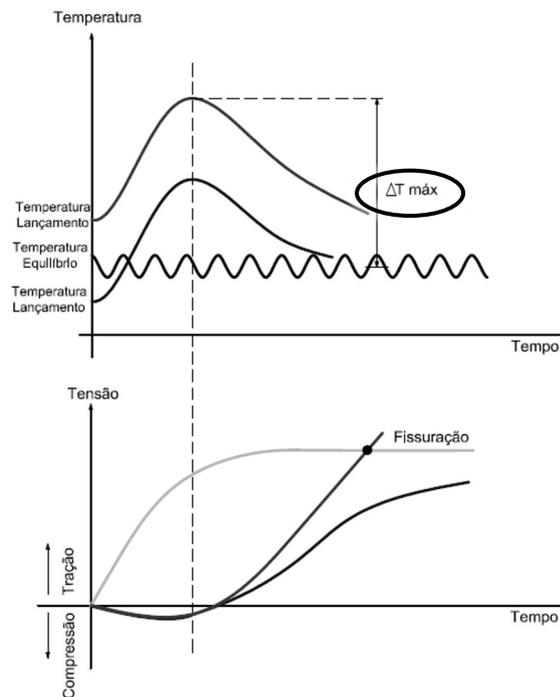
Mehta & Monteiro, 2008

## equilíbrio de tensões

direitos reservados 2022

17

# Conceito básico



18

## Como reduzir o “ $\Delta T_{\text{máx}}$ ”

- ✓ redução do consumo de cimento
- ✓ adição de materiais pozzolânicos ou outras adições
- ✓ cimento com baixo calor de hidratação
- ✓ pré-refrigeração do concreto
- ✓ pós-refrigeração do concreto

**origem da especificação do concreto**

direitos reservados 2022

19

## Temperatura de lançamento

- ✓ depende do consumo dos materiais (traço)
- ✓ depende do calor específico dos materiais
- ✓ depende da temperatura natural dos materiais
- ✓ depende da logística (fator tempo)\*

*\* tempo associado a transporte e descarga do concreto*

**dado de entrada mutável**

direitos reservados 2022

20

## Temperatura de lançamento

Traço de materiais secos por m<sup>3</sup> de concreto:

Cimento (CP III 40)	447,0 kg
Sílica ativa	38,3kg
Areia artificial	480,9 kg
Areia natural	320,6 kg
Brita 0	194,2 kg
Brita 1	776,8 kg
Água total	175,0 L
Aditivo polifuncional (0,5%)	2,2 L
Aditivo hiper (1%)	4,6 L

direitos reservados 2022

21

## Temperatura de lançamento

Concreto sem gelo: 36,8°C

Concreto com **100%** de gelo: 6,1°C

com gelo: redução de 80%

balanço térmico teórico

direitos reservados 2022

22

# Temperatura média anual

- ✓ depende da região
- ✓ depende da natureza
- ✓ não depende dos materiais, da dosagem, do consumo de cimento, etc...

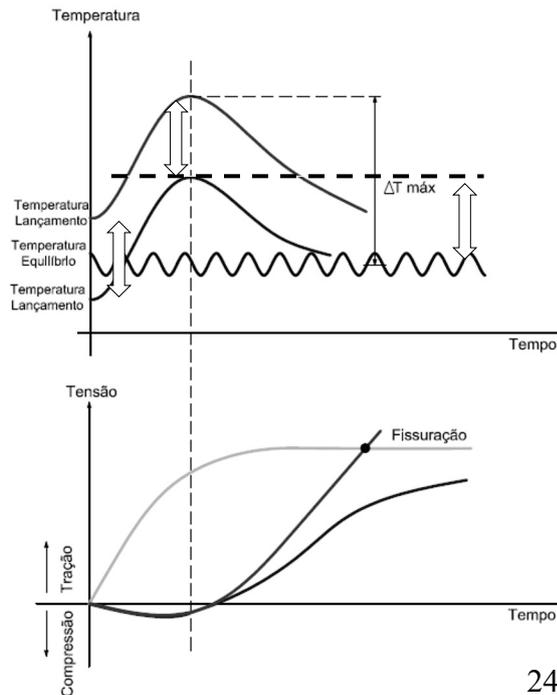


**dato de entrada imutável\***

direitos reservados 2022

23

## Revisão!



24

24



25

## Exemplo (relembrando...)

- ✓ dimensões do bloco: 28,40m x 18,60m x 4,5m
- ✓ volume de concreto: 2480m<sup>3</sup> (concreto massa)
- ✓ concreto:  $f_{ck}$  70MPa (CAR e CAA)
- ✓ cimento: tipo CP III
- ✓ uso de gelo: 100% (somente umidade dos agregados)

**já aprendemos...**

direitos reservados 2012

26

## As quatro chaves fundamentais\*

- ✓ estudo de dosagem
- ✓ estudo térmico (simulações)
- ✓ procedimento executivo
- ✓ acompanhamento técnico



**controle tecnológico**

direitos reservados 2022

27

## Estudo de dosagem

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

direitos reservados 2022

28

## Exemplo (primeira restrição)

Estudo de dosagem:  
visando alta resistência com  
baixo consumo de cimento

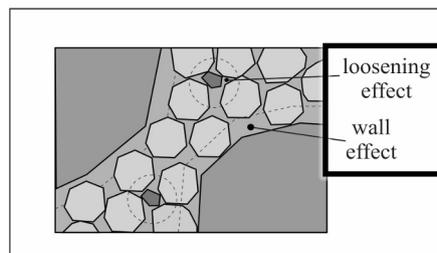
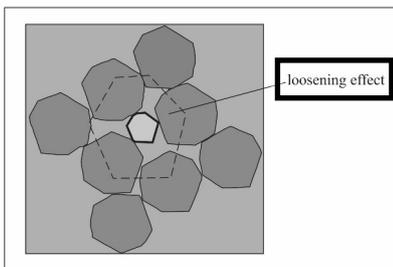
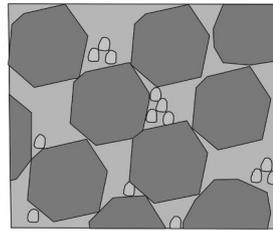
$f_{ck}$  especificado em projeto: 70MPa

direitos reservados 2012

29

## Estudo de dosagem

empacotamento teórico  
(de Larrard, 1999)

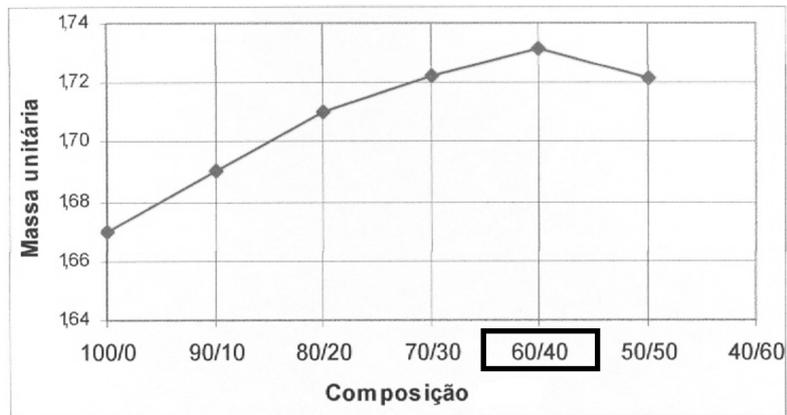


tamanho, forma e textura dos grãos

direitos reservados 2012

30

## Estudo de dosagem (na prática)



*Libório et al, 2008*

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

direitos reservados 2022

31

## Estudo de dosagem (na prática)



**teor de argamassa ideal**

direitos reservados 2022



32

## Estudo de dosagem

simulação da  
temperatura



direitos reservados 2022



dosagem em  
laboratório

33

## Estudo de dosagem



34

## Estudo de dosagem (na prática)

**verificação do teor  
de ar aprisionado**



**verificação da  
massa específica**

35

## Exemplo (segunda restrição)

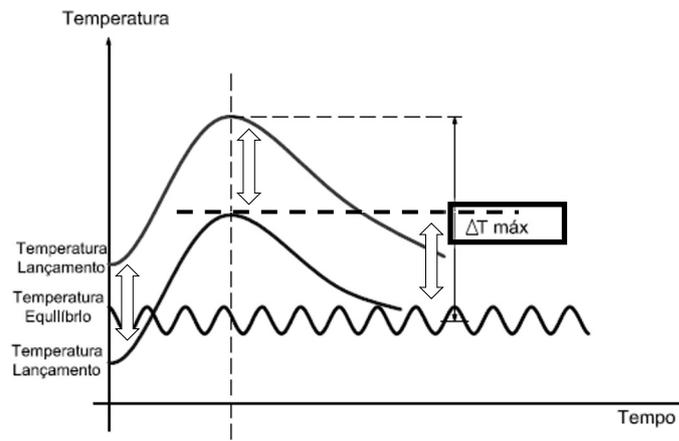
**Estudo de dosagem:  
visando alta resistência com  
baixo consumo de cimento, com  
ênfase em concreto massa**

**volume do bloco: 2480m<sup>3</sup>**

direitos reservados 2012

36

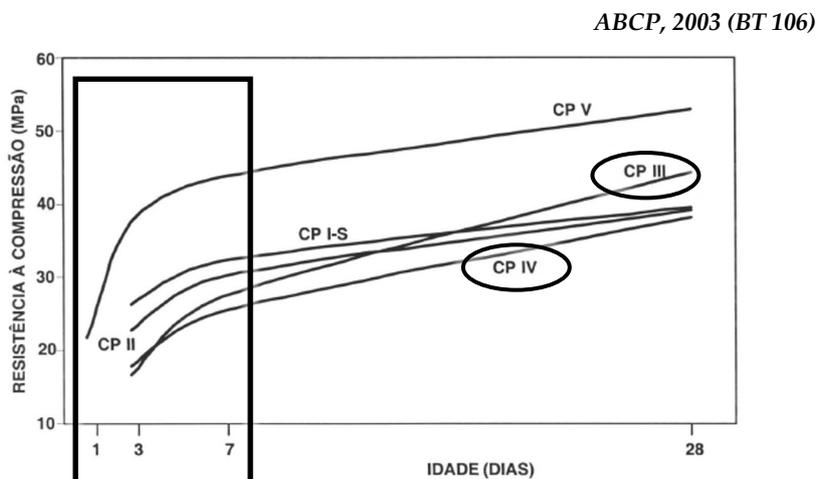
## Conceito básico de concreto massa



**controle da temperatura de lançamento**

37

## Geração de calor



**cimento: consumo e tipo**

direitos reservados 2012

38

## Uso de gelo: recurso adicional

Material	Consumo kg/m <sup>3</sup>	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m <sup>3</sup> .°C)	T (°C)	Q (kcal/m <sup>3</sup> )
Cimento.CPIII-40	447,0	0,222	99,2	70	6946,3
Sílica	38,3	0,191	7,3	40	292,6
Areia Artificial	480,9	0,175	84,1	23	1935,6
Areia Natural	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 Art.	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

direitos reservados 2022

39

## A influência do gelo na dosagem

Material	Consumo kg/m <sup>3</sup>	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m <sup>3</sup> .°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	Ti -Tf (°C)	Q (kcal/m <sup>3</sup> )
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 Artificial	480,9	0,175	84,1	23	0	23	1935,6
Areia Natural	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%

40

## Temperatura de lançamento

Concreto sem gelo: 36,8°C

Concreto com **100%** de gelo: 6,1°C

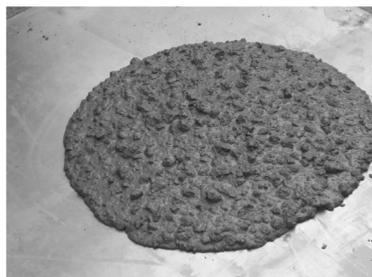
com gelo: redução de 80%

balanço térmico teórico

direitos reservados 2012

41

## Temperatura de lançamento



é possível ...

direitos reservados 2012

42

## Exemplo (terceira restrição)

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

**restrição de construtibilidade**

direitos reservados 2022

43

## Exemplo: restrição de dosagem

MATERIAL	PESO (kg/m <sup>3</sup> )
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**

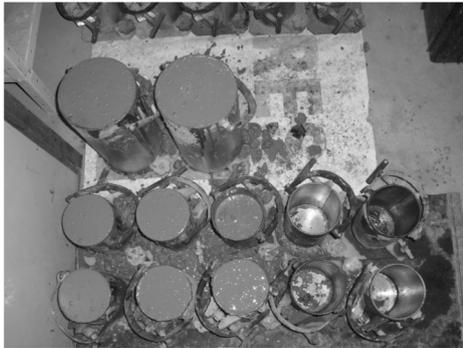
*Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2005*

direitos reservados 2022

44

## Estudo de dosagem

**moldagem de  
corpos de prova**



direitos reservados 2012



**resistência e  
módulo**

45

## Estudo térmico

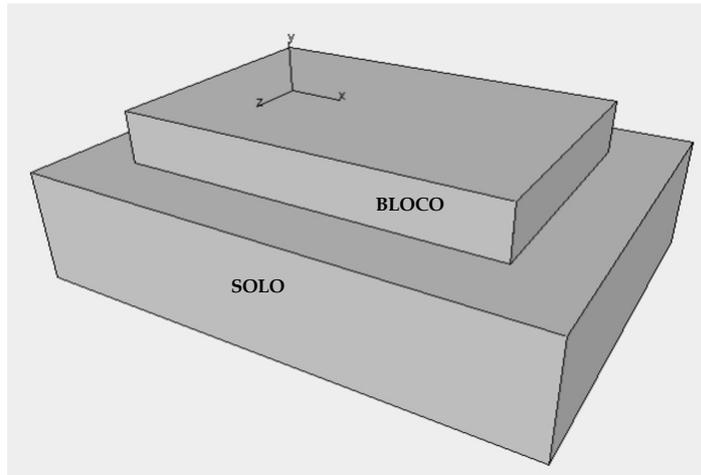
- ✓ **simulação piloto**
- ✓ **simulações posteriores**
- ✓ **calibragem do modelo**
- ✓ **coeficiente de segurança\***
- ✓ **retroalimentação de dados (monitoração)**
- ✓ **verificação da temperatura inicial do traço**

**e o cronograma da obra?**

direitos reservados 2012

46

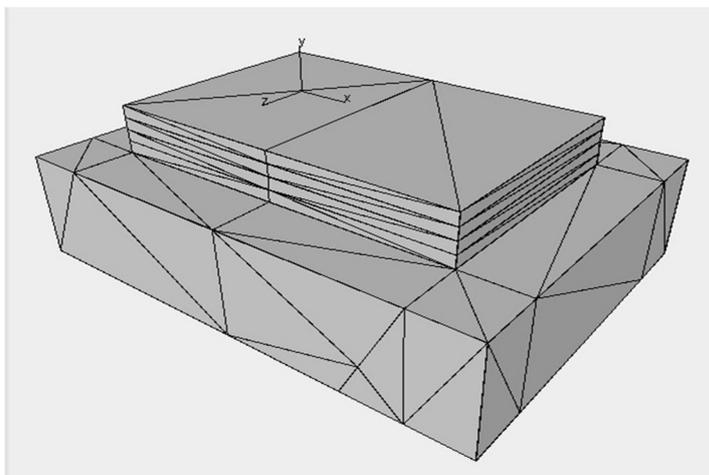
## Estudo térmico



**concretagem em camada única**

47

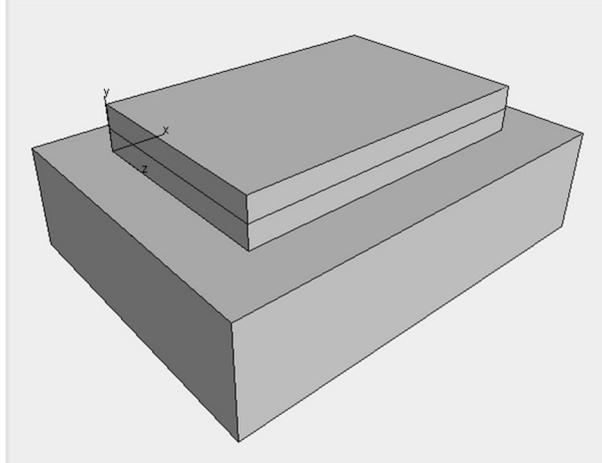
## Estudo térmico



**malha de elementos finitos**

48

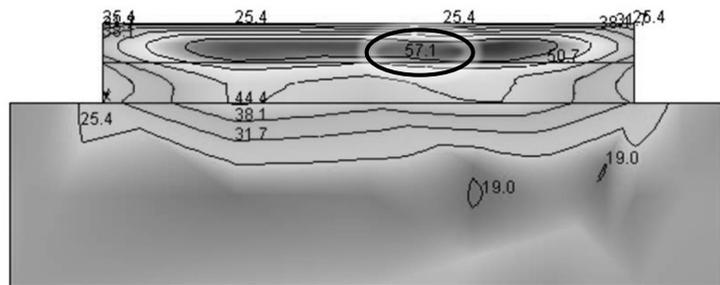
## Estudo térmico



**concretagem em duas camadas...**

49

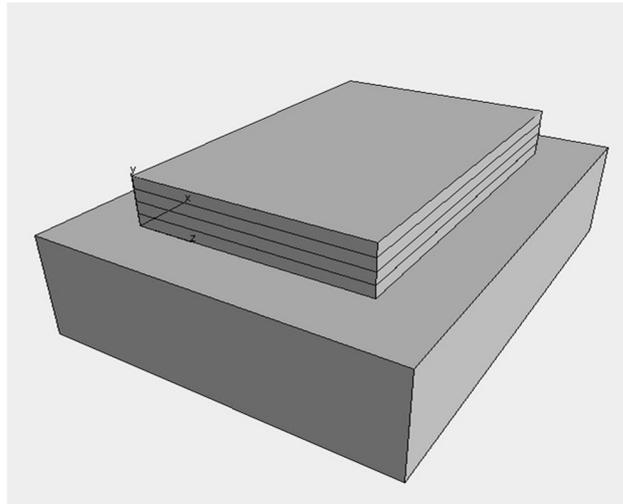
## Estudo térmico



**temperaturas: duas camadas: a cada 7 dias**

50

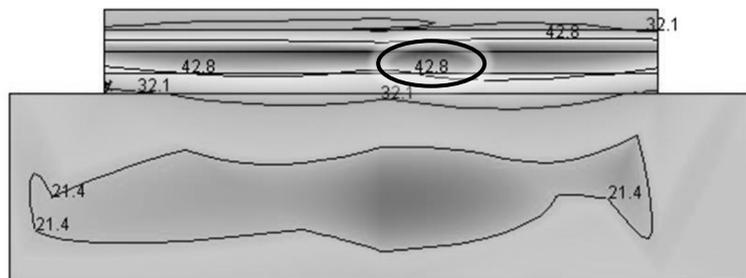
## Estudo térmico



**concretagem em quatro camadas**

51

## Estudo térmico



**temperaturas: quatro camadas: a cada 3 dias**

52

## Procedimento executivo (descritivo)

### Produção de concreto e controle da produção na central :

- Molhar agregado graúdo (refrigeração\*)
- Medir temperatura agregados e cimento
- Substituição de toda a água de amassado por gelo
- Pesagem dos sacos de gelo para determinar peso médio
- Medir umidade da areia
- Carregar apenas 6m<sup>3</sup> por CB, já com aditivo
- Fluxo constante de caminhões betoneira

### Controle do lançamento na obra :

- Medir temperatura do concreto
- Medir consistência
- Moldar corpos de prova (Compressão e tração diametral)
- Medir temperatura das camadas do bloco com termopares

### Recomendações para concretagem :

- Preparo prévio do local
- Posicionamento bombas
- Tratamento entre camadas
- Limpeza e cura

direitos reservados 2012

53

## Acompanhamento técnico

**superfície do  
caminhão**



direitos reservados 2012



**gelo no caminhão  
frigorífico\***

54

## Recordação...

Concreto sem gelo: 36,8°C

Concreto com 100% de gelo: 6,1°C

com gelo em caminhão  
frigorífico a -10°C!

controle inadequado !

direitos reservados 2012

55

## Acompanhamento técnico

temperatura areia  
natural na usina



direitos reservados 2012



temperatura areia  
artificial na usina

56

## Acompanhamento técnico

**temperatura brita 0  
na usina**



**temperatura brita 1  
na usina**



direitos reservados 2012

57

## Acompanhamento técnico

**temperatura do  
concreto na obra**



**temperatura do  
concreto dentro do  
caminhão betoneira**



direitos reservados 2012

58

## Acompanhamento técnico

lançamento do  
concreto



direitos reservados 2022



aspecto do concreto  
com 10°C

59

## Acompanhamento técnico



60

## Acompanhamento técnico



**a influência do fator tempo**

direitos reservados 2022

61

## Acompanhamento técnico

**8h00**



**11h30**



**areia artificial: superior ao dobro!**

direitos reservados 2022

62

## Acompanhamento técnico

8h00



11h30



**brita 1: triplicou!**

direitos reservados 2012

63

## Acompanhamento técnico

8h00



11h30



**brita 0: dobrou!**

direitos reservados 2012

64

## Acompanhamento técnico



**molhagem dos agregados?**

direitos reservados 2012

65

## Acompanhamento técnico



**medição após 16 minutos ...**

direitos reservados 2012

66

## Acompanhamento técnico

11h30



11h46



**brita 0 : reduziu quase a metade**

direitos reservados 2022

67

## Acompanhamento técnico

11h30



11h46



**brita 1 : redução superior a 30%**

direitos reservados 2022

68

## Controle de recebimento



direitos reservados 2012



**moldagem de corpos de prova e monitoração de temperatura**

69

## Controle tecnológico

**o que controlar em obra?  
qual plano de amostragem?  
que tipo de amostragem?**

direitos reservados 2012

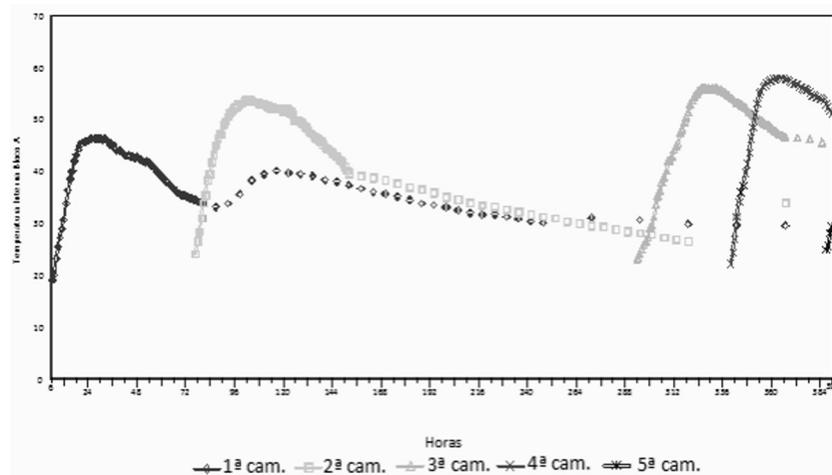
70

## Controle tecnológico



71

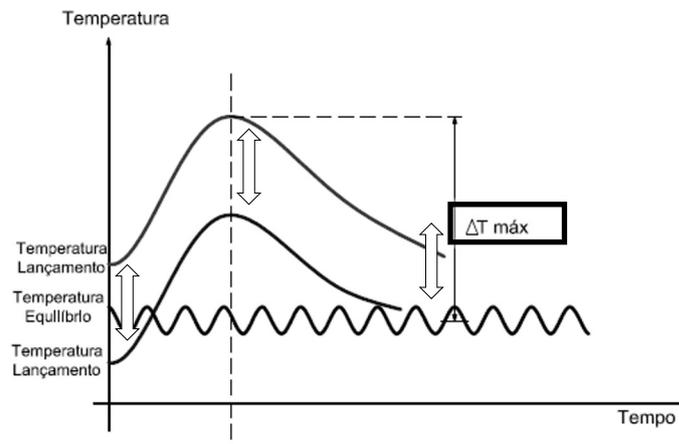
## Controle tecnológico



**monitoração das temperaturas**

72

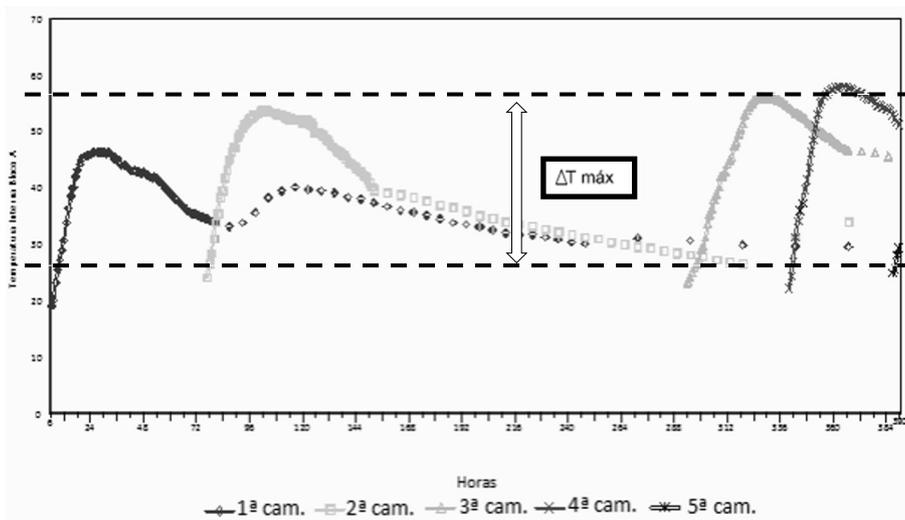
## Recordando...



**controle da temperatura de lançamento**

73

## Controle tecnológico



**monitoração das temperaturas**

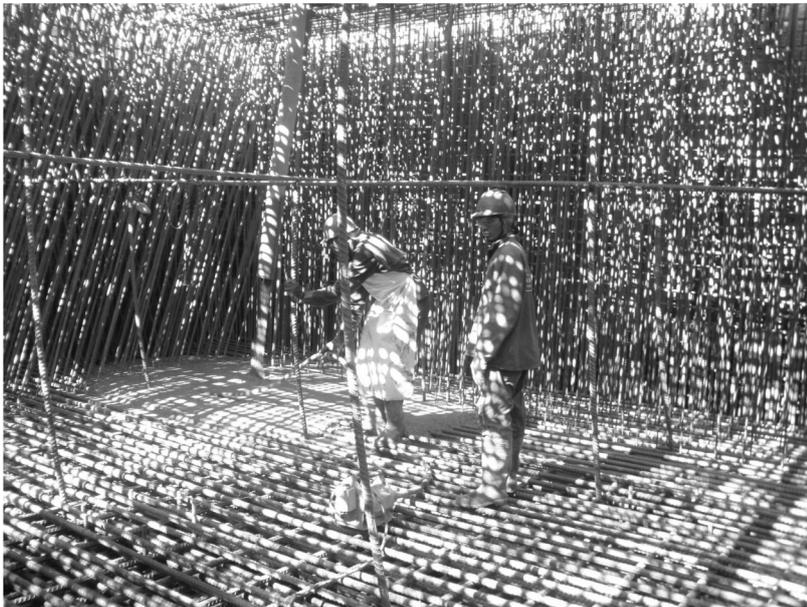
74

## Por que concreto autoadensável?



75

## Construtibilidade



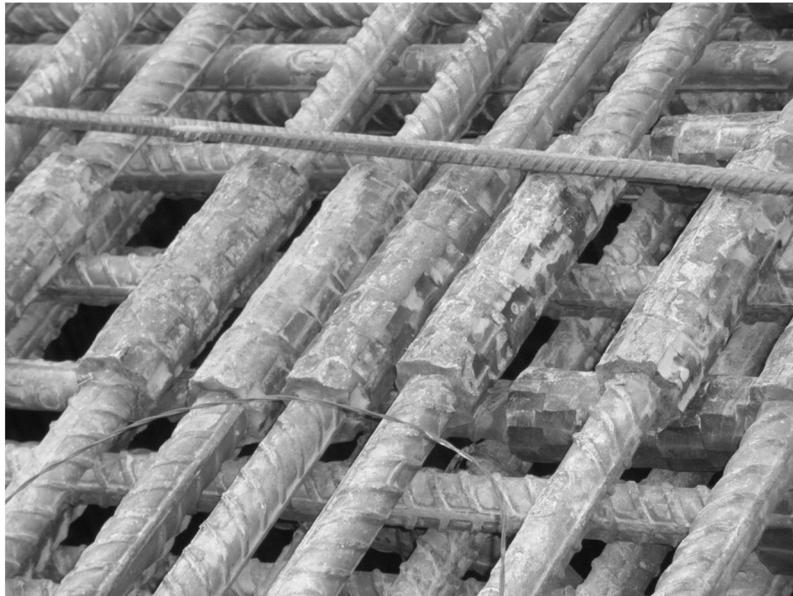
76

## Construtibilidade



77

## Construtibilidade



78



79