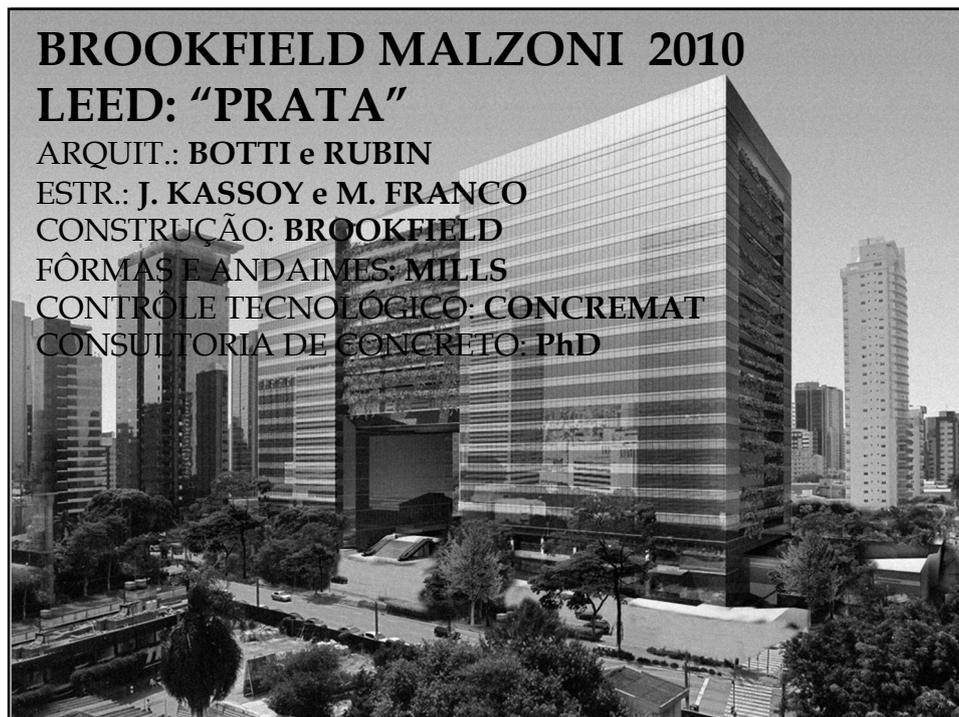


Vigas de Transição do Empreendimento Brookfield Malzoni em São Paulo

**Um caso de aplicação de concreto massa e
autoadensável**

Eng. Juan Gadea
PhD Engenharia Ltda.
Data: 12/08/2010

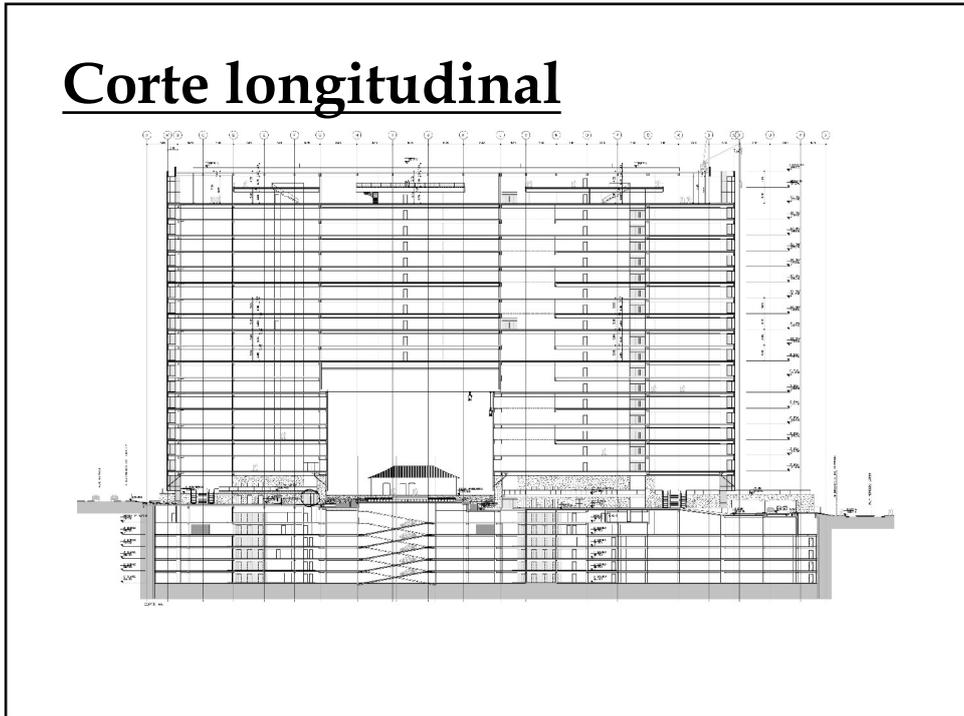
1



2



3

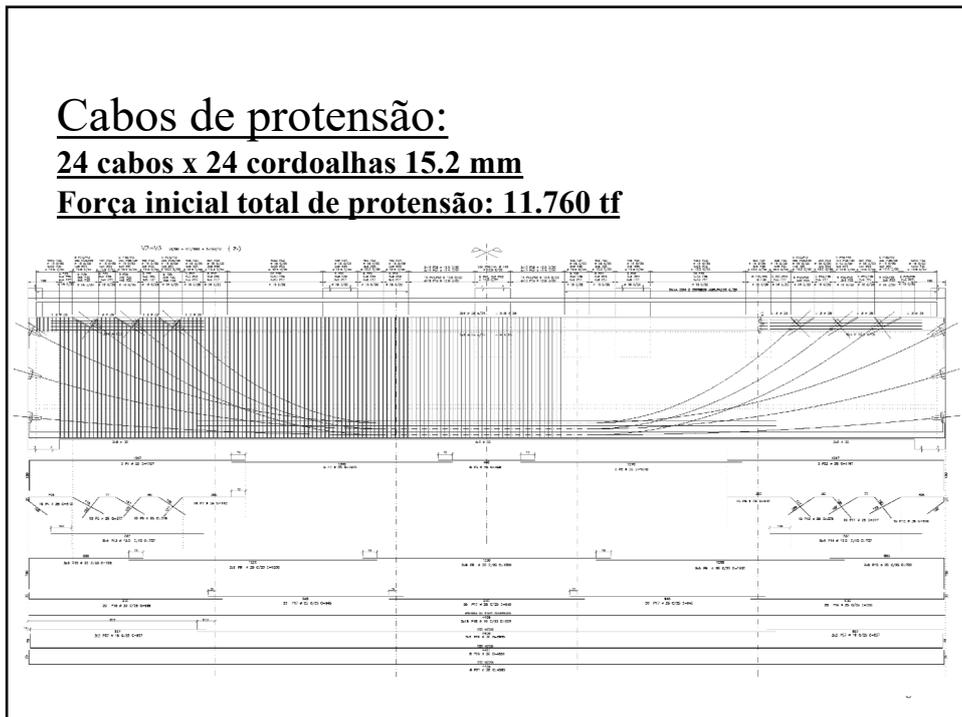


4



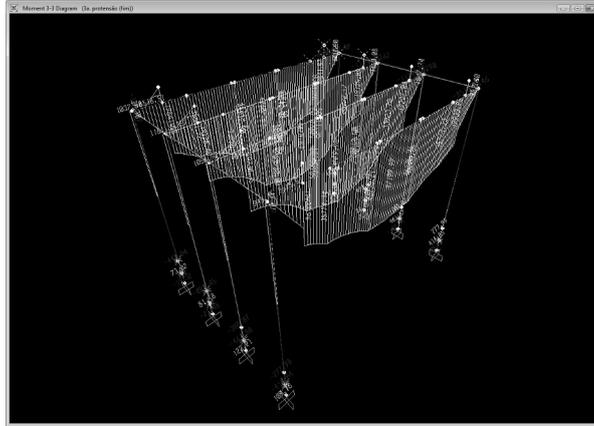
5

Cabos de protensão:
24 cabos x 24 cordoalhas 15.2 mm
Força inicial total de protensão: 11.760 tf



6

Momento máximo: $M_d = 60 \text{ tf.km} !!$



7

7

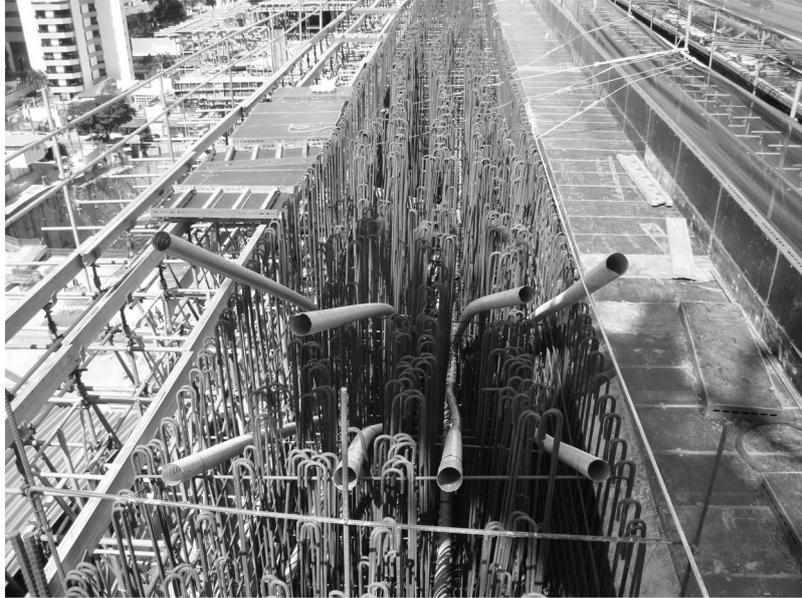
Radiografia da obra

- ✓ **dimensões da viga: 44,40m x 2,5m x 6,0m**
- ✓ **geometria "Viga T", mesa 5,5m x 0,75m**
- ✓ **volume de concreto: 770m³**
- ✓ **concreto: f_{ck} 50MPa (autoadensável)**
- ✓ **concretagem numa única etapa**
- ✓ **uso de gelo: 100% (somente umidade dos agregados)**

8

8

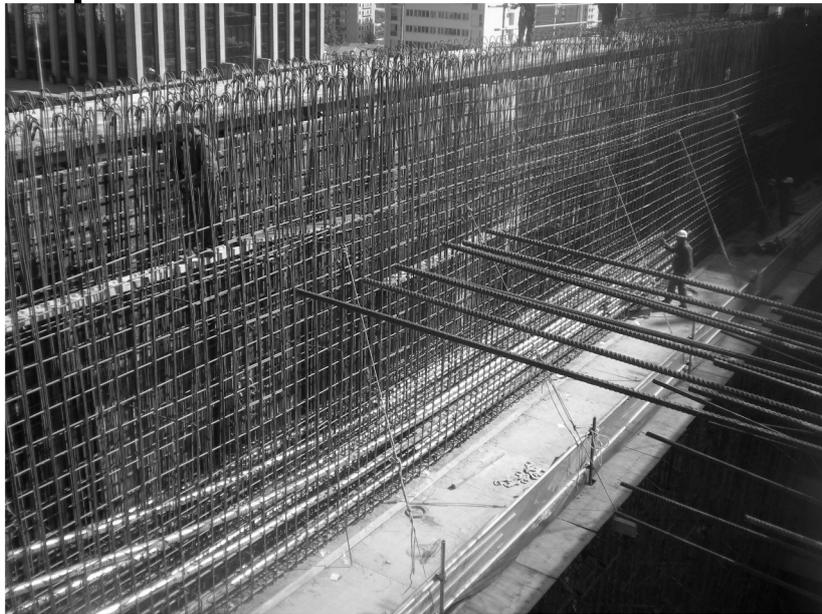
Por que concreto autoadensável?



9

9

Por que concreto autoadensável?



10

10

Por que concreto autoadensável?



CEB-FIP
Bulletin 38, 2007

11

11

Por que concreto autoadensável?



07

12

12

Por que concreto autoadensável?

Construtibilidade!

*CEB-FIP
fib Bulletin 38, 2007*

13

13

Concreto autoadensável: definição

*“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

14

14

Concreto autoadensável: critérios

- ✓ 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*)

15

15

Concreto autoadensável

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

CEB-FIP
fib Bulletin 38, 2007

16

16

O concreto autoadensável

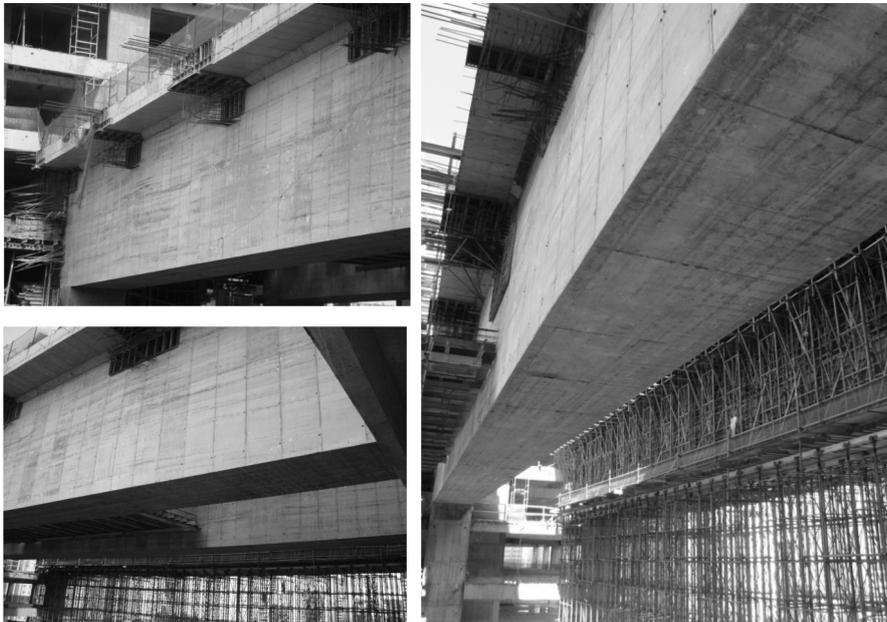


2007

17

17

O concreto autoadensável



18

Radiografia da obra

- ✓ dimensões da viga: 44,40m x 2,5m x 6,0m
- ✓ geometria “Viga T”, mesa 5,5m x 0,75m
- ✓ volume de concreto: 770m³
- ✓ concreto: f_{ck} 50MPa (autoadensável)
- ✓ concretagem numa única etapa
- ✓ uso de gelo: 100% (somente umidade dos agregados)

19

19

Concreto massa: definição

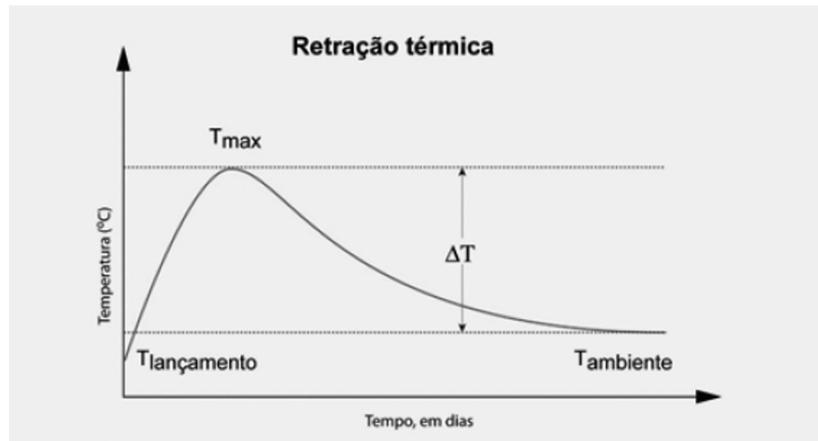
“Concreto-massa é qualquer volume de concreto moldado in situ com dimensões de magnitude suficiente para exigir que sejam tomadas medidas para controlar a geração de calor e a variação de volume decorrente, a fim de minimizar a sua fissuração”

IBRACON, 2005

20

20

Conceituação básica



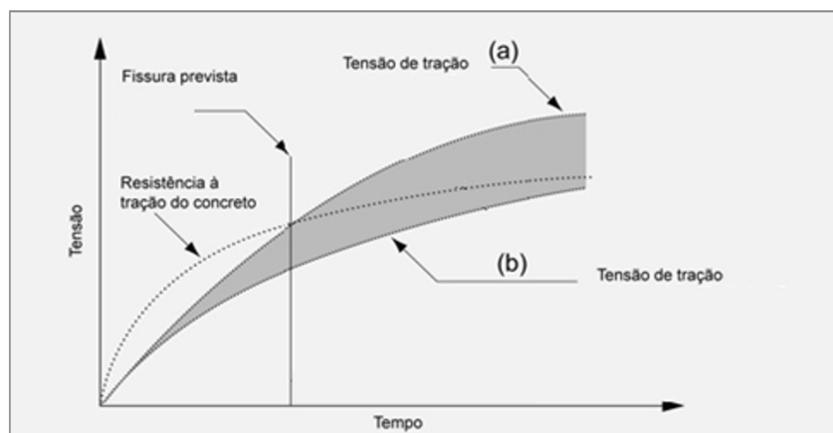
Mehta & Monteiro, 2008

equilíbrio de temperaturas

21

21

Conceituação básica



Mehta & Monteiro, 2008

equilíbrio de tensões

22

22

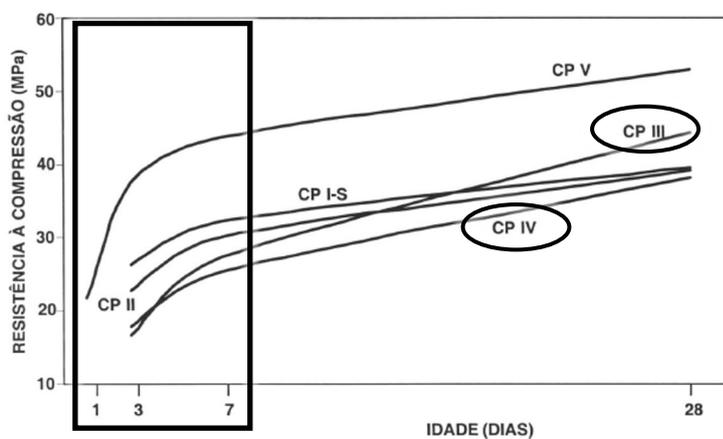
Como reduzir o “ $\Delta T_{\text{máx}}$ ”

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

23

23

Geração de calor



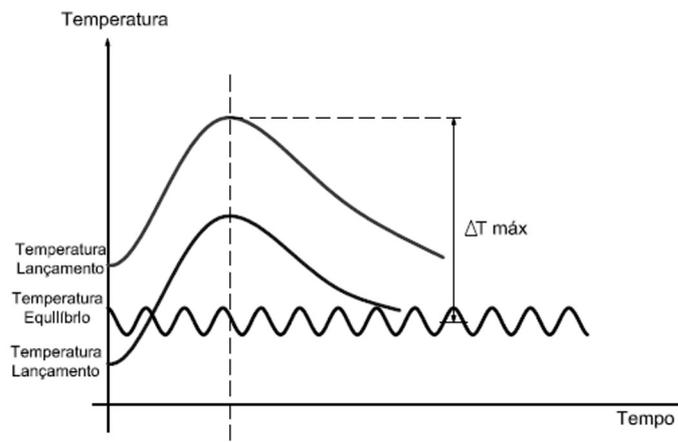
cimento: consumo e tipo

ABCP, 2003 (BT 106)

24

24

Temperatura de lançamento



25

25

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

26

26

Temperatura de lançamento

Material	Consumo kg/m ³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m ³ .°C)	T (°C)	Q (kcal/m ³)
Cimento.CPII E-40	365	0,240	87,60	55	4818
Microsilica	29,6	0,200	5,92	40	236,8
Areia Artif.	525,3	0,200	105,06	22	2311,32
Areia Nat.	525,3	0,200	105,06	22	2311,32
Brita 0	336,5	0,200	67,30	22	1480,6
Brita 1	504,7	0,200	100,94	22	2220,68
Água	119,8	1,000	119,84	25	2996,1
Umidade Miúdo Art.	13,1	1,000	13,13	25	328,3
Umidade Miúdo Nat.	42,0	1,000	42,02	25	1050,6
Umidade Graúdo	0	1,000	0	25	0
Betoneira					2000
Total			646,88		19753,72
Transporte (Ganho)		10,0°C			
T Lançamento=		40,5°C			

sem gelo

27

27

Temperatura de lançamento

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.CPII E-40	365	0,240	87,60	55	0	55	4818
Microsilica	29,6	0,200	5,92	40	0	40	236,8
Areia Artif.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Areia Nat.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Brita 0	336,5	0,200	67,3	22	0	22	1480,6
Brita 1	504,7	0,200	100,94	22	0	22	2220,68
Água	0	1,000	0	25	0	25	0
Umidade Miúdo Art.	13,1	1,000	13,13	25	0	25	328,31
Umidade Miúdo Nat.	42,0	1,000	42,02	25	0	25	1050,6
Umidade Graúdo	0	1,000	0	25	0	25	0
Gelo	119,8	0,500	59,92	0	0	0	0
Fusão Gelo	119,8	1,000	119,84	0	0	0	-9587,48
Gelo + Água	119,8	1,000	119,84	0	18	-18	-2157,18
Betoneira							2000
Total			826,65				5012,97
Transporte (Ganho)		10,0°C					
T Lançamento=		16,1°C					

com gelo: redução de 40%

28

28

Temperatura de lançamento



é possível ...

29

29

Temperatura máxima (pico)

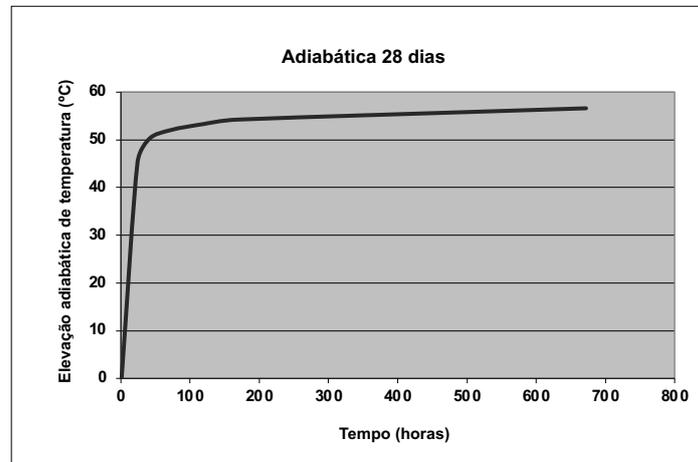
- ✓ depende do consumo de cimento
- ✓ depende do tipo de cimento (calor de hidratação)
- ✓ depende do calor específico do concreto
- ✓ depende da elevação adiabática

dado de entrada mutável

30

30

Elevação adiabática



tipos de cimento ...

31

31

Temperatura média anual

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

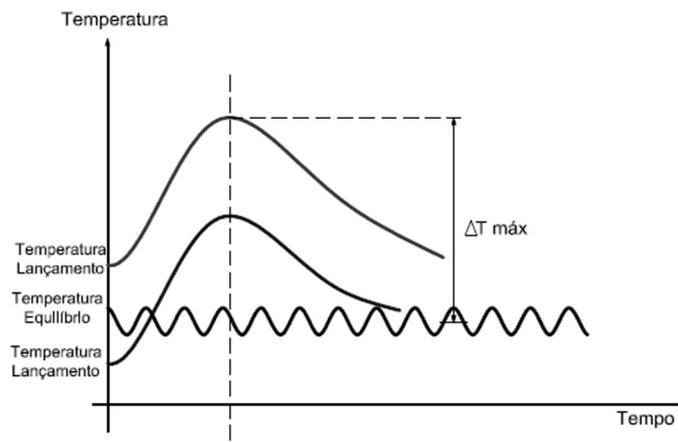


dato de entrada imutável*

32

32

Temperatura de lançamento



33

33

As quatro chaves fundamentais

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



controle tecnológico

34

34

Estudo de dosagem

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

35

35

Estudo de dosagem



teor de argamassa ideal

36

36

Estudo de dosagem

**verificação do teor
de ar incorporado**



**verificação da
massa específica**

37

37

Estudo de dosagem



38

38

As quatro chaves fundamentais

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



controle tecnológico

39

39

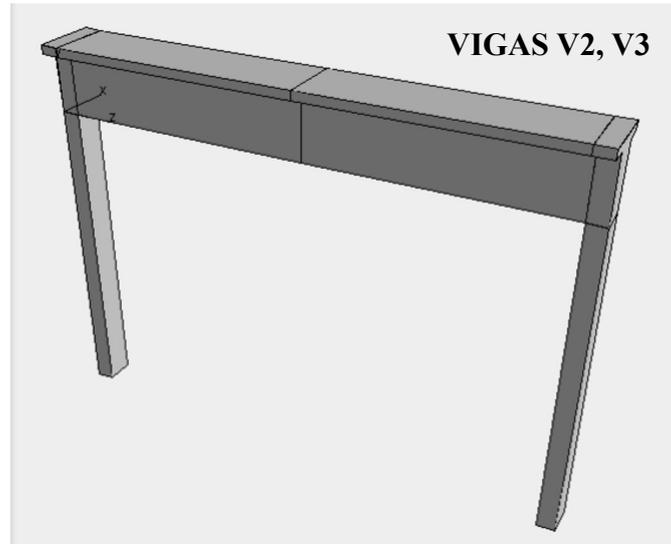
Estudo térmico

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

40

40

Estudo térmico

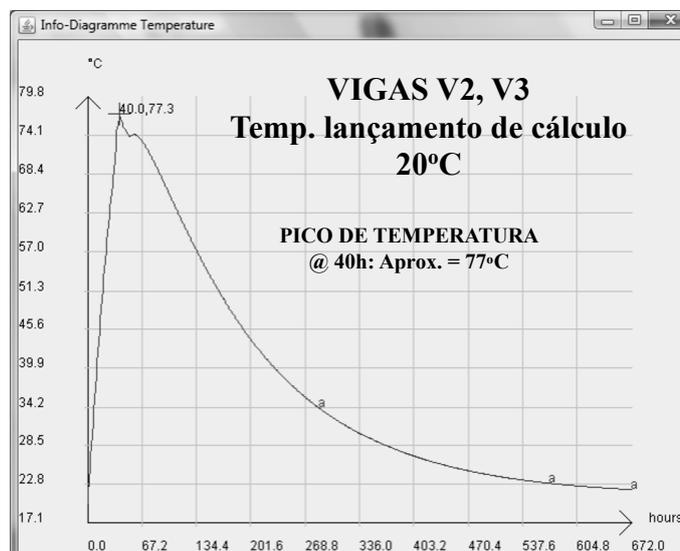


Modelo - Concretagem numa única etapa

41

41

Estudo térmico



CONDIÇÕES DE CONTORNO

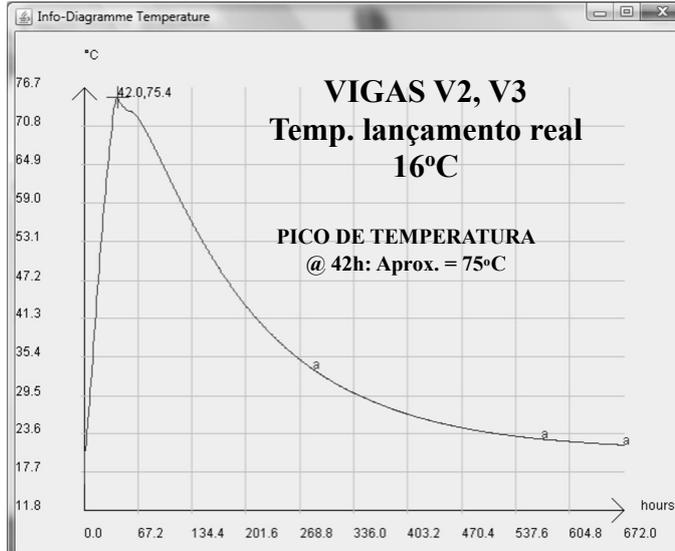
$t_{amb} = 20,5\text{ °C}$
 $t_{lanç} = 20\text{ °C}$
Vento = 5m/s
Cura úmida = 7d
Forma madeira e=15mm

Diagrama temperaturas

42

42

Estudo térmico



CONDIÇÕES DE CONTORNO

$t_{amb} = 20,5\text{ °C}$
 $t_{lanç} = 16\text{ °C}$
Vento = 5m/s
Cura úmida = 7d
Forma madeira e=15mm

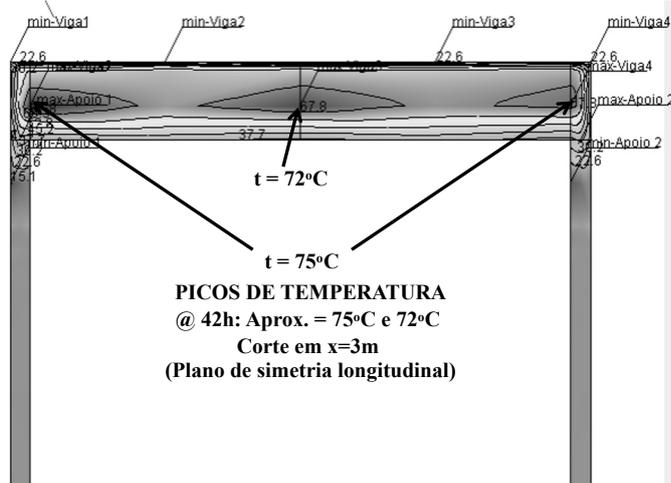
Diagrama temperaturas

43

43

Estudo térmico

VIGAS V2, V3
Temp. lançamento real
16°C



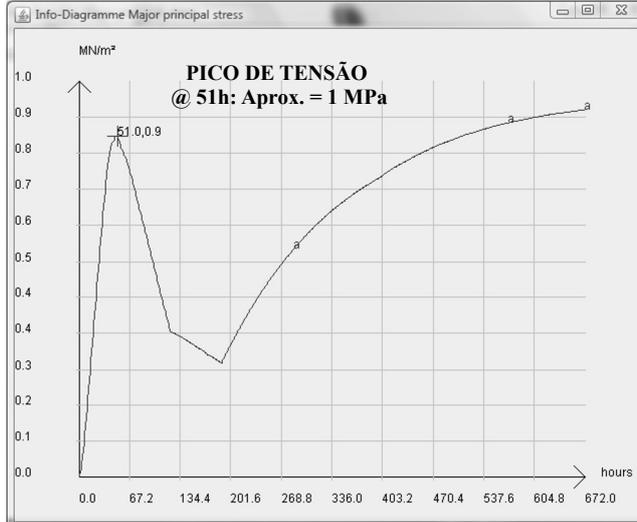
ISOTEMPERATURAS

44

44

Estudo térmico

VIGAS V2, V3
Temp. lançamento real: 16°C



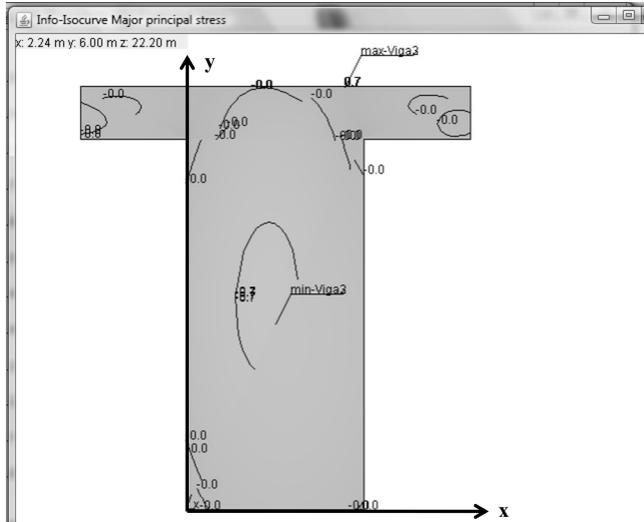
Tensões de tração

45

45

Estudo térmico

VIGAS V2, V3
Temp. lançamento real: 16°C

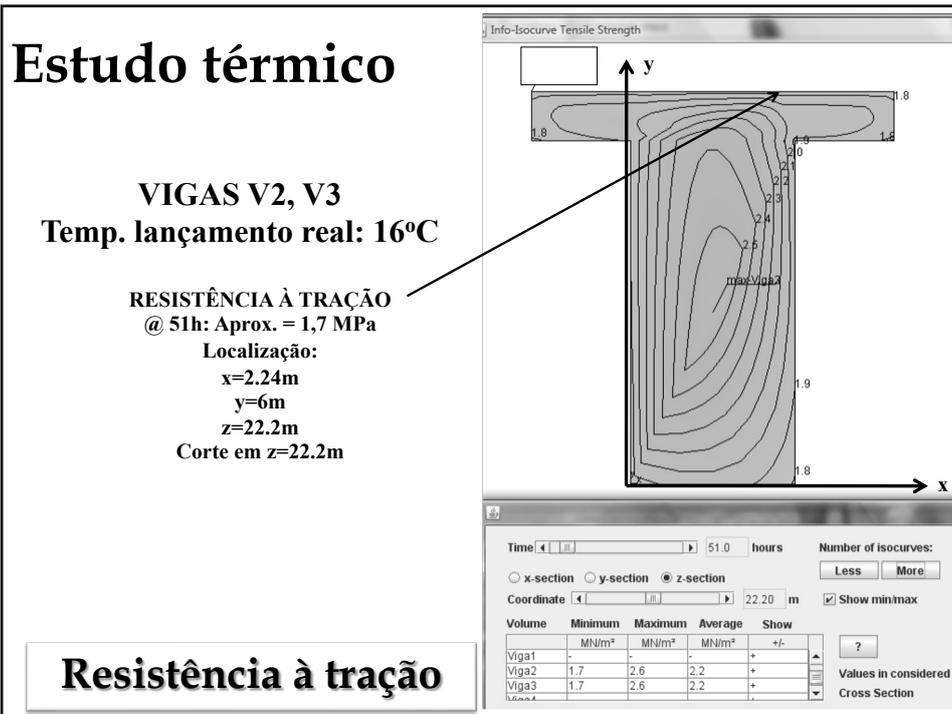


PICO DE TENSÃO
@ 51h: Aprox = 1 MPa
Localização:
x=2.24m
y=6m
z=22.2m
Corte em z=22.2m

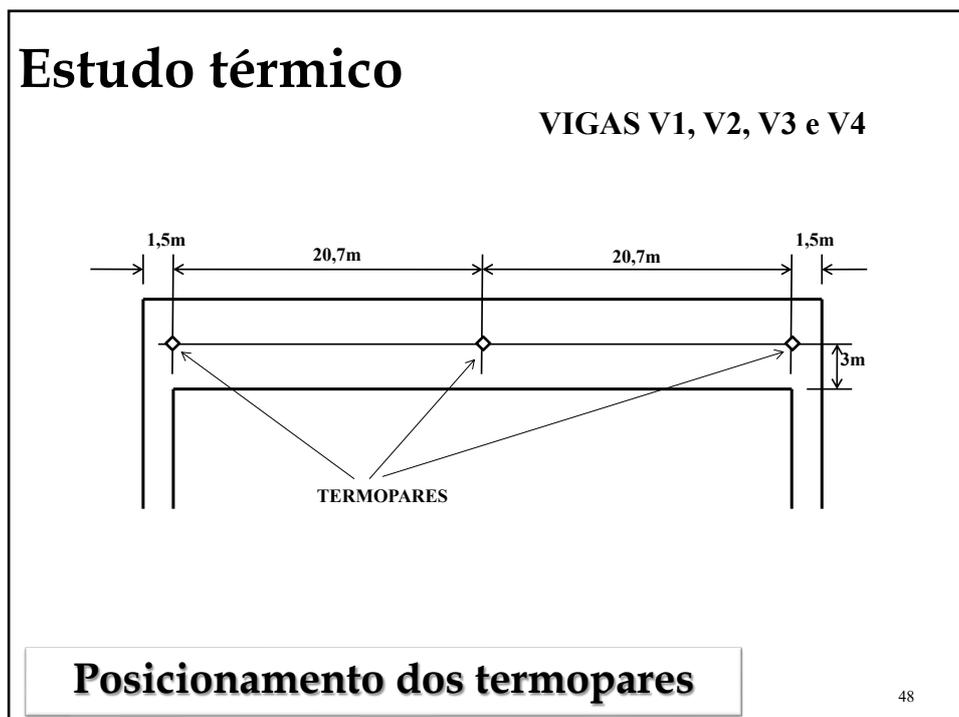
Tensões de tração - isocurvas

46

46

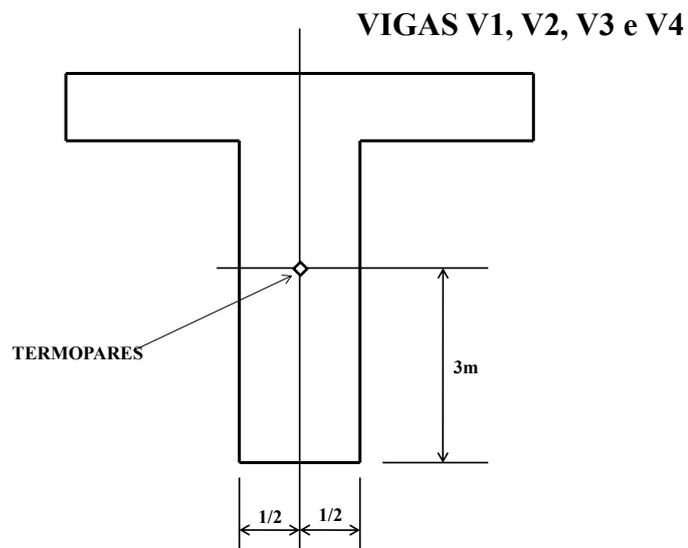


47



48

Estudo térmico



Posicionamento dos termopares

49

49

As quatro chaves fundamentais

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



controle tecnológico

50

50

Procedimento executivo (documento)

Produção de concreto e controle da produção na central :

- Medir temperatura agregados e cimento**
- Molhar agregado graúdo (refrigeração)**
- Substituição de toda a água de amassado por gelo**
- Pesagem dos sacos de gelo para determinar peso médio**
- Medir umidade da areia**
- Carregar apenas 6m³ 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 módulo)**
- Medir temperatura do concreto da viga com termopares**

Recomendações para concretagem :

- Posicionamento bombas**
- Precaução contra chuva**
- Cálculo das formas**
- Cura**

51

51

As quatro chaves fundamentais

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



controle tecnológico

52

52

Acompanhamento técnico

temperatura areia natural na usina



temperatura areia artificial na usina

53

53

Acompanhamento técnico

temperatura brita 0 na usina



temperatura brita 1 na usina

54

54

Acompanhamento técnico

**superfície do
caminhão**



**gelo no caminhão
frigorífico**

55

55

Acompanhamento técnico

**temperatura do
concreto na obra**



**temperatura do
concreto dentro do
caminhão betoneira**

56

56

Acompanhamento técnico



aspecto do concreto com 13°C

57

57

Lançamento

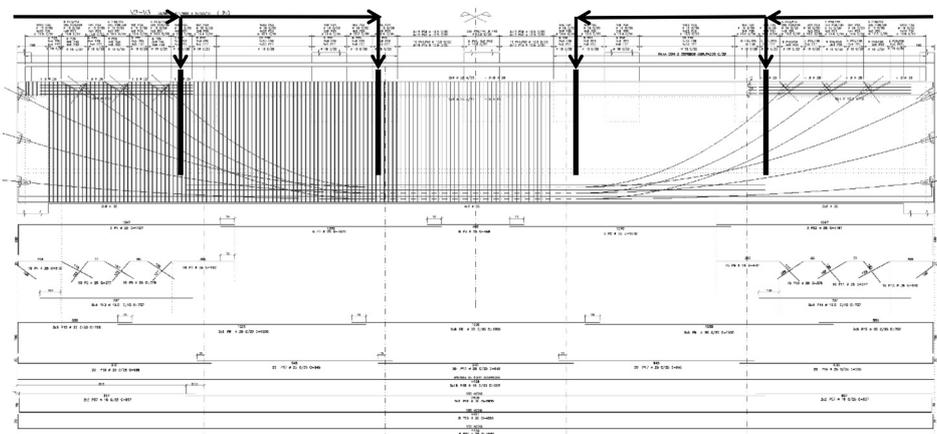
4 pontos de lançamento igualmente espaçados

Tubos de PVC levantados aos poucos, h lançamento < 2,7m

Ritmo lançamento compatível com a resistência da fôrma

Bomba A

Bomba B



58

58

Acompanhamento técnico



Bomba A

Bomba B

lançamento

59

59

Acompanhamento técnico

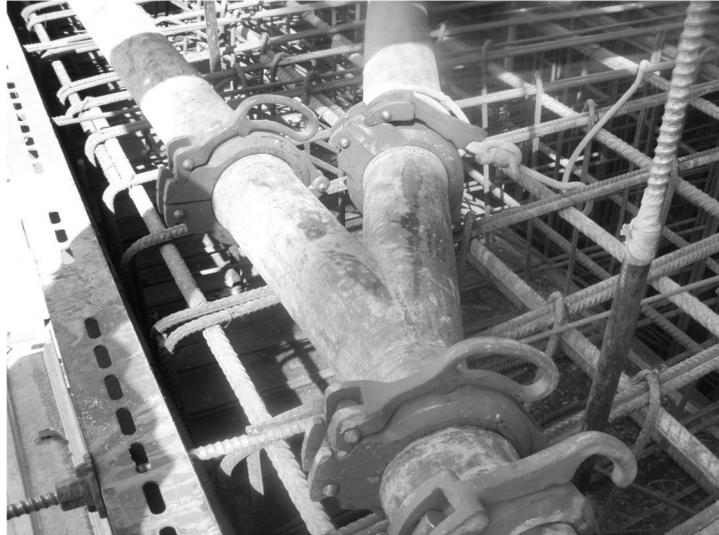


lançamento

60

60

Acompanhamento técnico



lançamento

61

61

Acompanhamento técnico



lançamento

62

62

Acompanhamento técnico



lançamento

63

63

Acompanhamento técnico



proteção contra a chuva

64

64

Acompanhamento técnico



proteção contra a chuva

65

65

Acompanhamento técnico



cura úmida por 7 dias

66

66

Controle tecnológico

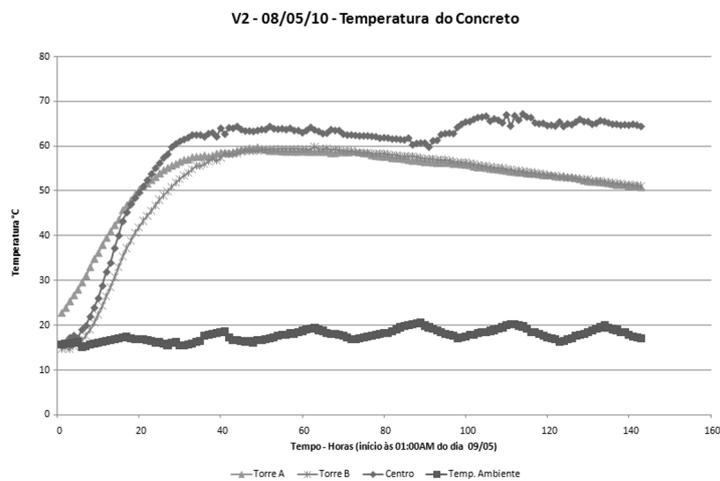


monitoração de temperatura

67

67

Controle tecnológico

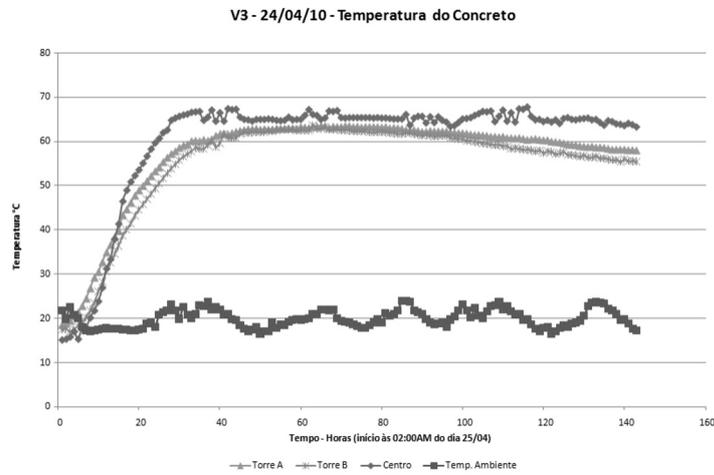


monitoração de temperatura

68

68

Controle tecnológico

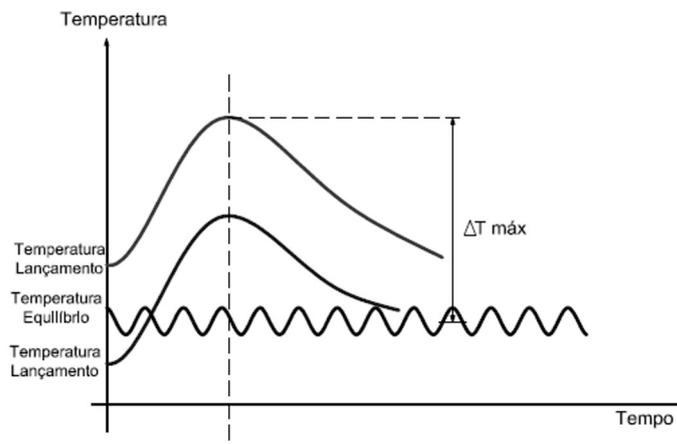


monitoração de temperatura

69

69

Modelo teórico

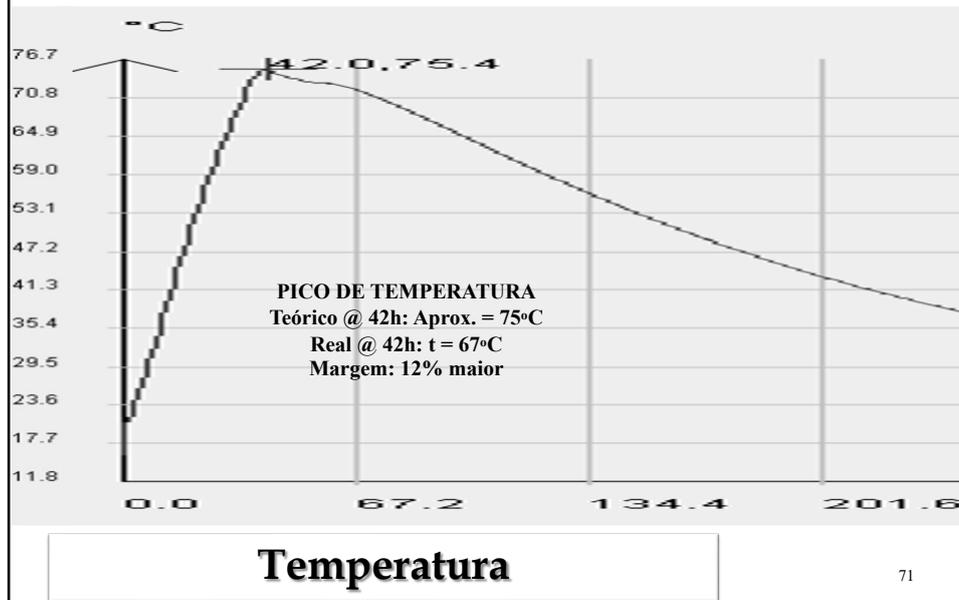


Temperatura

70

70

Modelo teórico



71

Detalhes da execução



Formas: carga máxima 60kn/m²

72

72

Detalhes da execução



Formas: carga máxima 60kn/m²

73

73

Detalhes da execução



Formas: carga máxima 60kn/m²

74

74

Detalhes da execução



Formas: estanqueidade

75

75

Detalhes da execução



Acabamento do concreto

76

76

Detalhes da execução

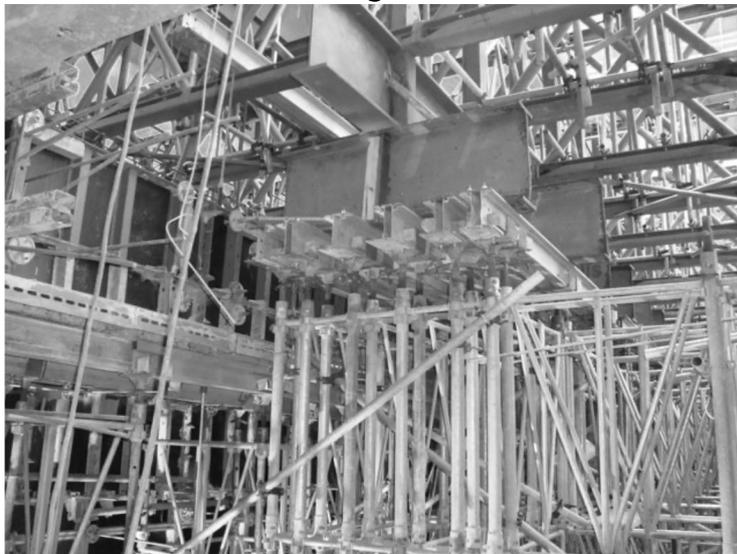


Escoramento em balanço

77

77

Detalhes da execução



Escoramento em balanço

78

78

Detalhes da execução



Escoramento em balanço

79

79

Detalhes da execução



Escoramento em balanço

80

80

Detalhes da execução



Escoramento "normal"

81

81

Controle tecnológico

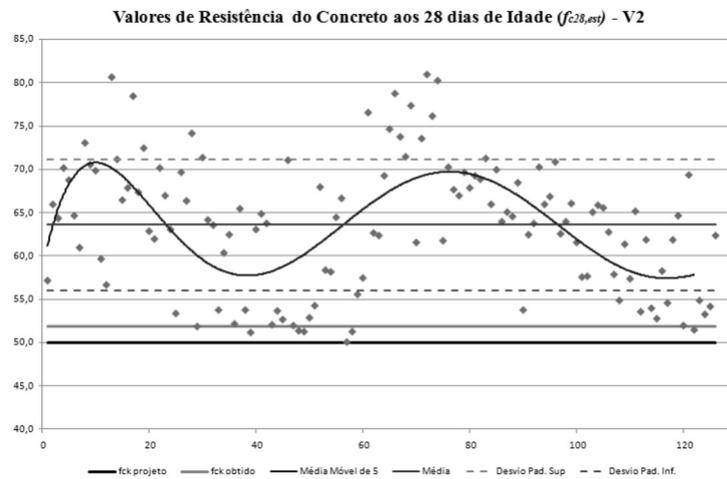


moldagem de corpos de prova

82

82

Controle tecnológico

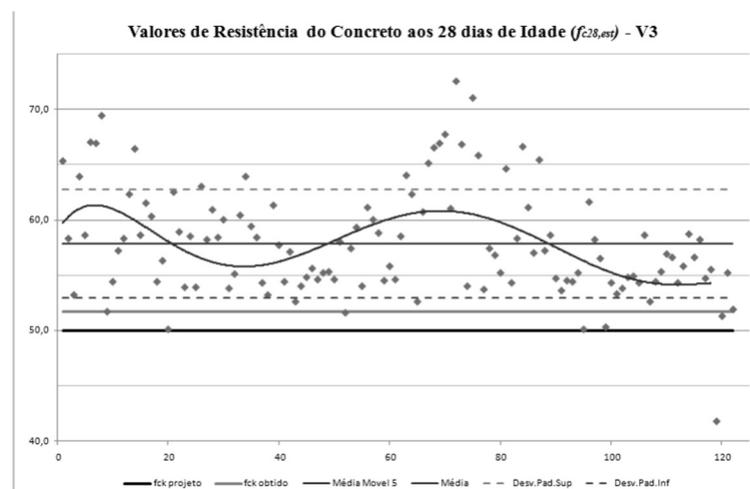


Resistência à compressão

83

83

Controle tecnológico

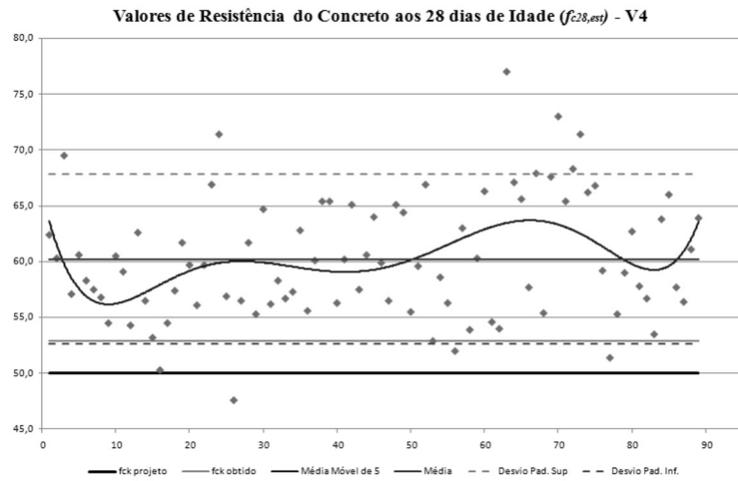


Resistência à compressão

84

84

Controle tecnológico



Resistência à compressão

85

85



86