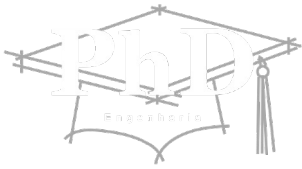




1er Congreso Regional de Patología y Recuperación de Estructura **20 y 21 de Septiembre**

Aprendiendo con los Errores y Accidentes en Estructuras de Concreto



Paulo Helene
*Conselheiro IBRACON
Diretor PhD Engenharia
Membro Red PREVENIR CYTED
fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life
M.Sc. PhD Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
Presidente Asociación Latino Americana de Control de Calidad y Patología
ALCONPAT Internacional*

CONPAR2012 **20 de septiembre de 2012** **Manágua / Nicaragua**

1

Errores, Fallas, Omisiones, Colapsos, Accidentes, Frustraciones, Retrasos, Constreñimientos, Decepciones, Vergüenza...

PhD Engenharia

2

“Duro” Aprendizaje!

PhD Engenharia

3

“Duro” Aprendizaje!

vitórias/soluções/desafios

PhD Engenharia

4

Robert Stephenson discurso de posse presidência Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha. 1856:

“...tenho esperança de que todos os acidentes e problemas que tem ocorrido nos últimos anos sejam registrados e divulgados.

Nada é tão instrutivo para jovens e experientes engenheiros como o estudo dos acidentes e da sua correção.

O diagnóstico desses acidentes, o entendimento dos mecanismos de ocorrência, é mais valioso que a descrição dos trabalhos bem sucedidos.

Com esse objetivo nobre é que proponho a catalogação , discussão e divulgação desses problemas através desta reconhecida Instituição...”

PhD Engenharia

5

Comparezco acá:

**✓ com experiência de um
CONSTRUTOR**

**✓ conhecimento de quem atende
casos de colegas**

**✓ com a humildade de quem já
errou...**

PhD Engenharia

6

Edifício Liberdade

Rio de Janeiro/RJ.

Acidente: 25/01/2012,
quarta-feira às 20:30h.

Construção: 1938 → 1940

Idade: 72 anos

18 andares + loja + sobreloja

PhD Engenharia

7

Projeto original: escalonado



Ed. Liberdade ao fundo do Teatro Municipal – Rio de Janeiro/RJ

Ano de 1940

8



9

Reação em cadeia

A queda dos 3 prédios no Centro do Rio

Edifício Liberdade*	Edifício 13 de maio, nº 40	Edifício Colombo
Andares: 20	Andares: 4	Andares: 10
Padrão: Comercial*	Padrão: Comercial	Padrão: Comercial
Construção: 1940	Construção: 1938	Construção: 1938
Estrutura: 18 pavimentos de salas comerciais + loja e sobreloja	Estrutura: 4 pavimentos de salas comerciais + loja e sobreloja	Estrutura: 10 pavimentos de salas comerciais + loja e sobreloja
Empresas: Várias, como no ramo turismo, de traduções e de RH	Empresas: Tinha uma loja de produtos naturais	Empresas: Agência bancária do Itaú no subsolo
Endereço: Avenida 13 de Maio, 44 <small>*Zelador morava no térreo</small>	Endereço: Avenida 13 de Maio, 40	Endereço: Avenida 13 de Maio, 38

O acidente

- **Horário**
Por volta das 20h30 de 25 de janeiro
- **Feridos**
Seis pessoas ficaram feridas
- **Resgate**
Na manhã do dia 26 foram encontrados os primeiros corpos

Theatro Municipal

Av. Treze de Maio

Av. Almirante Barroso

Fonte: Globo G1PhD Engenharia

10



11



15



PhD Engenharia

16

Hipóteses

1) Alteração de uso:
Carga atuante em edifícios
residenciais: 150kg/m^2
(promedio mundial em 1938)

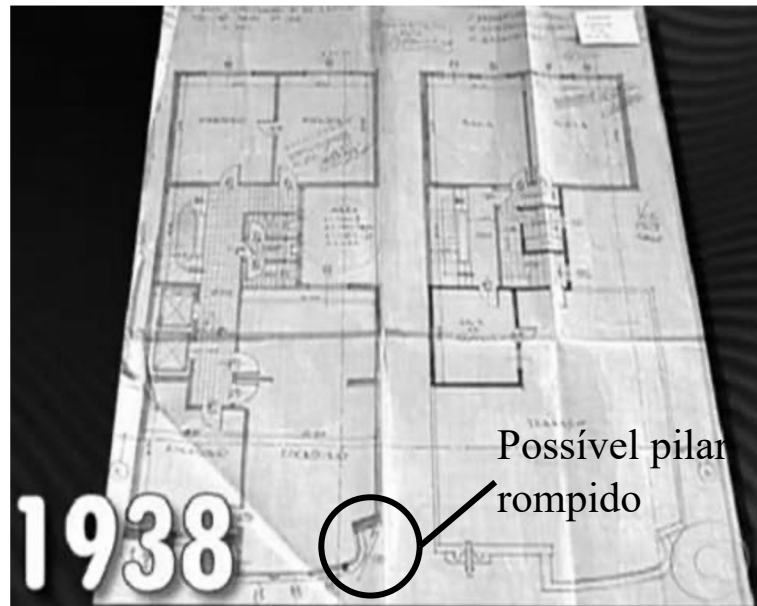
Carga atuante em edifícios de
oficinas: 350kg/m^2 (promedio
mundial em 2010)

Demolição de paredes portantes

PhD Engenharia

17

Colapso: ruptura de pilar frontal do prédio



PhD Engenharia

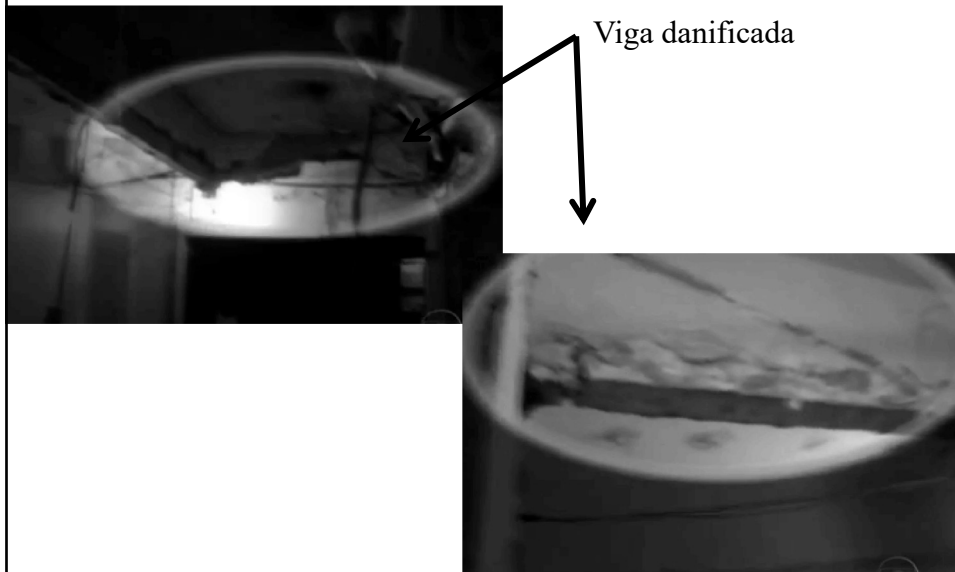
19

2) Alteração do projeto original: sobrecarga nos pilares frontais



20

3) Reforma no 3° e 9° andar: danificação de elementos estruturais



22

3) Reforma no 3° e 9° andar: sobrecarga nas lajes



23

Avisos da Estrutura

- 1) A filha do zelador disse que não gostava de dormir ali pois o prédio estalava muito à noite;
- 2) Comerciante local viu reboco da fachada deslocar: "...o revestimento da fachada caía frequentemente... pedaços na calçada...";
- 3) Pedreiro que trabalhava na obra do 9º andar constatou que caía argamassa através do poço de elevador.

PhD Engenharia

24

ÚLTIMAS NOTÍCIAS 08:51 - 11h38: obra em queda e vale R\$ 1,83 a semana

MAIS EM RIO Guardas municipais vão virar zeladores do Rio CGU vai investigar ex-assessor do Ministério da Saúde Após bate-bate de deputadas e se calar

Operários revelaram à polícia que serraram colunas do Edifício Liberdade

Recomendar 272 recomendações. Cadastre-se para ver o que seus amigos recomendam.

Prédio foi um dos três que desabaram no dia 25 de janeiro na Cinelândia, provocando a morte de 17 pessoas e deixando cinco desaparecidas

GUSTAVO SOUZA
@GUSTAVO_SOUZA
RIO DE JANEIRO
ENFERMEIRO
ENFERMEIRO

Reportagem
20/01/12 - 23h42
Atualizado
30/01/12 - 0h04
Like 272
Tweet 38
3
19
22



Avenida Trizes de Melo, no local onde desabaram prédios no dia 25 de janeiro. (DOMINGOS PEREIRA / AGENCIA O GLOBO)

RIO - Depoimentos dados à polícia por operários que trabalharam na reforma do nono andar do Edifício Liberdade, na Cinelândia, mostram que foram derrubados pelo menos um pilar e paredes de concreto armado. O Liberdade foi um dos três prédios que desabaram no dia 25 de janeiro, provocando a morte de 17 pessoas e deixando cinco desaparecidas.

Segundo o depoimento do operário Wanderley Muniz da Silva — a que O GLOBO teve acesso —, "todas as paredes foram derrubadas, à exceção das da sala dos arquivos da T.O. e de parte da parede que dividia as salas do lado esquerdo do banheiro". Wanderley diz que o andar "virou

"De acordo com o inquérito, a derrubada de cinco paredes estruturais de concreto armado, três pilares do nono andar foram responsáveis por colapsar o edifício e outros dois ao lado."

PhD Engenharia

26

Implosão sem dinamite



PhD Engenharia

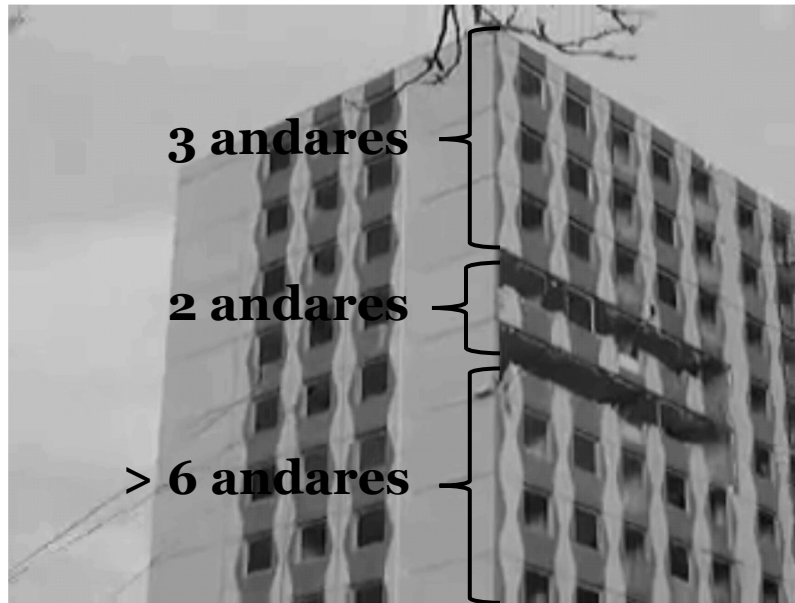
38

Cabo de corte?



39

Estrutura preparada



41

O que acontece quando um avião colide com uma parede de concreto??



45

Edifício Comercial

2009

fisuras em losas

obra nova

PhD Engenharia

46



47



Diagnóstico:
Mal posicionamento de armadura
negativa das lajes adjacentes, sobre as
vigas, devido a pisoteio durante a
concretagem

PhD Engenharia

48



49



50

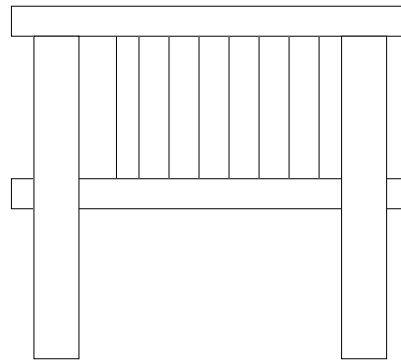


51

laje+vigas com espessura média de
22cm → 550kg/m²

dimensionada para 150kg/m²

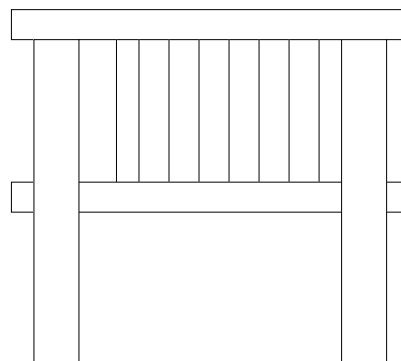
1 ano de idade



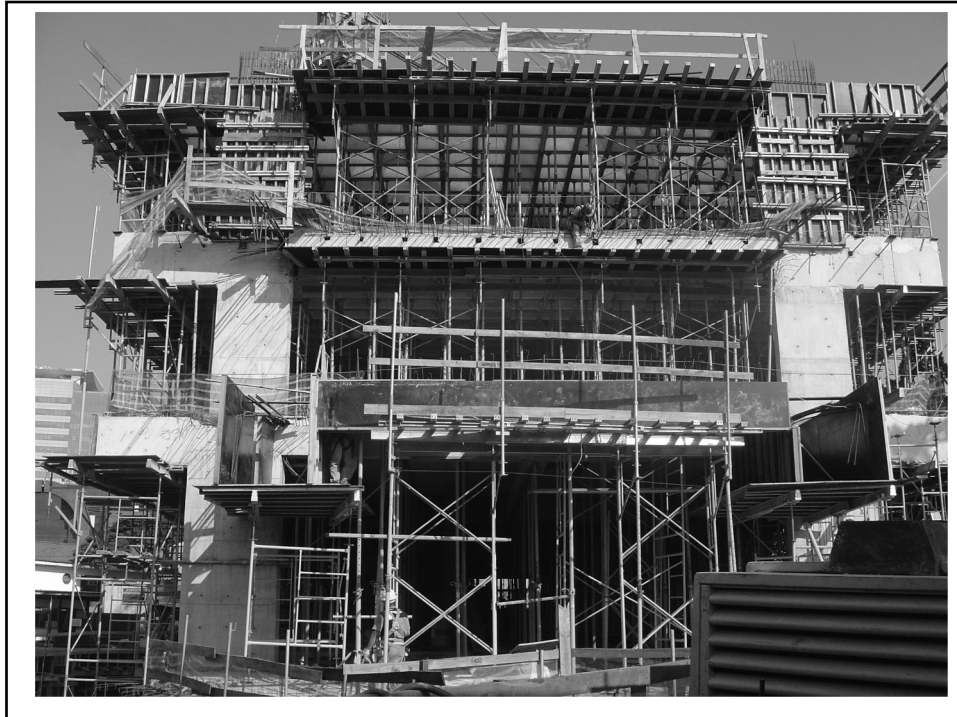
52

tem o módulo; tem o ***fck***
mas não foi dimensionada
para essa carga

1 ano de idade



53



54

***Irresponsabilidade
ou
Incompetência?***

**Caso 1:
bloque de cimentación
350m³
 $f_{ck} = 35\text{MPa}$
39 caminhões OK**

**6 caminhões
com f_{ck} de 8MPa a 12MPa**

PhD Engenharia

55



56



57



58

- **o Motorista não percebeu?**
- **quem realizou o controle de aceitação do concreto deixou passar?**
 - **o bombista não reclamou?**
- **o Mestre de obras não percebeu?**
 - **o Engenheiro viu?**

OMISSÃO
IGNORÂNCIA
FALTA de COMPROMETIMENTO

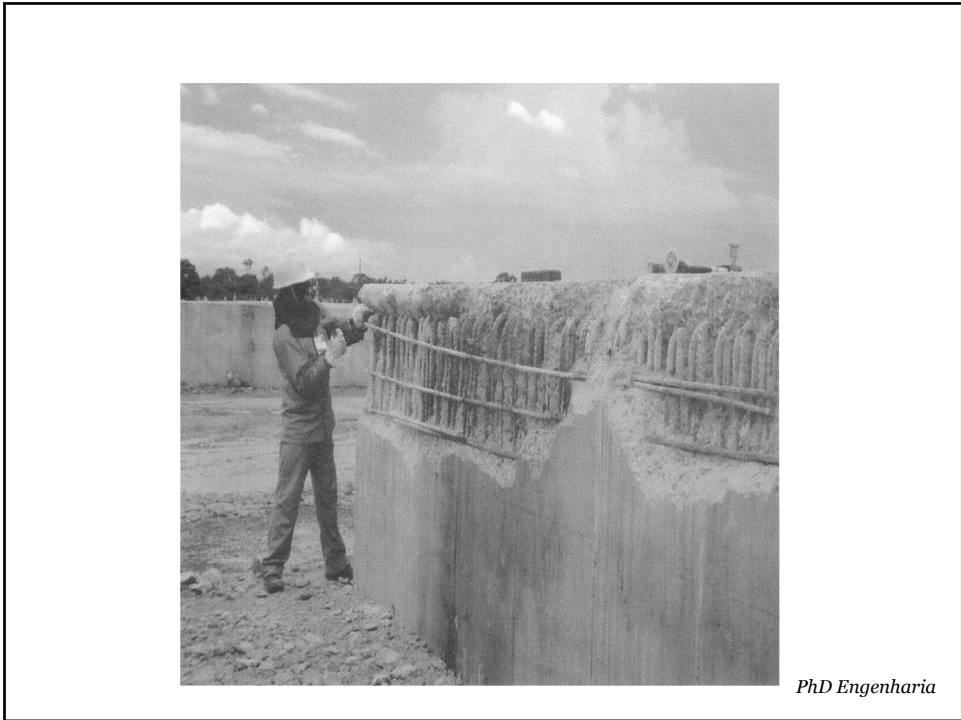
PhD Engenharia

59



PhD Engenharia

61



PhD Engenharia

62



63

***Irresponsabilidade
ou
Incompetência?***

Caso 2:

edifício da Diretoria da Construtora

8^o andar

$f_{ck} = 40\text{MPa}$

1 caminhão com 10MPa

9 pilares!

PhD Engenharia

65



66



67



68



69



70



71



72



73



74

- **o Motorista não percebeu?**
- **quem realizou o controle de aceitação do concreto deixou passar?**
 - **o bombista não reclamou?**
- **o Mestre de obras não percebeu?**
 - **onde estava o Engenheiro?**

**OMISSÃO
IGNORÂNCIA
FALTA de COMPROMETIMENTO**

PhD Engenharia

75



76



77

MARTES 13 de Marzo de 2001 ABC Madrid

En los últimos 26 años han fallecido 33 personas a consecuencia de derrumbes de inmuebles, cornisas, marquesinas y muros en Madrid.

El pasado 7 de marzo, un ingeniero moría al derrumbar-se un edificio de cuatro plantas en la confluencia de Gaztambide con Alberto Aquilera, en pleno centro de la capital y una docena de personas resultaron heridas.

PhD Engenharia

78

El 22 de enero de 1999 murió una joven de 18 años al caer sobre el coche en el que viajaba un trozo de la cornisa del teatro Calderón de Madrid.

El 27 de enero de 1993, murieron 6 personas al desplomarse la marquesina del cine Bilbao, situado en la calle Fuencarral, cuando hacían cola para comprar entradas.

PhD Engenharia

79

seria um caso
de sabotage ???
!!!

PhD Engenharia

80

Dados do Edifício:

36 pavimentos + 5 subsolos

Edifício em uso há 1 ano

Fissurou 18 andares

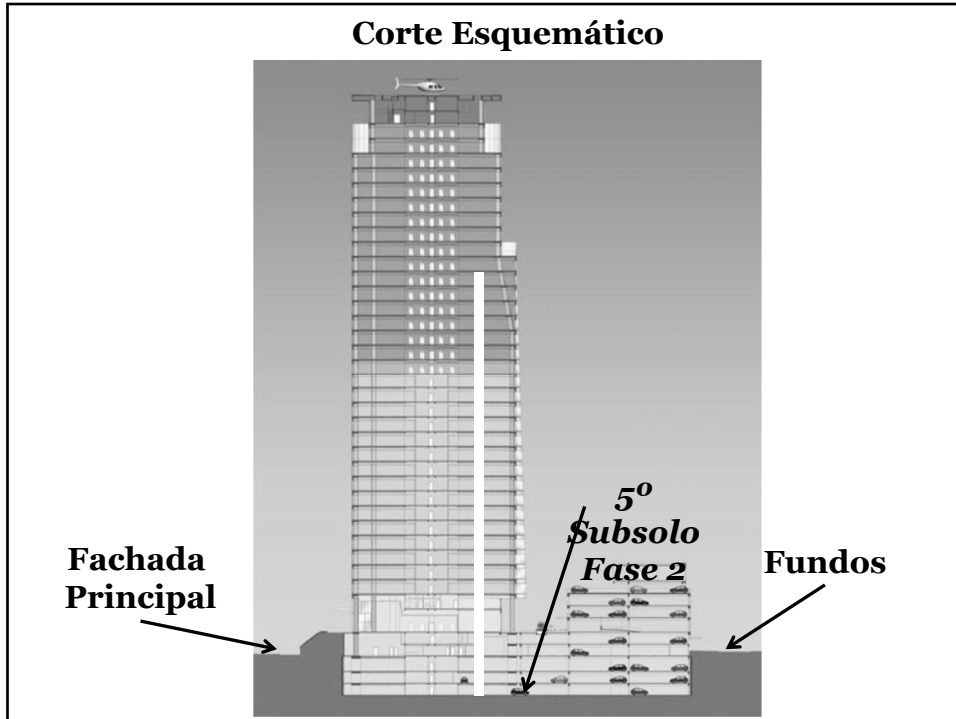
Pilar P1 Esforços de projeto:

Normal: 1.253tf

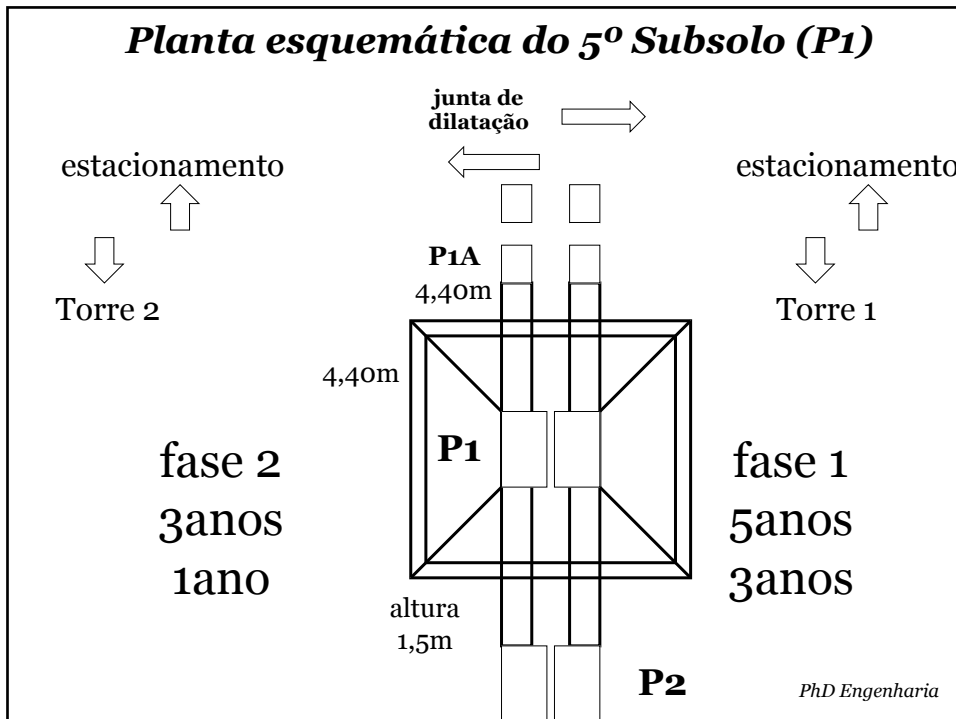
Mx: 55tf.m

My: 8tf.m

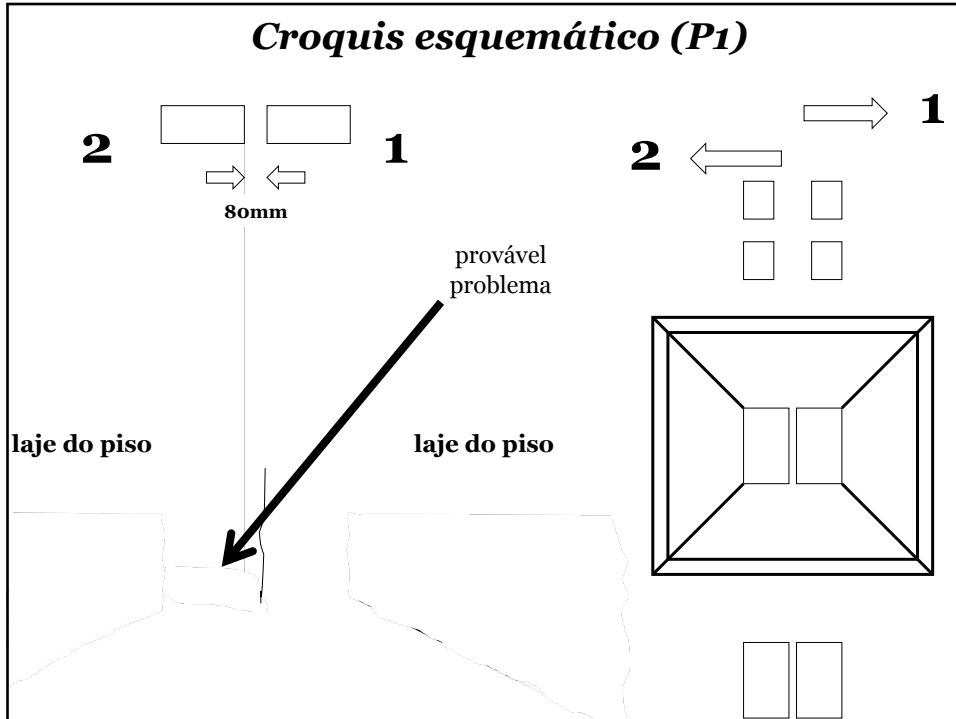
81



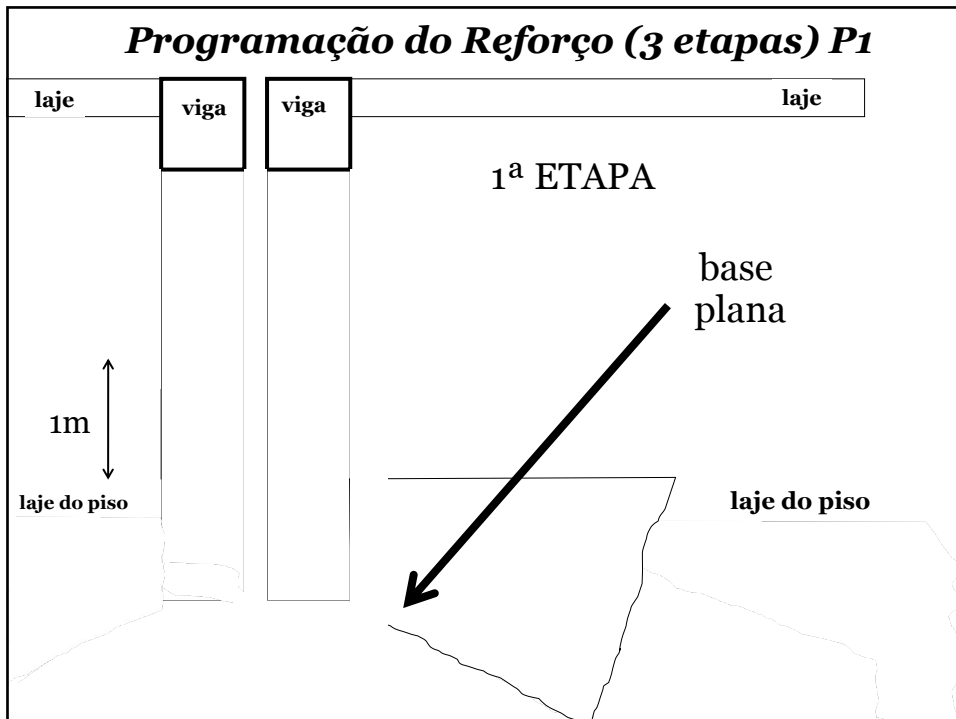
82



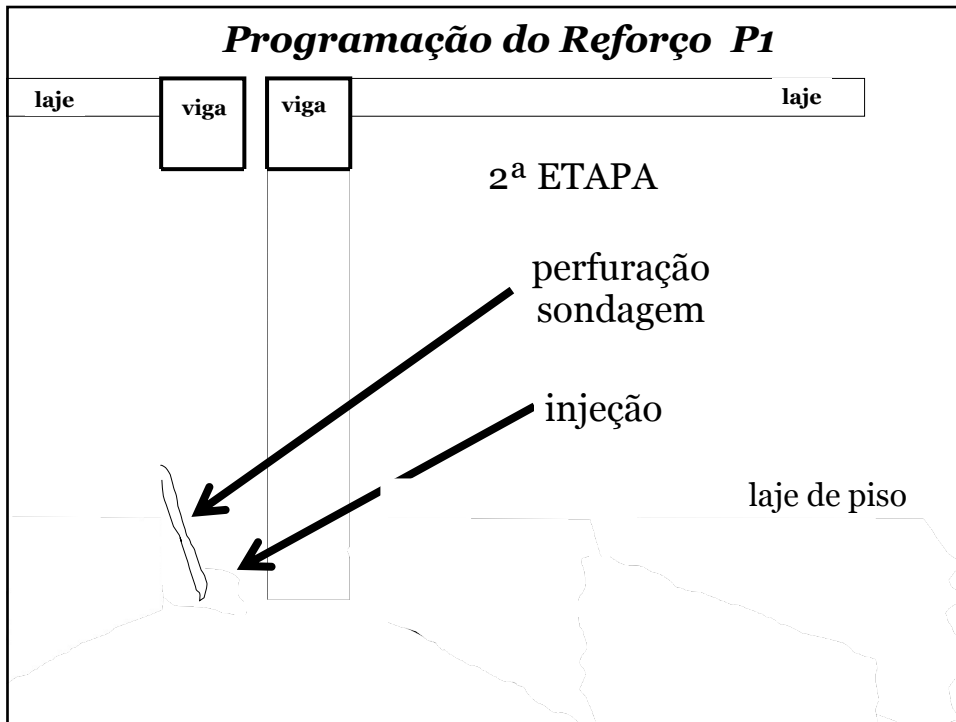
83



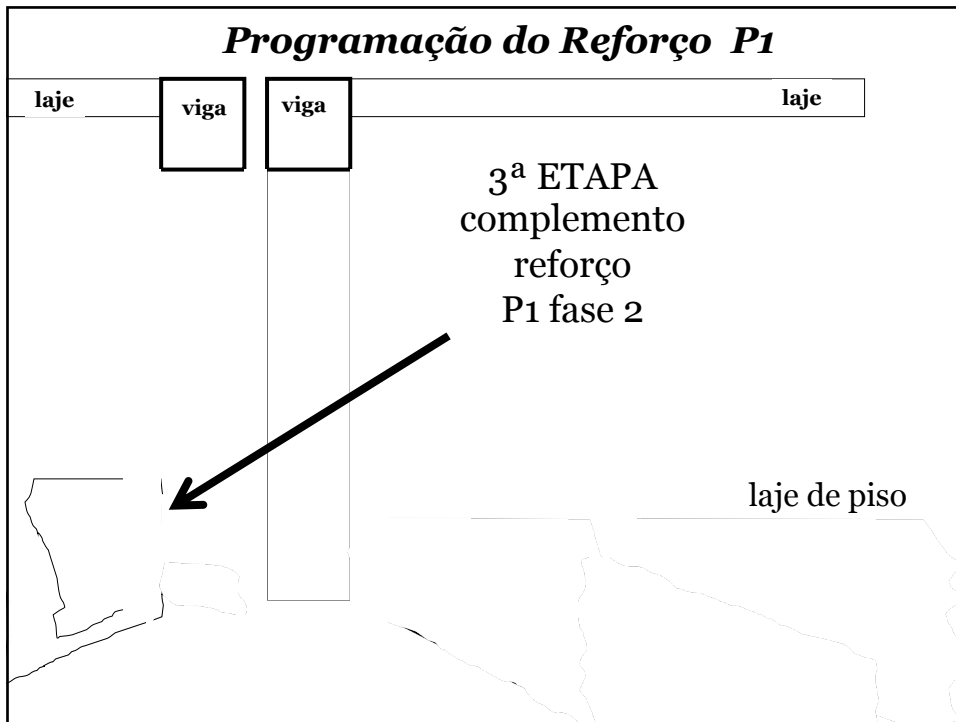
84



85



86



87

Inspeção / Evidências

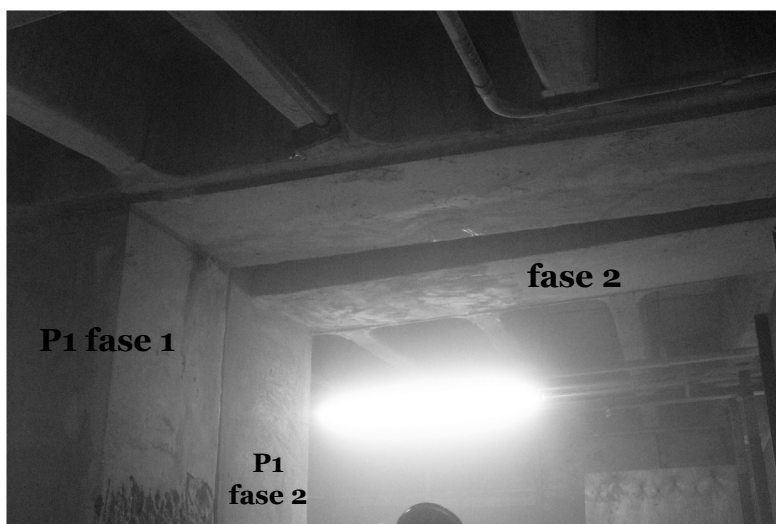


Desnivelamento

PhD Engenharia

88

Inspeção / Evidências



Desnivelamento

PhD Engenharia

89

Inspeção / Evidências



Fissuras em Vigas

PhD Engenharia

90

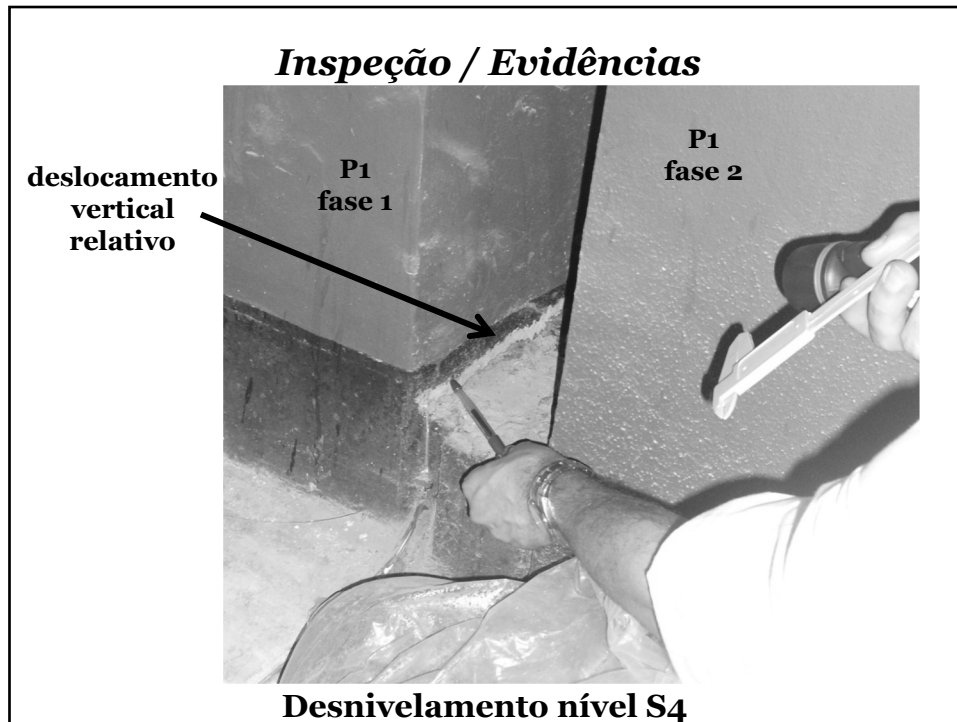
Inspeção / Evidências



Fissuras em Vigas

PhD Engenharia

91



92



93

Inspeção / Evidências



Desnivelamento nível S3

PhD Engenharia

94

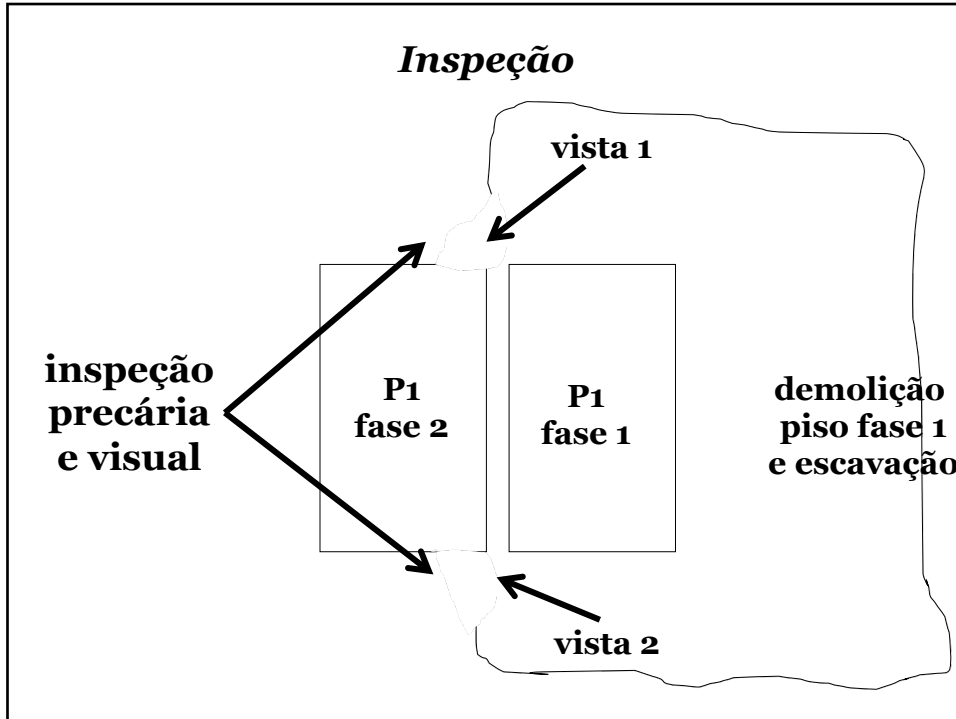
Inspeção / Evidências



Desnivelamento e fissuras em vigas

PhD Engenharia

95



96



97

Inspeção



Escavação Piso fase 1

98

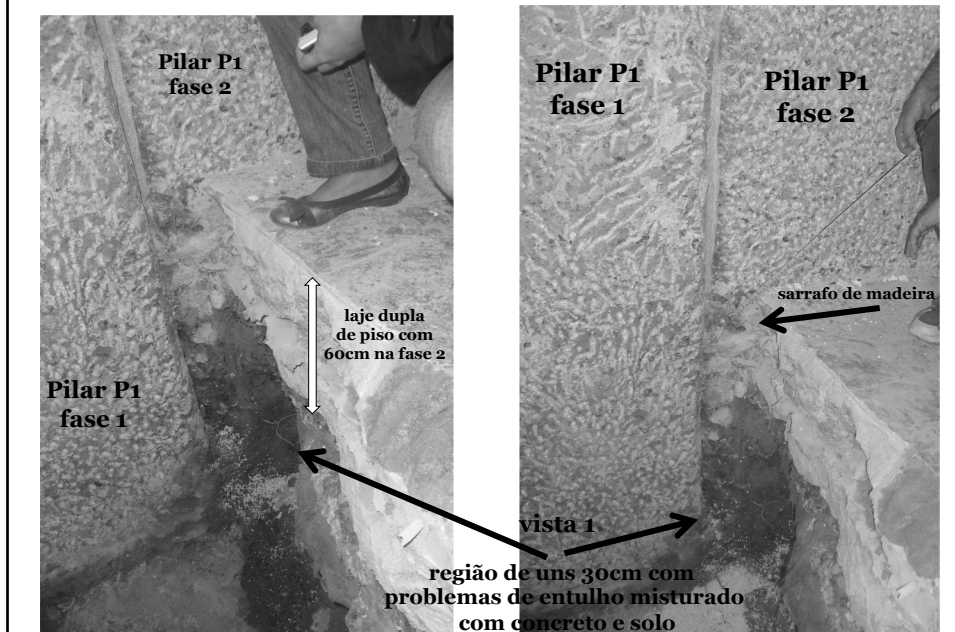
Inspeção



Escavação Piso fase 1

99

Inspeção / Diagnóstico preliminar

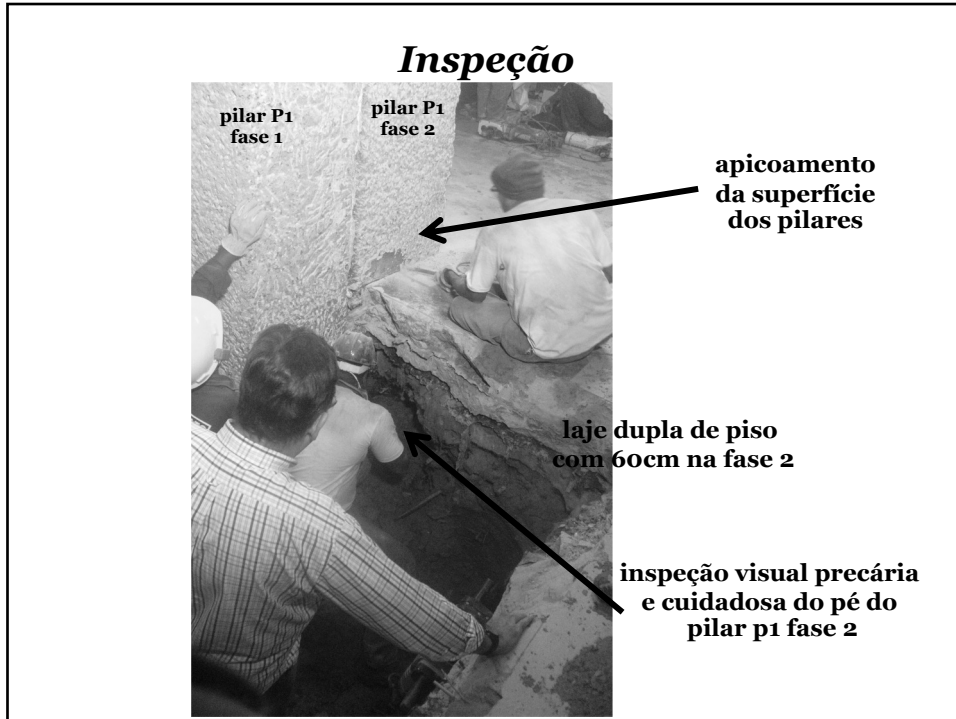


100

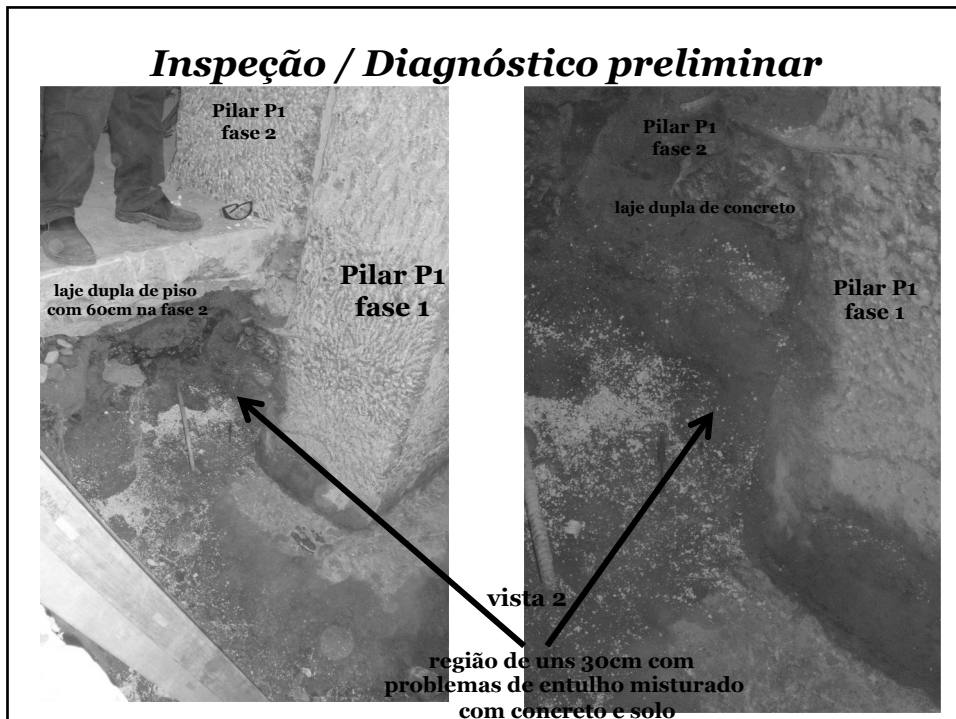
Inspeção



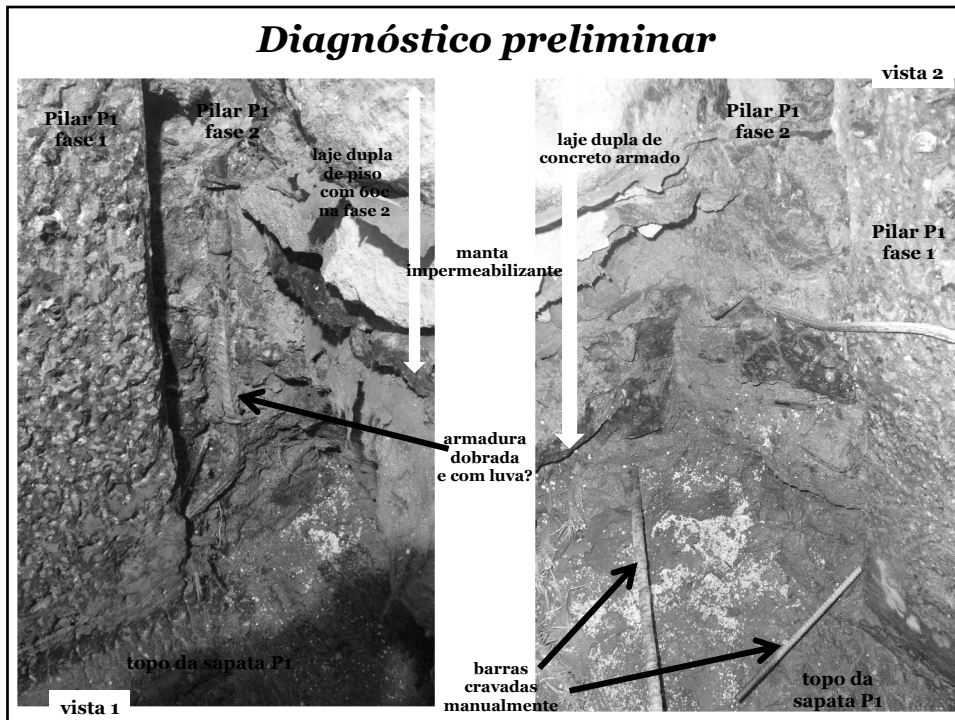
101



102



103



104



105

Inspeção

**nesse momento o grupo
encarregado da observação
por topografia da
movimentação da estrutura
informou que o pilar P1 fase
2 desceu 3mm!!**

106

Inspeção



o encarregado
da observação
do selo
de
gesso
confirmou
rompimento
do gesso

107

Inspeção

**imediatamente os
serviços de
escavação e
prospecção foram
interrompidos**

108

Inspeção



**colagem de plaquetas de
vidro 2mm para controle
de eventual movimento
de fissuras**

109

Inspeção

o reforço foi iniciado logo após observação de que o processo de recalque havia estabilizado (1,5h)

110

Preparação da fôrma



111

Preparação do Graute



112

Preparação do Graute



PhD Engenharia

113



114



115



116



117



118



119



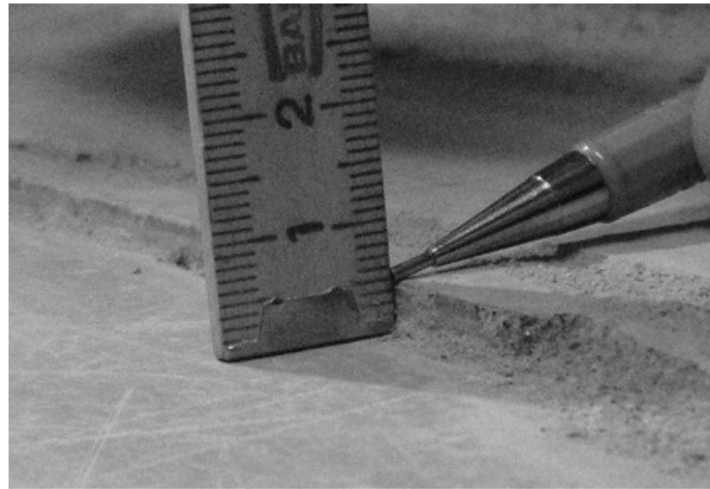
120

Após concretagem piso desceu 4mm



121

Após concretagem piso desceu 4mm



122



123

Desfôrma



124

Pilar P1 acabado



125

Controles

PhD Engenharia

126

Resistência a Compressão Axial

Pilar	Resistência a compressão axial - MPa				
	24h.	2dias	3dias	7dias	28dias
P4	57,3	59,9	61,2	68,2	73,6
	59,5	62,4	63,7	68,8	73,6
	-	51,3	51,5	54,9	77,1
	-	52,2	55,5	57,6	73,8
Piso	-	54,1	46,4	57,4	75,9
	-	55,2	48,3	56,4	74,3

PhD Engenharia

129

Hipóteses prováveis...

130

Hipóteses prováveis...



131

Edifício Habitacional

armadura de

pilares

obra nova

PhD Engenharia

133



134



135



136

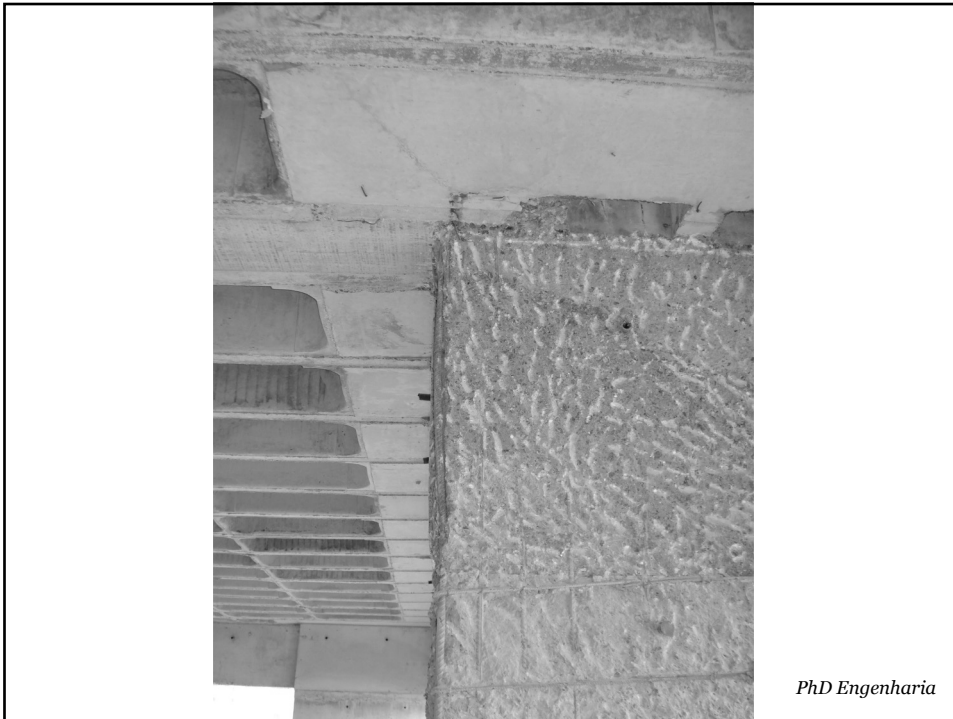
Cabeça de pilar sem
ganchos transversais
nem estribos



137



138



139



140

Qual o papel do Construtor?

PhD Engenharia

141

- ✓ Tornar realidade um Projeto
- ✓ Compatibilizar sonhos (projetos)
- ✓ Realizar expectativas
- ✓ Liderar operários (dar o exemplo, saber fazer, dar importância ao que eles fazem)
- ✓ Não é gerenciar, nem projetar!

PhD Engenharia

142

terceirizar um
serviço ≠
terceirizar
responsabilidade

PhD Engenharia

143

**outro caso
desastroso!**

PhD Engenharia

144

LEVANTAMENTO DE CAMPO DAS ARMADURAS PILARES				
PILAR	DIMENSÃO PILAR NO SUBSOLO (cm)	FERRO LONGITUDINAL EXECUTADO (QUANT./mm)	FERRO LONGITUDINAL PROJETADO (QUANT./mm)	diferença
01	(20 x 100)	10 Ø 12.5	14 Ø 10.0	+12 %
02	(30 x 50)	22 Ø 12.5	16 Ø 16.0	- 16 %
03	(20 x 100)	48 Ø 16.0	50 Ø 16.0	- 4 %
04	(20 x 100)	24 Ø 16.0	36 Ø 16.0	- 33 %
05	(30 x 50)	24 Ø 12.5	18 Ø 16.0	- 19 %
06	(20 x 100)	10 Ø 12.5	14 Ø 10.0	+12 %
07	(20 x 70)	10 Ø 10.0	10 Ø 10.0	-----
08	(20 x 70)	08 Ø 12.5	08 Ø 10.0	+ 56 %
09	(25 x 80)	28 Ø 16.0	20 Ø 20.0	- 10 %

PhD Engenharia

145

Registrado em 06 de abril de 2011. Livro: 010/ENG.				
				diferença
10	(20 x 100)	34 Ø 12.5	34 Ø 16.0	- 39 %
11	(25 x 125)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+5 %
12	(25 x 178)	38 Ø 10.0	38 Ø 10.0	-----
13	(25 x 178)	16 Ø 16.0	38 Ø 10.0	+8 %
14	(25 x 125)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+0,5 %
15	(20 x 218)	34 Ø 10.0	34 Ø 10.0	-----
16	(20 x 218)	Ø 10.0	34 Ø 10.0	-----
17	(20 x 70)	10 Ø 10.0	10 Ø 10.0	-----
18	(30 x 70)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+0,5 %
19	(30 x 70)	08 Ø 16.0	20 Ø 10.0	+2 %
20	(20 x 70)	08 Ø 12.5	08 Ø 10.0	+56 %
21	(20 x 70)	12 Ø 12.5	30 Ø 10.0	- 37 %
22	("25" x 100)	42 Ø 16.0	30 Ø 20.0	- 10 %
23	("25" x "208")	34 Ø 12.5	76 Ø 10.0	- 30 %
24	("25" x 100)	42 Ø 16.0	34 Ø 20.0	- 21 %
25	(20 x 70)	08 Ø 12.5	16 Ø 10.0	- 22 %

Obs: Foi constatado que todos os estribos possuíam bitolas de 4.2mm com espaçamento entre eles de 15cm exceto o pilar P15 que possui estribos de 6.3mm e espaçamento igual aos demais.

146



147

Edifício Real Class

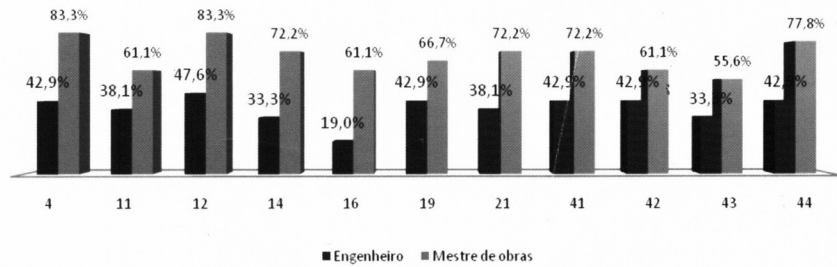


Belém do Pará
34 pavimentos
105m 20.01.2011 35MPa

PhD Engenharia

148

Figura 3 – Desvios de função



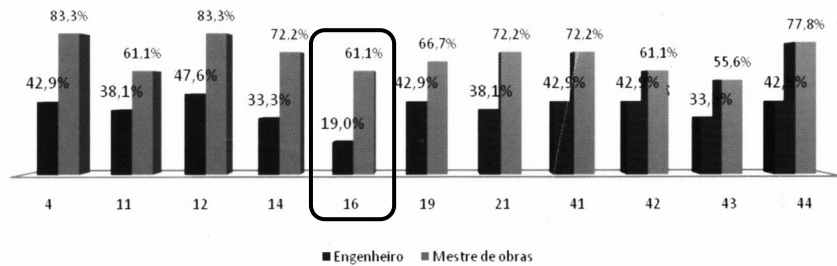
DESVIOS DE FUNÇÃO DE UM MESTRE DE OBRAS

- 4. Decidir onde serão depositados os materiais utilizados no decorrer da obra, de acordo com a sua experiência.
- 11. Fazer a locação da obra a partir de pontos de referência definidos pelo topógrafo (ou outro profissional).
- 12. Conferir os gabaritos de marcação de obra (distância entre eixos e níveis de referência) antes de dar seqüência aos serviços.
- 14. Relatar todas as excentricidades, ocorridas na execução da fundação ao engenheiro residente ou calculista.
- 16. Autorizar trocas de bitolas de aço na falta dos materiais pré-determinados.
- 19. Autorizar a substituição de materiais por conta própria (madeiras/compensados) na falta daqueles previstos.
- 21. Definir os espaçamentos das escoras.
- 41. Solicitar compras de materiais.
- 42. Solicitar (compra/aluguel) máquinas e equipamentos de pequeno e médio porte.
- 43. Conhecer a frequência diária de todos os funcionários inclusive de empreiteiros.
- 44. Acompanhar a movimentação (material/equipamentos/resíduos) tudo o que entra e sai do canteiro diariamente.

Mapeamento de competências e atribuições de um mestre de obras. Revista Concreto & Construções, Ano XXXIX, n.62. IBRACON, Abr.Mai.Jun. 2011. p. 13-18

149

Figura 3 – Desvios de função



DESVIOS DE FUNÇÃO DE UM MESTRE DE OBRAS

- 4. Decidir onde serão depositados os materiais utilizados no decorrer da obra, de acordo com a sua experiência.
- 11. Fazer a locação da obra a partir de pontos de referência definidos pelo topógrafo (ou outro profissional).
- 12. Conferir os gabaritos de marcação de obra (distância entre eixos e níveis de referência) antes de dar seqüência aos serviços.
- 14. Relatar todas as excentricidades, ocorridas na execução da fundação ao engenheiro residente ou calculista.
- 16. Autorizar trocas de bitolas de aço na falta dos materiais pré-determinados.
- 19. Autorizar a substituição de materiais por conta própria (madeiras/compensados) na falta daqueles previstos.
- 21. Definir os espaçamentos das escoras.
- 41. Solicitar compras de materiais.
- 42. Solicitar (compra/aluguel) máquinas e equipamentos de pequeno e médio porte.
- 43. Conhecer a frequência diária de todos os funcionários inclusive de empreiteiros.
- 44. Acompanhar a movimentação (material/equipamentos/resíduos) tudo o que entra e sai do canteiro diariamente.

Mapeamento de competências e atribuições de um mestre de obras. Revista Concreto & Construções, Ano XXXIX, n.62. IBRACON, Abr.Mai.Jun. 2011. p. 13-18

150

Edifício Habitacional

concretagem
de pilares
obra nova

PhD Engenharia

151



PhD Engenharia

152



153



154



155



156



157



158

CONSTRUTOR

precisa ter consciência
de que a consequência
de seus atos pode levar
anos para aparecer!

PhD Engenharia

159

Edifício Areia Branca

Recife, Pernambuco
14 de outubro de 2004
quinta-feira às 20:30h
1977 → 1979
25 anos
12 andares + térreo + 1 garagem

PhD Engenharia

160



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

161



162



Escombros - manhã seguinte do desabamento

PhD Engenharia

163



164



Vista geral do subsolo

167



Trinca na viga do teto do subsolo junto a cisterna

168



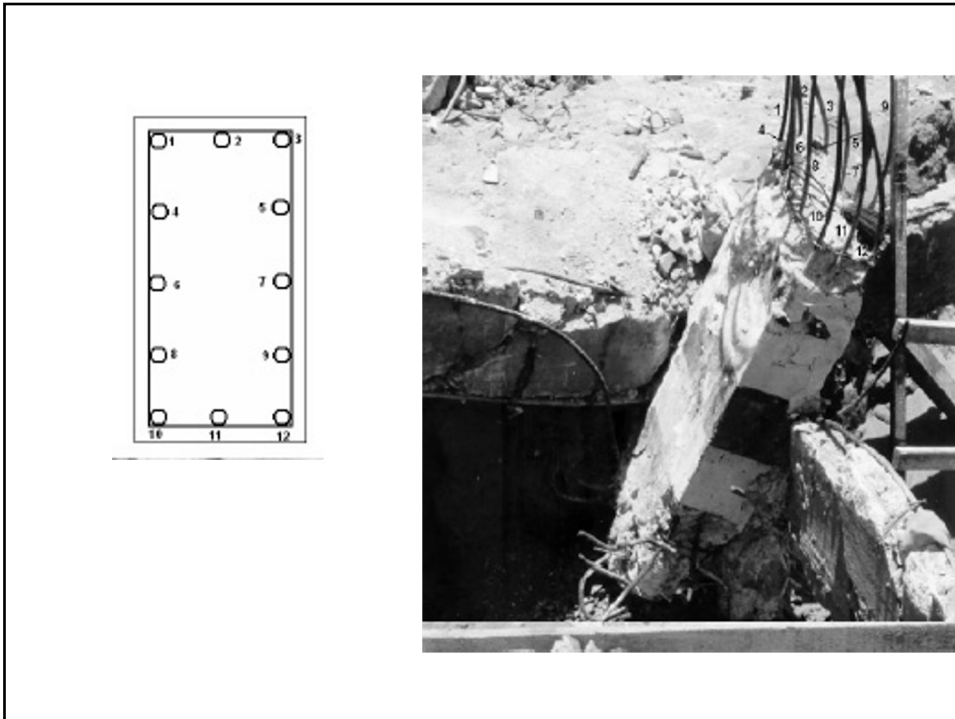
Vista geral do reservatório inferior (cisterna) e alagamento

169



Moradores acompanham a vistoria efetuada pela Defesa Civil

170



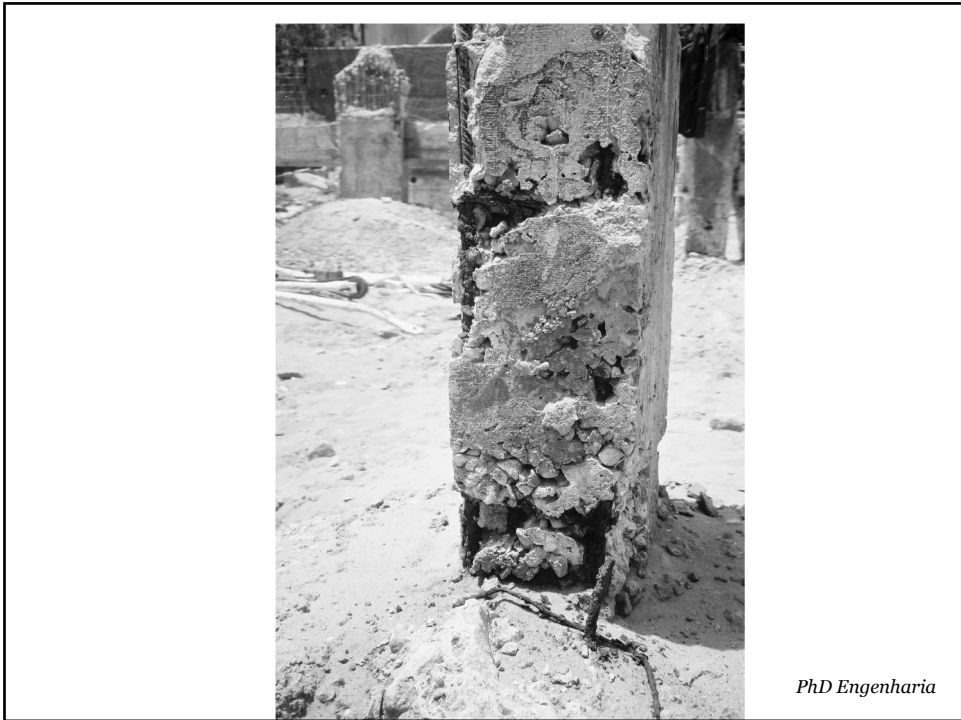
173



174



175



176



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

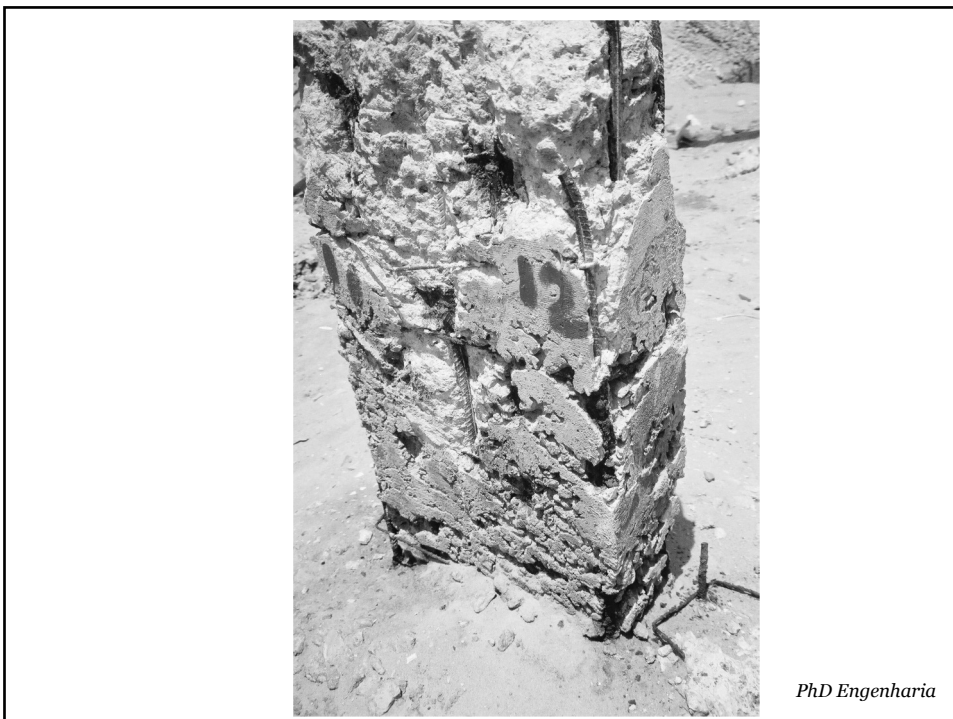
177



178



179



180



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

181



182

CONSTRUTOR

precisa ter consciência
de que as consequências
de seus atos podem ser
desastrosas e onerosas!

PhD Engenharia

183

Edifício Emblemático

Alphaville, São Paulo

50MPa

35 andares

Comercial

ninho de concretagem

PhD Engenharia

184



185



186



187



PhD Engenharia

188



189



190



191



192



193

CONSTRUTOR

Não entendeu → PERGUNTA

Não achou o detalhe → COBRA

Deve estudar os projetos e
antecipar-se aos problemas!

PhD Engenharia

194

CONSTRUTOR

Tem a obrigação de fazer
a síntese do conhecimento
daquela obra !

PhD Engenharia

195

**Qual a
MISSÃO do
Construtor?**

PhD Engenharia

196

Qual a MISSÃO do Construtor?

- ✓ Sem dúvida a mais nobre
- ✓ Sem dúvida a mais importante
- ✓ Sem dúvida a mais difícil
- ✓ Sem dúvida a mais cara
- ✓ Sem dúvida a de maior
responsabilidade

PhD Engenharia

197

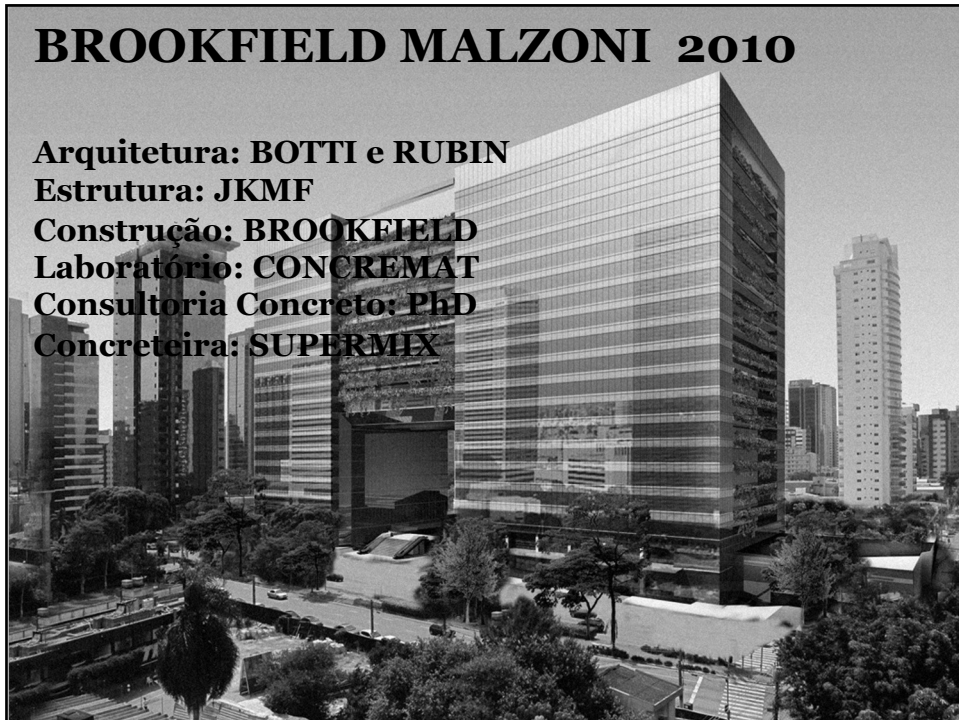


PhD Engenharia

204



205



BROOKFIELD MALZONI 2010

Arquitetura: BOTTI e RUBIN

Estrutura: JKMF

Construção: BROOKFIELD

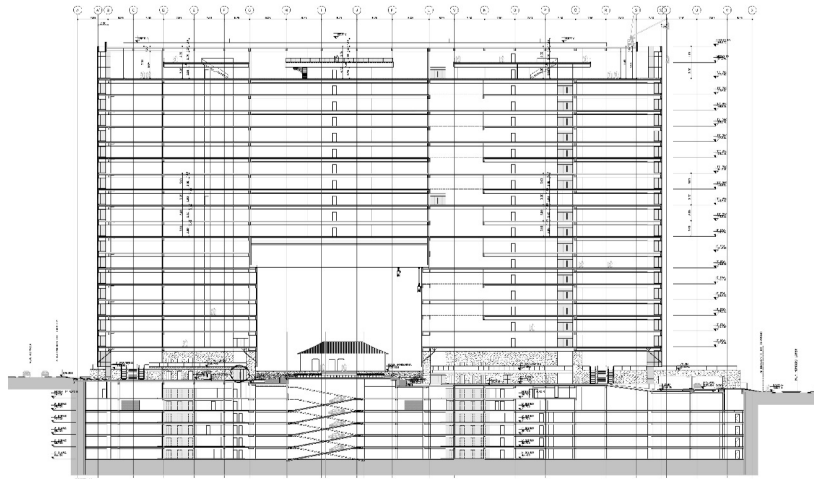
Laboratório: CONCREMAT

Consultoria Concreto: PhD

Concreteira: SUPERMIX

215

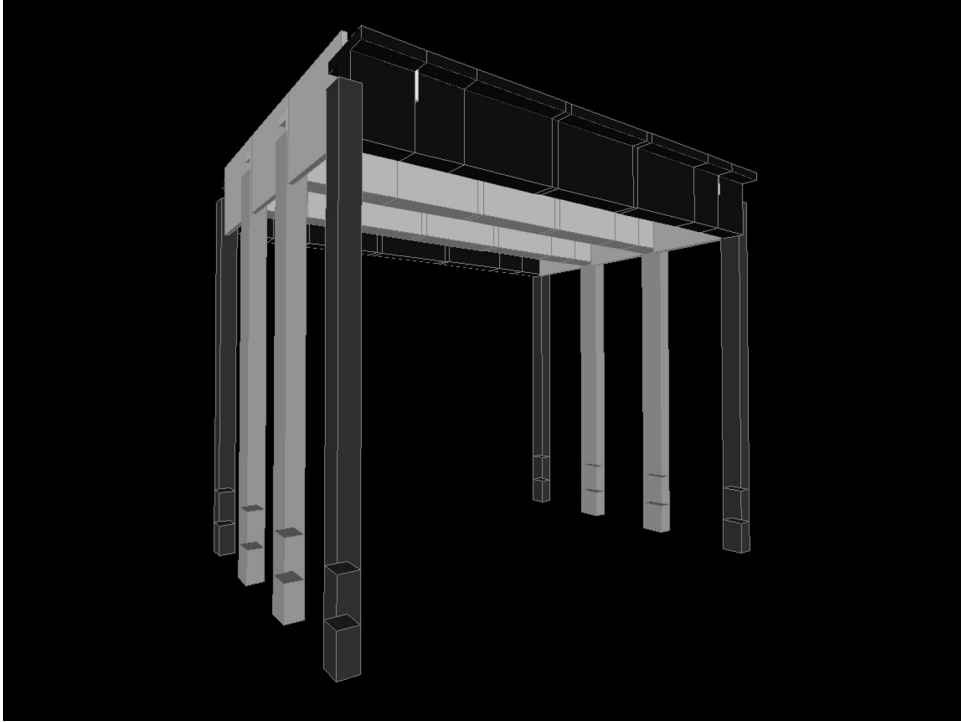
Corte longitudinal



216



217



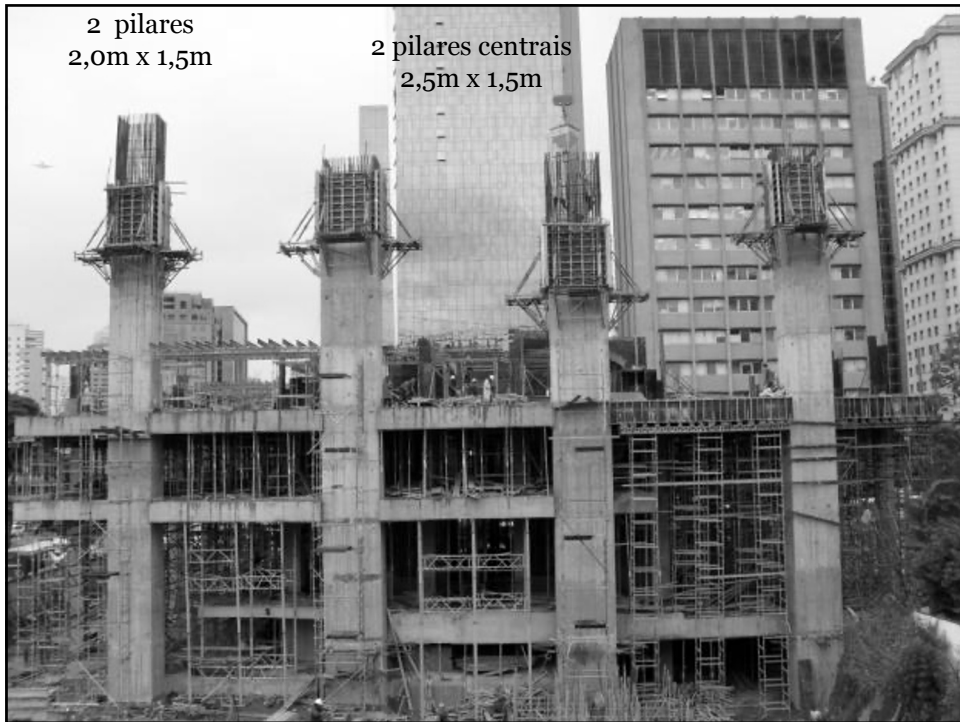
218



219



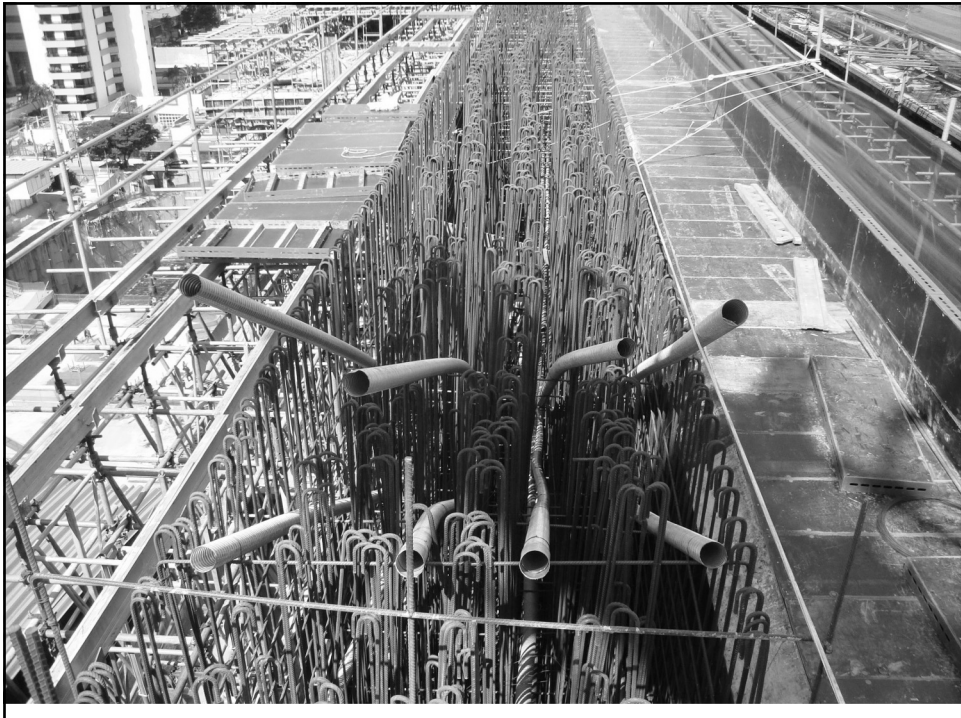
220



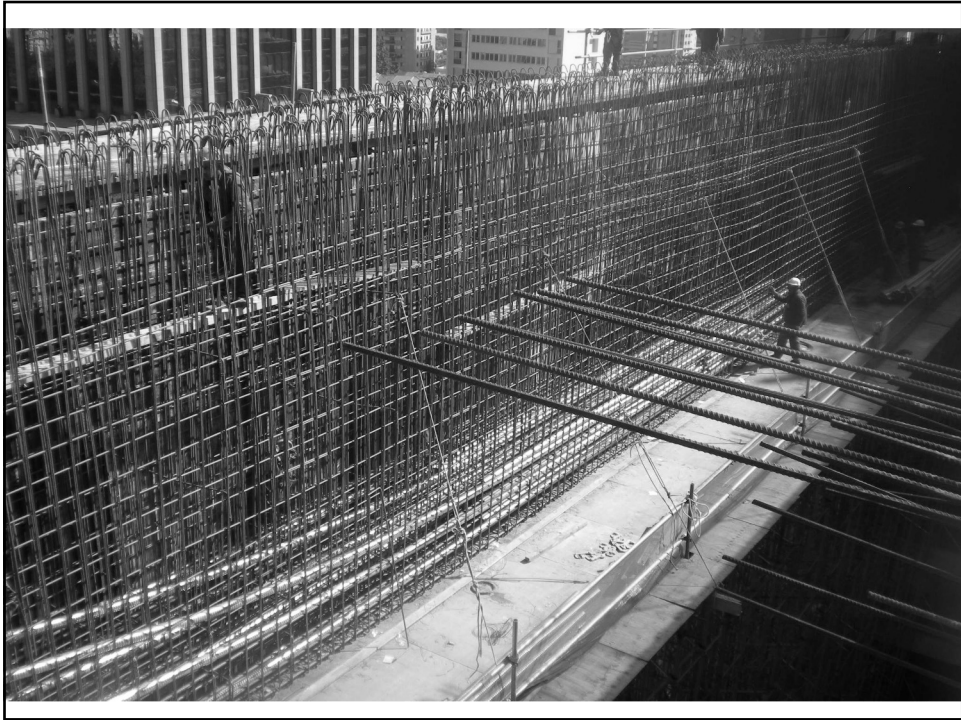
221



222



223



224



Bomba A

Bomba B

PhD Engenharia

225



226



227



escoramento em balanço

PhD Engenharia

228

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

PhD Engenharia

229

Temperatura de lançamento

Material	Consumo kg/m³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m³.°C)	T (°C)	Q (kcal/m³)
Cimento.CP II 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

PhD Engenharia

230

Temperatura de lançamento

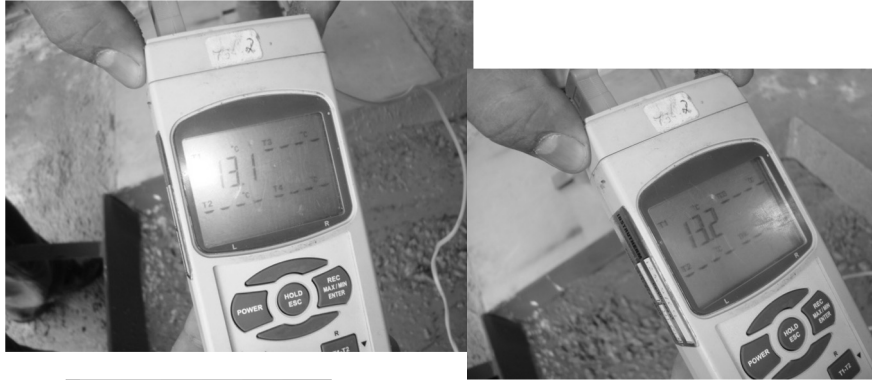
Material	Consumo kg/m³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m³.°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	Ti - Tf (°C)	Q (kcal/m³)
Cimento.CP II E-40	365	0,240	87,60	55	0	55	4818
Microsilica	29,6	0,200	5,92	40	0	40	236,8
Areia Artif.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Areia Nat.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Brita 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 60%

PhD Engenharia

231

Temperatura de lançamento



é possível ...

PhD Engenharia

232



**CEB-FIP
fib Bulletin 38,
2007**

PhD Engenharia

233

Acabamento



234



235

irresponsabilidad



236

Compromiso!

Do your best!

PhD Engenharia

237



238