

Estruturas de Concreto Lecciones Aprendidas de Acidentes y Fallas



Paulo Helene

*Conselheiro IBRACON
Diretor PhD Engenharia
Miembro 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*

UNISINOS IDD

04 DE MAIO de 2012

Porto Alegre

1

**Erros, Falhas,
Omissões, Colapsos,
Acidentes, Frustrações,
Atrasos, Retrabalho,
Constrangimentos,
Decepções, Vergonha...**

PhD Engenharia

2

**“Duro”
Aprendizado!**

PhD Engenharia

3

**“Duro”
Aprendizado!**
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...”

5

✓ Postura dos Organizadores deste evento

✓ com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

PhD Engenharia

6

✓ Postura dos Organizadores

✓ compareço aqui com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

PhD Engenharia

7

✓ Postura dos Organizadores

✓ com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

PhD Engenharia

8

✓ **Postura dos Organizadores**

✓ **com experiência de um
CONSTRUTOR**

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

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

PhD Engenharia

9

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

10



11



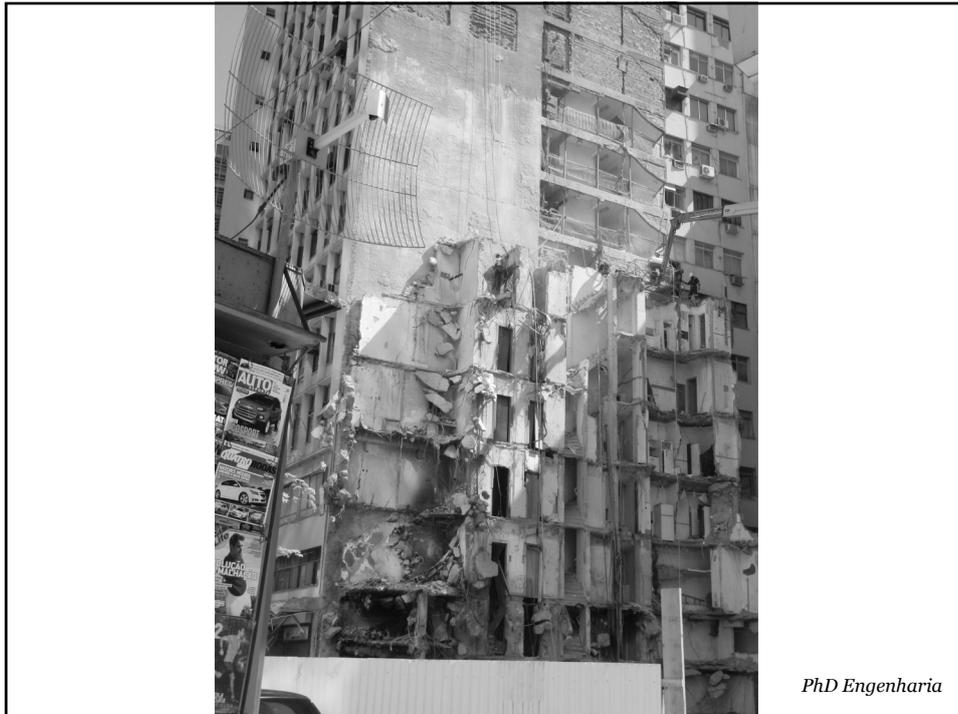
12



13



14



15

Hipóteses

1) Alteração de uso:

Carga atuante em edifícios residenciais:

150kg/m^2

(média mundial em 1938)

Carga atuante em edifícios de oficinas:

350kg/m^2

(média mundial em 2010)

2) Demolição de paredes portantes

16

Colapso

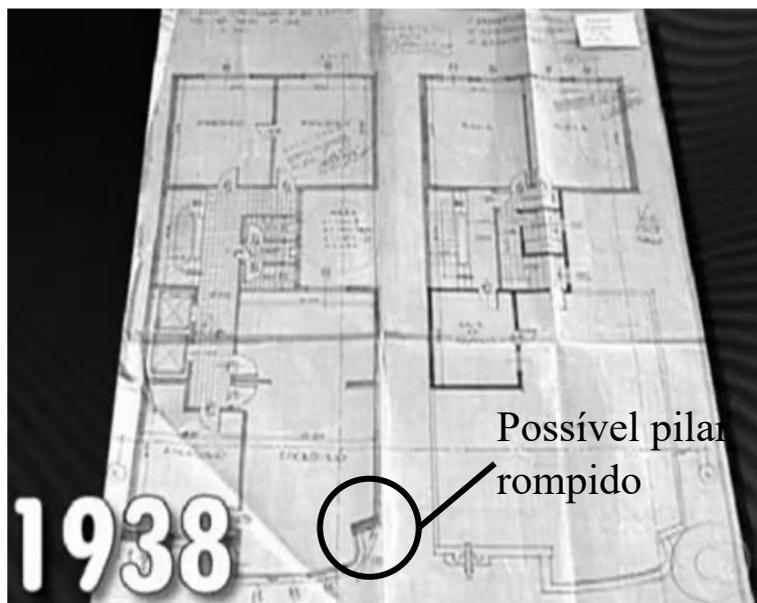
- 1) Parecer encomendado por empresa responsável por reformas: ruptura de pilar frontal do prédio.

Hipóteses

- 1) Alteração de uso: inicialmente projetado para ser residencial mas posteriormente usado como escritórios;
- 2) Alteração do projeto original, resultando sobrecargas não previstas;
- 2) Reforma no 3º e 9º andar: sobrecarga e danificação de elementos estruturais;

17

Colapso: ruptura de pilar frontal do prédio



18

2) Alteração do projeto original: sobrecarga nos pilares frontais



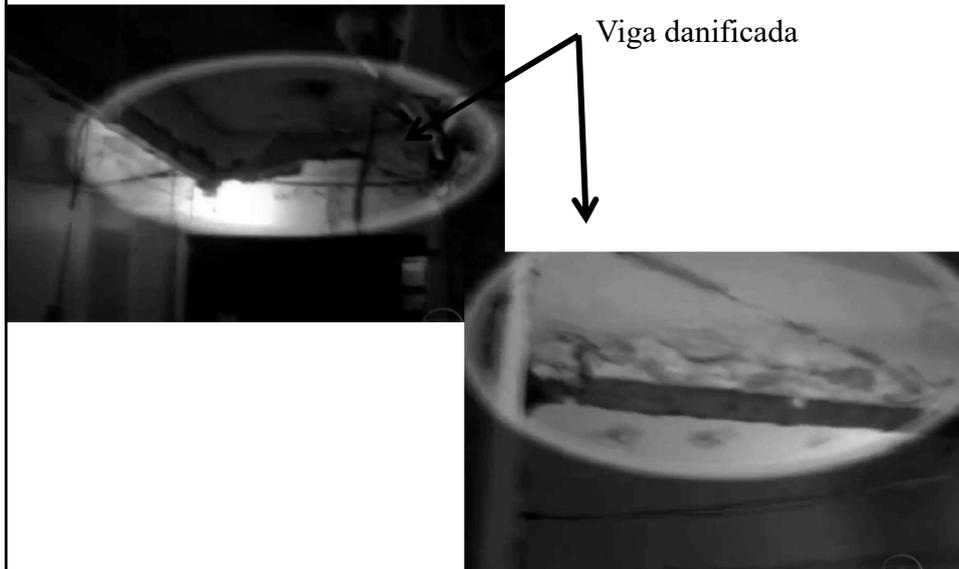
19

2) Alteração do projeto original



20

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



21

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



22

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.

23

Avisos da Estrutura

- 1) Usuário do edifício contou que encontrou restos de argamassa na entrada do elevador e que isso era recente
- 2) Zelador e Síndico estavam desconformes com a extensão das reformas...
- 3) Engenheiro disse que eram reformas sem importância e nem precisava de engenheiro no local...

PhD Engenharia

24

ULTIMAS NOTÍCIAS [O 311: falar agora em queda e vale R\\$ 1,53 na venda](#)

MAIS EM RIO [Guardas municipais vão virar zeladores do Rio](#) [CGU vai investigar ex-assessor do Ministério da Saúde](#) [Após bate-boca, deputadas agora decidem se calar](#) [Trem e Metrô apresentam problemas](#)

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
ROGERIO DIAS
WILSON
WILSON

20412 - 23H42
Atualizado em 30/01/2012 - 09:04
Like **272**

Tweet **38**

3

19

22



Avenida Treze de Maio, no local onde desabaram prédios no dia 25 de janeiro (LIONEL ROBERTO/AGÊNCIA 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 divide as salas do lado esquerdo do banheiro”. Wanderley diz que o andar “virou

PUBLICIDADE

para diferentes perfis, um tipo de assinatura.

ULTIMAS NOTÍCIAS DE RIO

[Trem e Metrô apresentam problemas nesta manhã](#)

[Guardas municipais vão virar zeladores do Rio](#)

[CGU vai investigar ex-assessor do Ministério da Saúde](#)

[Após bate-boca, deputadas agora decidem se calar](#)

[Polícia apura vazamento de relatório sobre Rocinha](#)

Siga @OGlobo_Rio

O Globo on Facebook
Like 293,415

PhD Engenharia

25

Reflexão

A legislação brasileira permite que se façam reformas internas sem a contratação de um Engenheiro, desde que não afete estruturas.

Um leigo não consegue identificar as diferenças entre alvenaria estrutural e estrutura reticulada.

Além disso os edifícios estão envelhecendo...

Não há Justiça sem um Advogado e ...

...Não há segurança sem um Engenheiro!

26

Implosão sem dinamite



27

Cabo de corte?



Fra Engenharia

28

Estrutura preparada

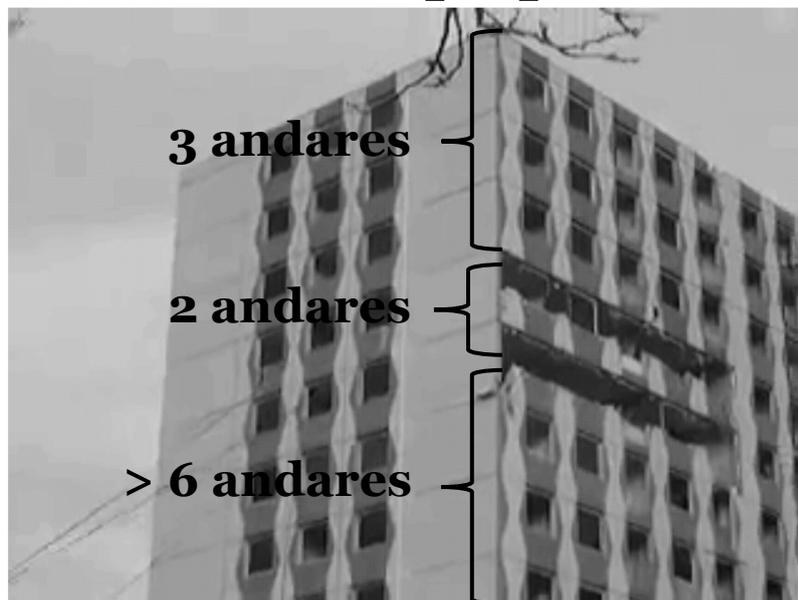
-Nota-se que toda a estrutura do prédio foi preparada para o evento:

1. Fica claro a remoção de alvenaria da fachada para induzir o colápsso nesses andares;
2. Também nota-se uma linha como uma “junta de dilatação” no meio do prédio.

PhD Engenharia

29

Estrutura preparada



PhD Engenharia

30

Estrutura preparada



31

Sucesso: implosão perfeita!



32

Isso vai dar certo???



33

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



34

Edifício Comercial

2009
fissuras em lajes
obra nova

35



36



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

37



38



39

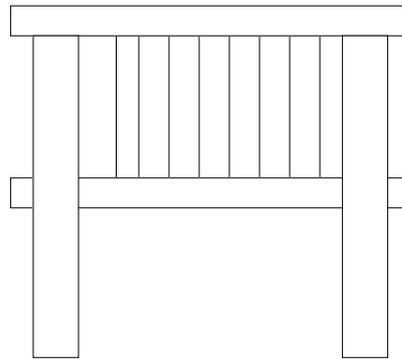


40

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

dimensionada para 150kg/m²

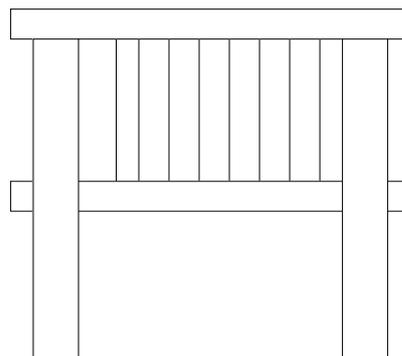
1 ano de idade



41

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

1 ano de idade



42



43

***Irresponsabilidade
ou
Incompetência?***

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

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

44



45



46



47

- 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

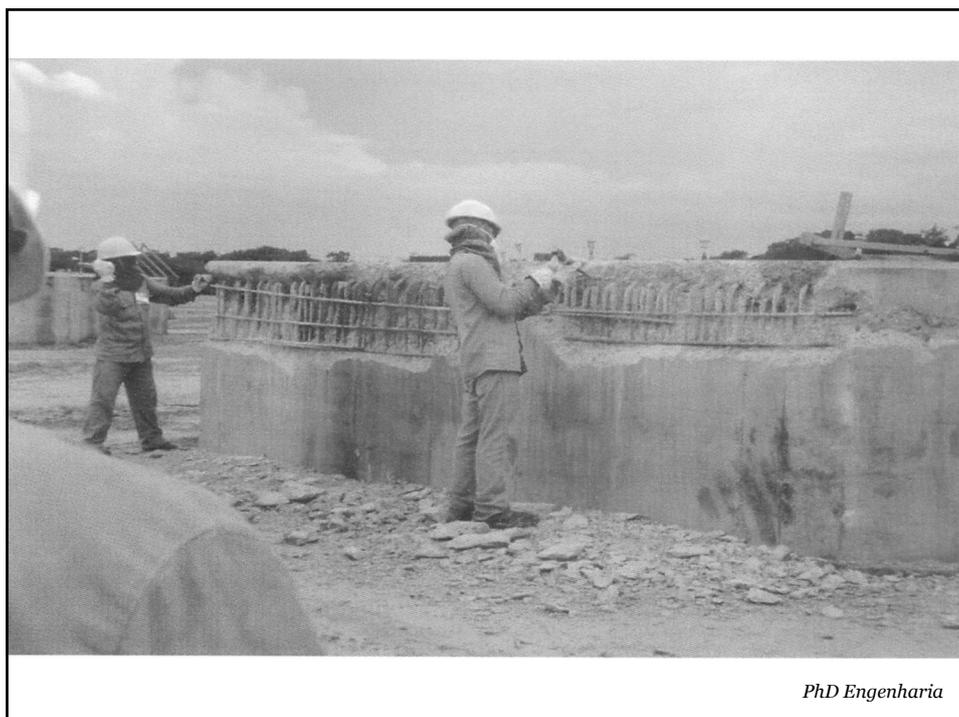
48

Resposta do Engenheiro Construtor:

**Nós percebemos mas decidimos colocar
250kg de cimento (5sacos) dentro do
balão para compensar...**

**Depois de 28dias deu no que deu!
e ainda queria cobrar da Concreteira...**

49



PhD Engenharia

50



51

***Irresponsabilidade
ou
Incompetência?***

Caso 2:

edifício da Diretoria da Construtora

8º andar

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

1 caminhão com 10MPa

9 pilares!

52



53



54



55



56



57



58



59



60



61

- **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**

62

seria um caso
de sabotagem
??? !!!

63

Dados do Edifício:

36 pavimentos + 5 subsolos

Edifício em uso há 1 ano

Fissurou 18 andares

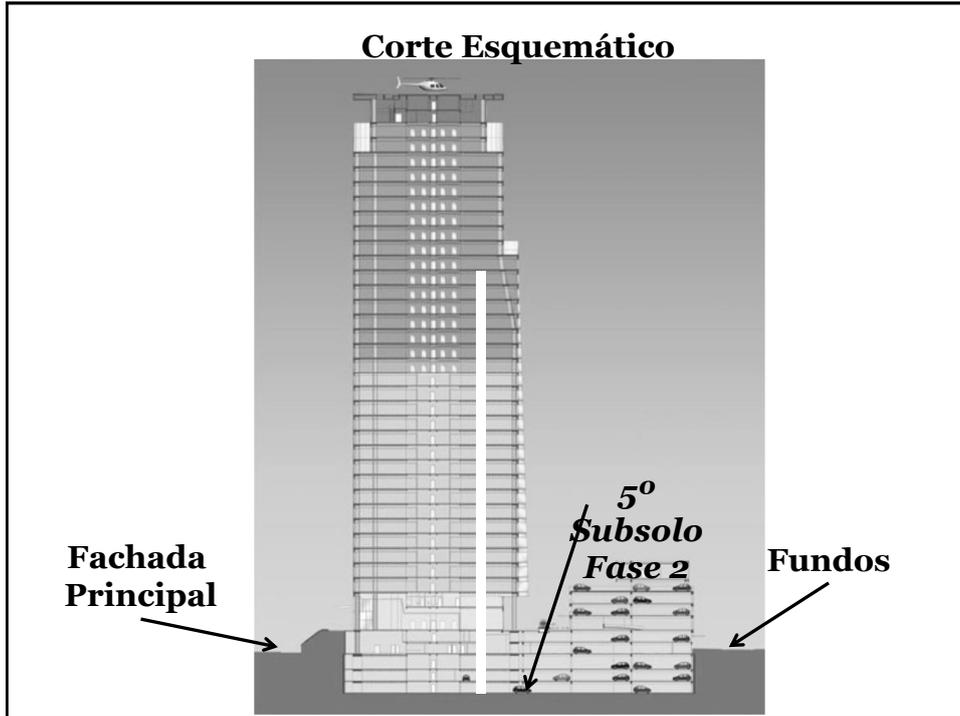
Pilar P1 Esforços de projeto:

Normal: 1.253tf

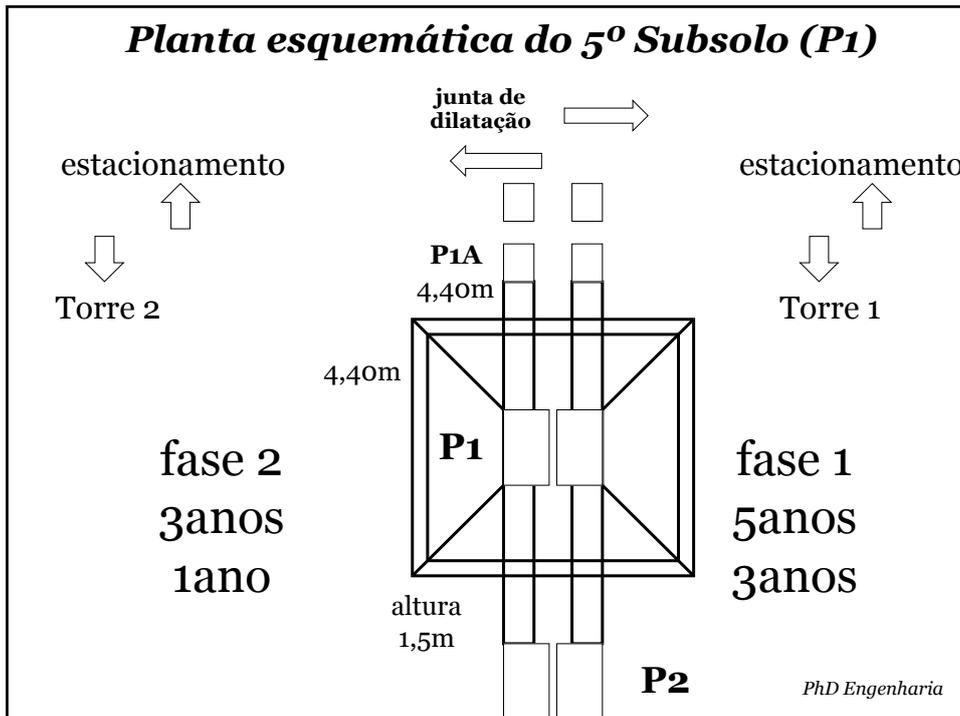
Mx: 55tf.m

My: 8tf.m

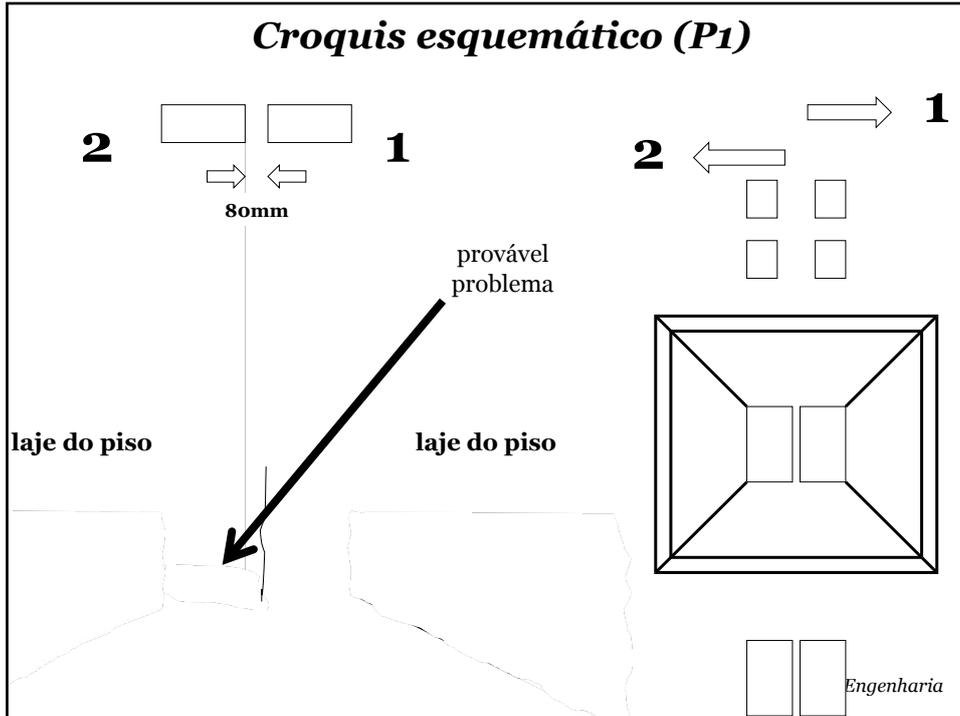
64



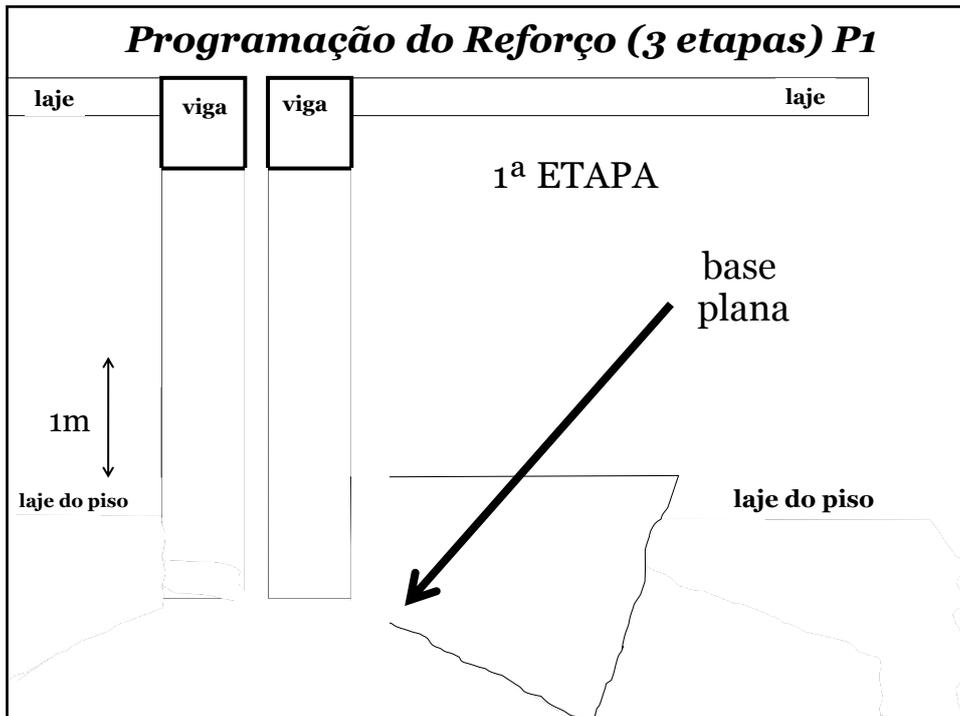
65



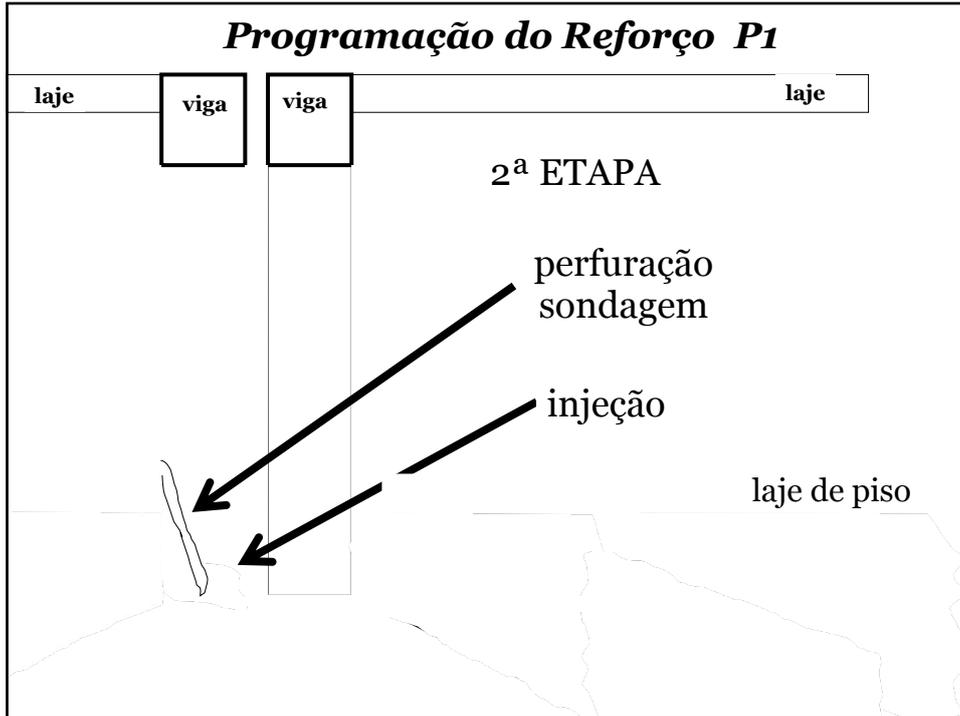
66



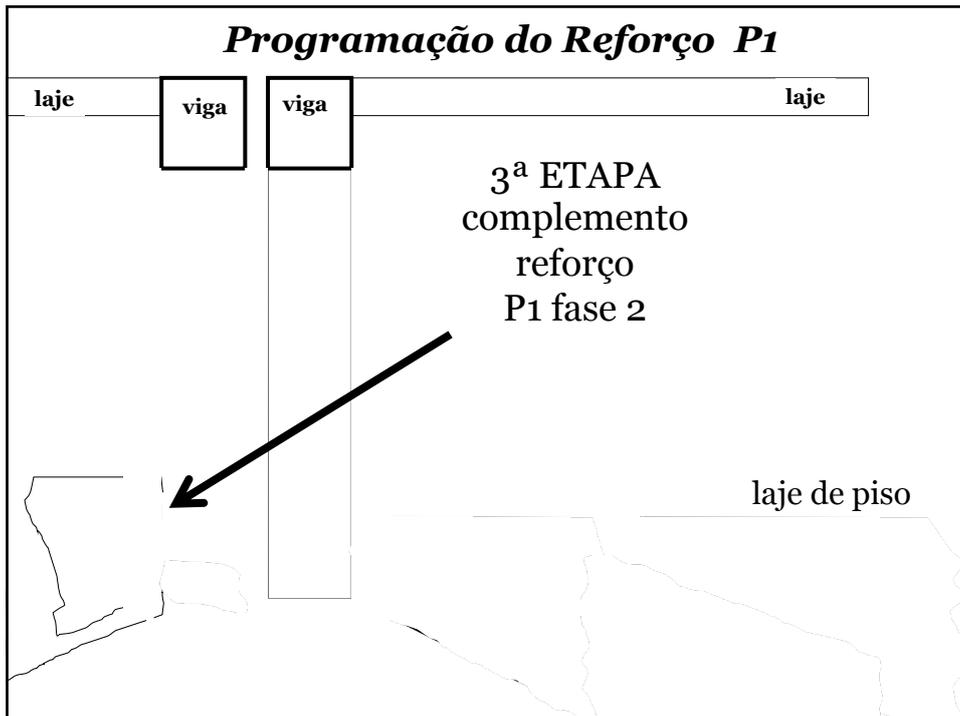
67



68

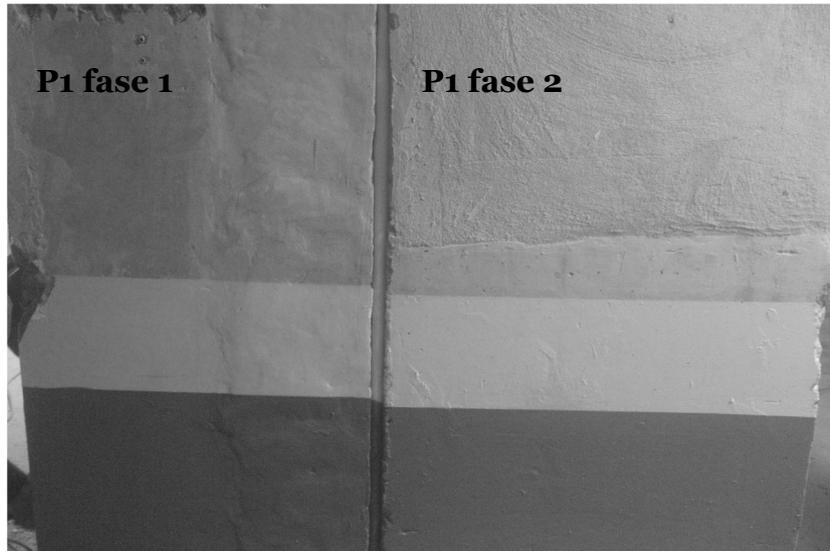


69



70

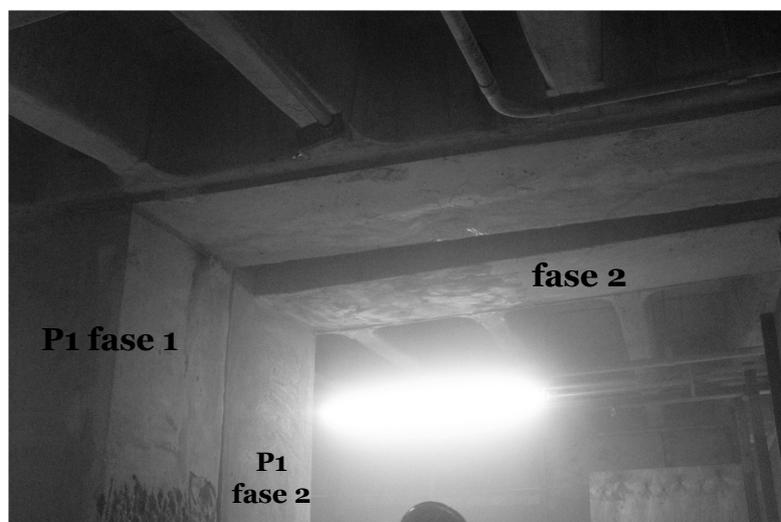
Inspeção / Evidências



Desnivelamento

71

Inspeção / Evidências



Desnivelamento

72

Inspeção / Evidências



Fissuras em Vigas

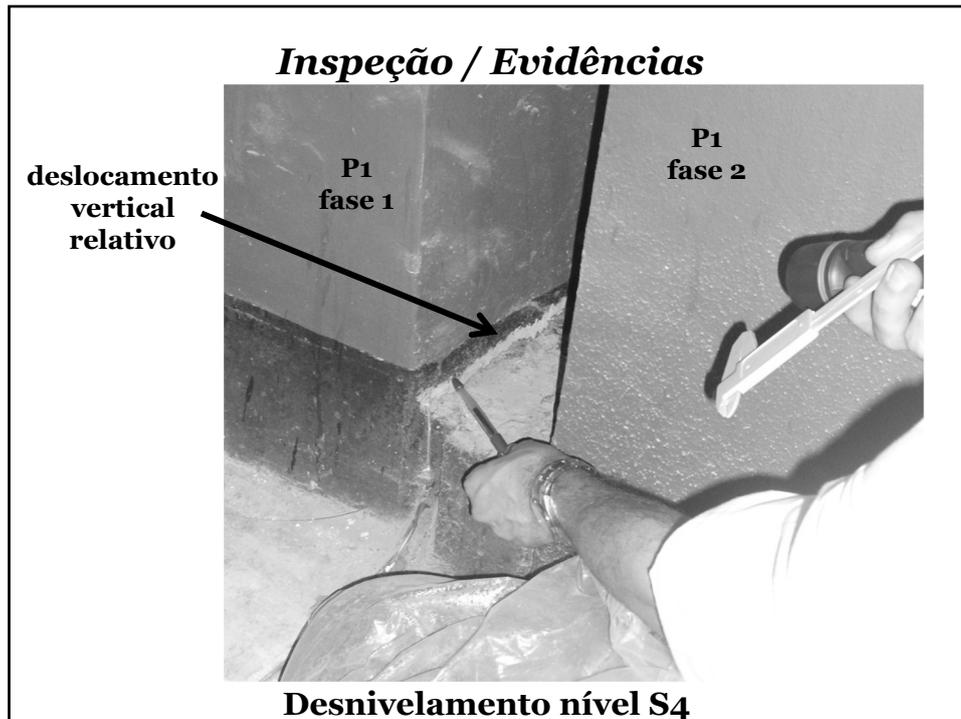
73

Inspeção / Evidências



Fissuras em Vigas

74

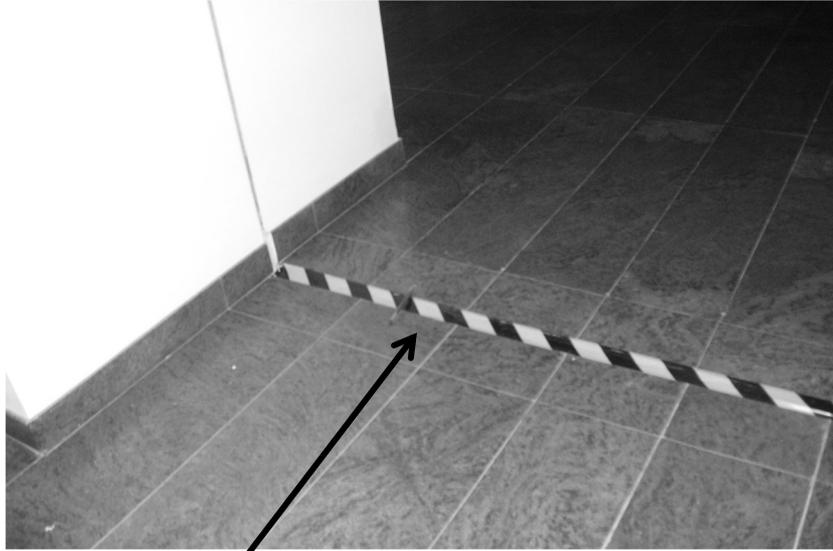


75



76

Inspeção / Evidências



Desnivelamento nível S3

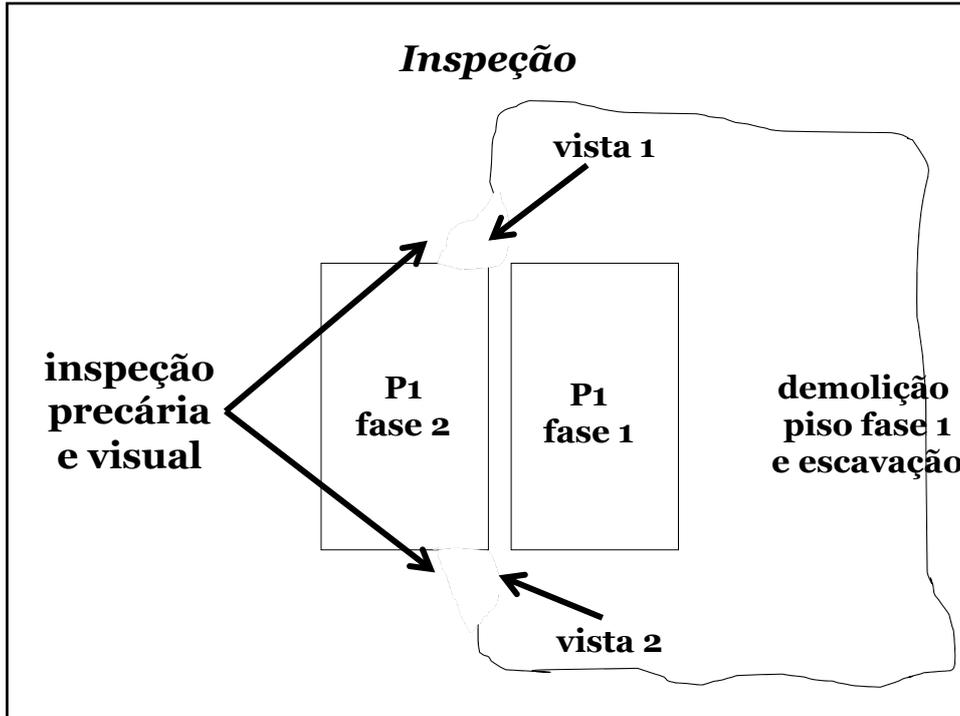
77

Inspeção / Evidências

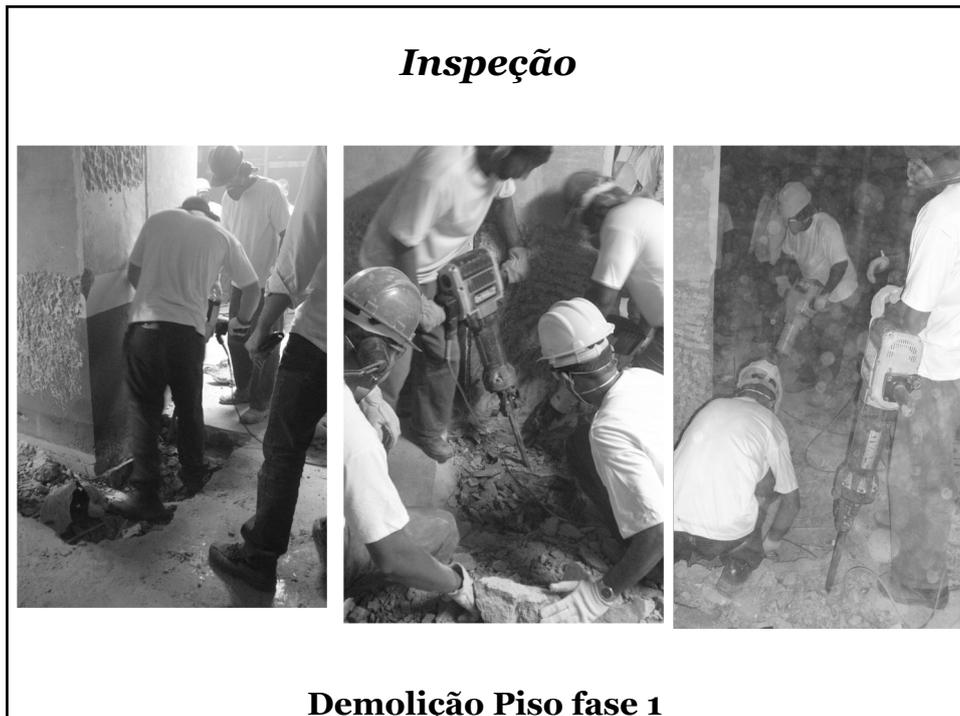


Desnivelamento e fissuras em vigas

78

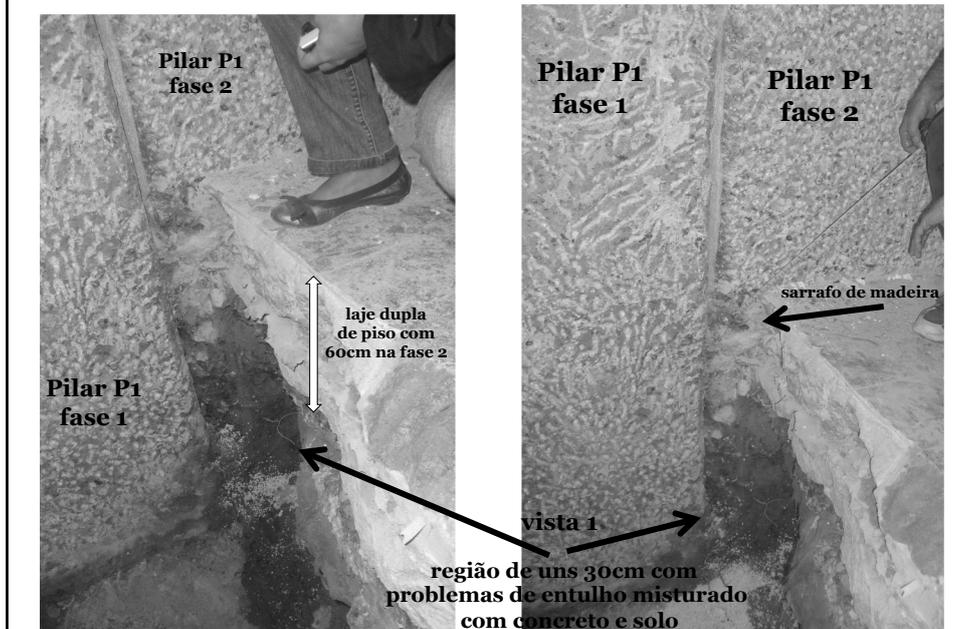


79



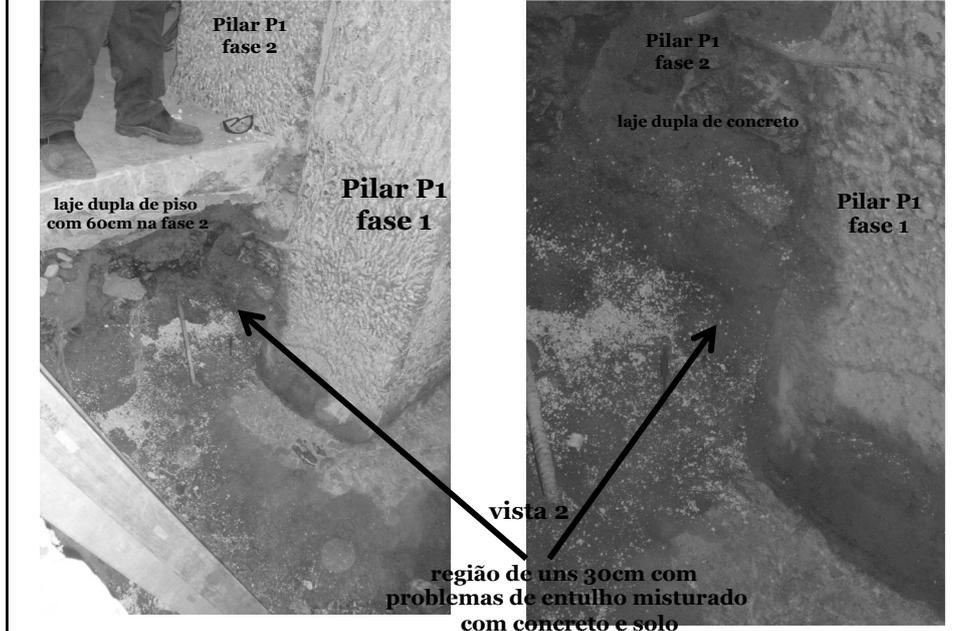
80

Inspeção / Diagnóstico preliminar



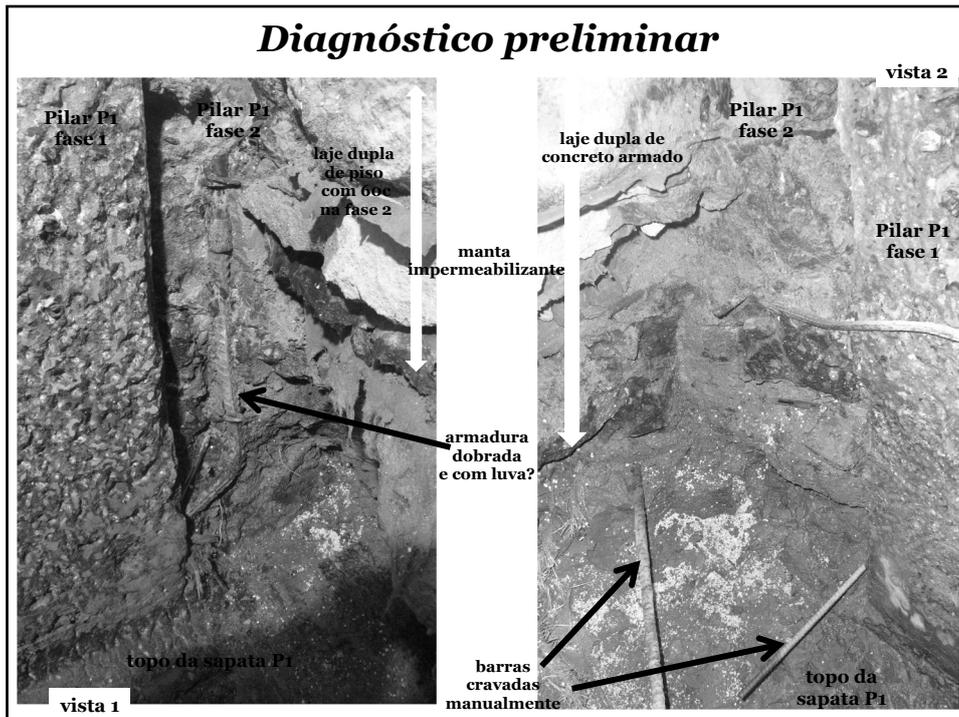
81

Inspeção / Diagnóstico preliminar



82

Diagnóstico preliminar



83

4. Preparação da fôrma



84

7.Desfôrma



85



86



87



88



89



90



91



92

Pilar P1 acabado



93

Controles

PhD Engenharia

94



95



96

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

97

*Hipóteses
prováveis...*

98

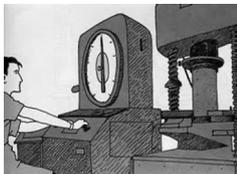


99

A origem e os intervenientes



**projetista
estrutural**



**tecnologista
de concreto**



**fornecedor do
material**



**construtor
(execução)**

***atribuição de responsabilidades
NBR 12655:2006***

100

Edifício Habitacional

armadura de pilares *obra nova*

101



102



103



104

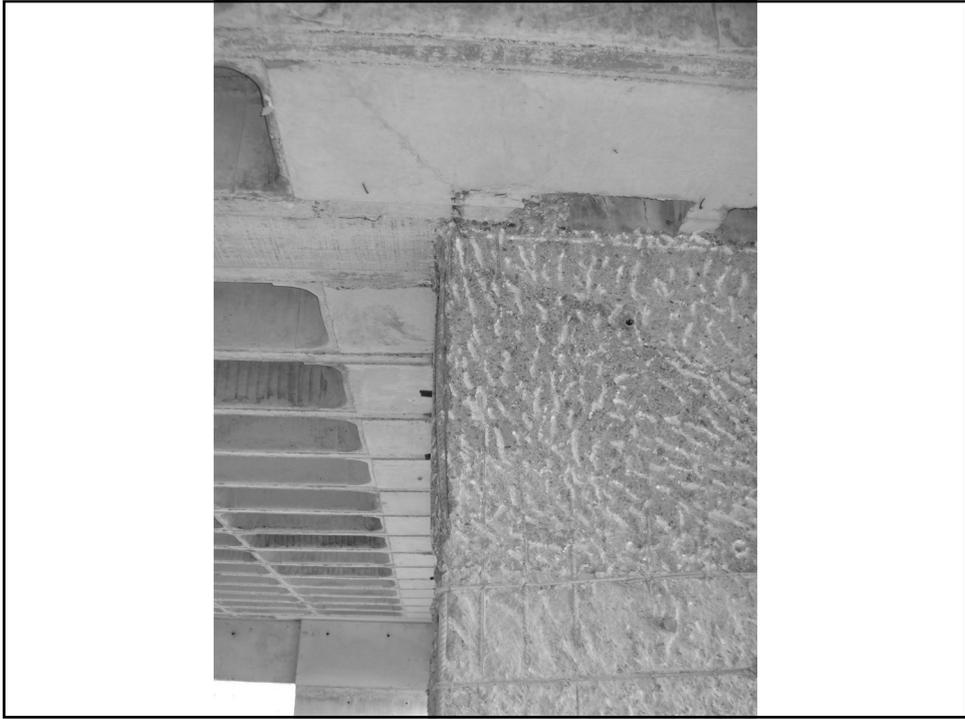
Cabeça de pilar sem
ganchos transversais
nem estribos



105



106



107



108

Qual o papel do Construtor?

PhD Engenharia

109

- ✓ 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

110

terceirizar um
serviço ≠
terceirizar
responsabilidade

PhD Engenharia

111

**outro caso
desastroso!**

PhD Engenharia

112

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 %

113

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.

114



115

Edifício Real Class

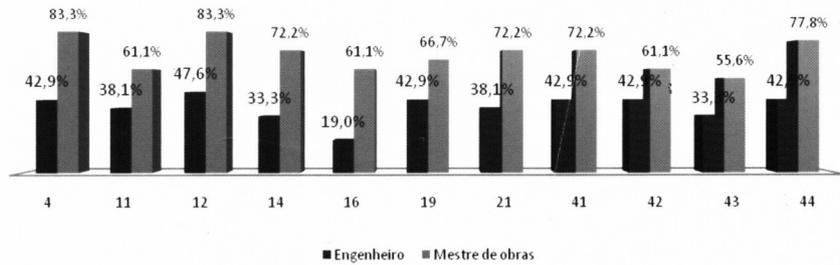


Belém do Pará
34 pavimentos
105m 20.01.2011 35MPa

PhD Engenharia

116

Figura 3 – Desvios de função



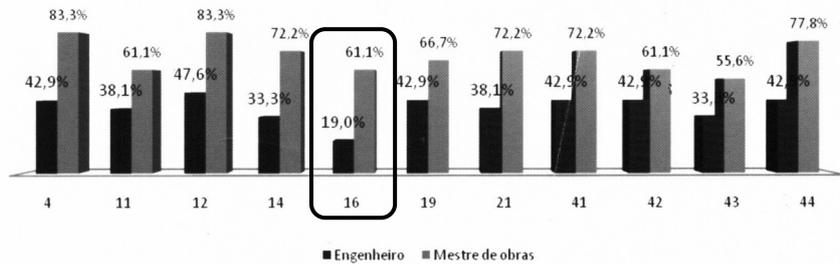
DESVIOS DE FUNÇÃO DE UM MESTRE DE OBRAS

- 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
PhD Engenharia

117

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
PhD Engenharia

118

Edifício Habitacional

concretagem de pilares *obra nova*

119



120



121



122



123



124

CONSTRUTOR

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

125

Edifício Areia Branca

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

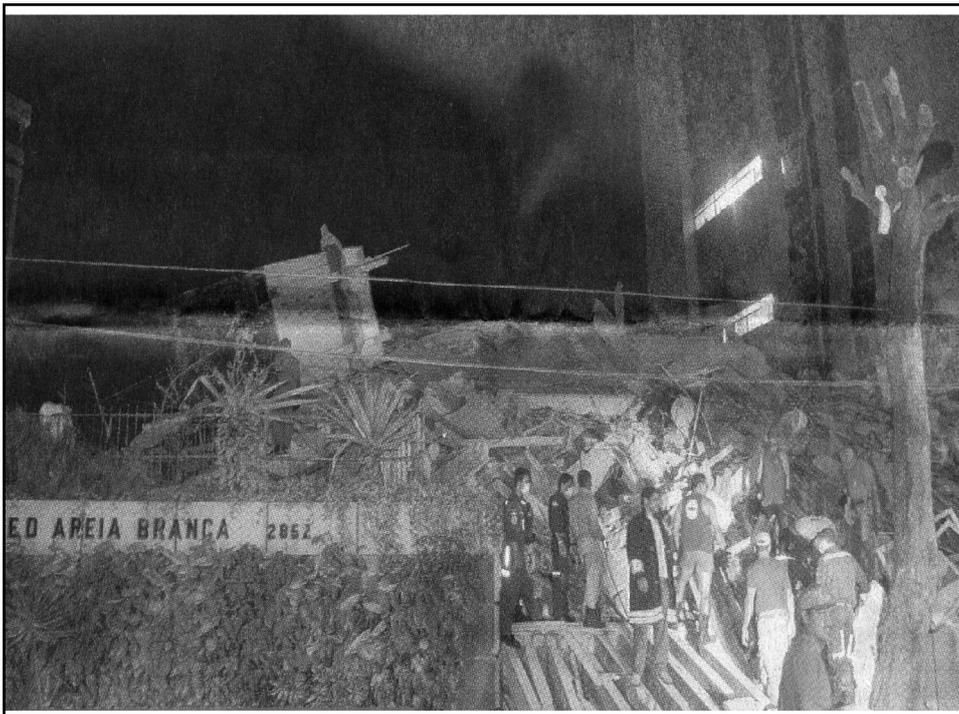
126



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

127



128



Escombros - manhã seguinte do desabamento

129



130



Edificações Vizinhas

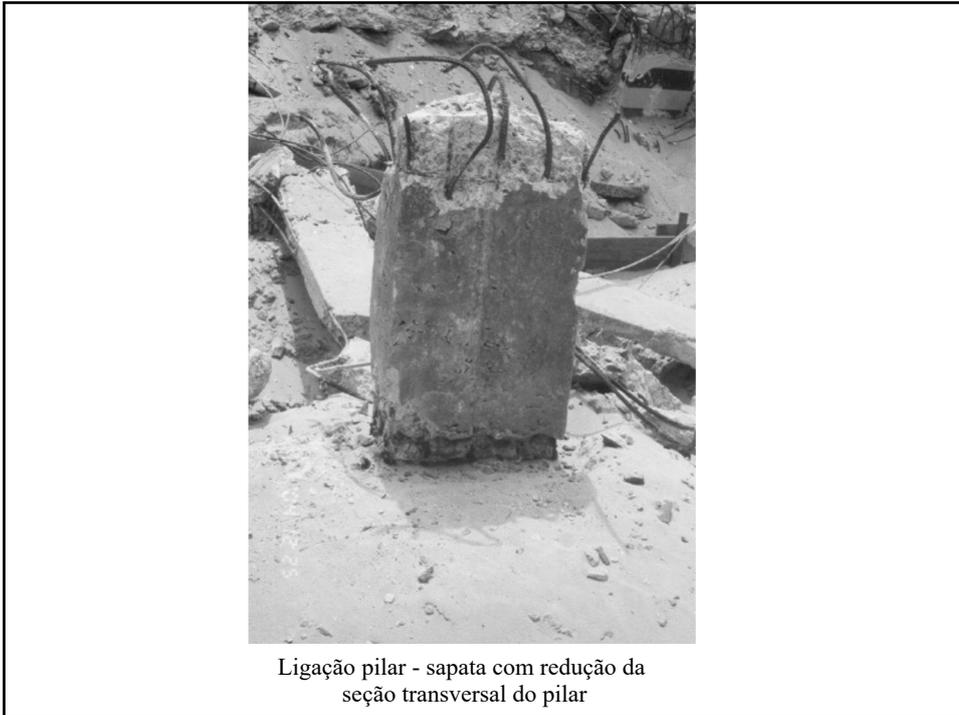
131



132



133



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

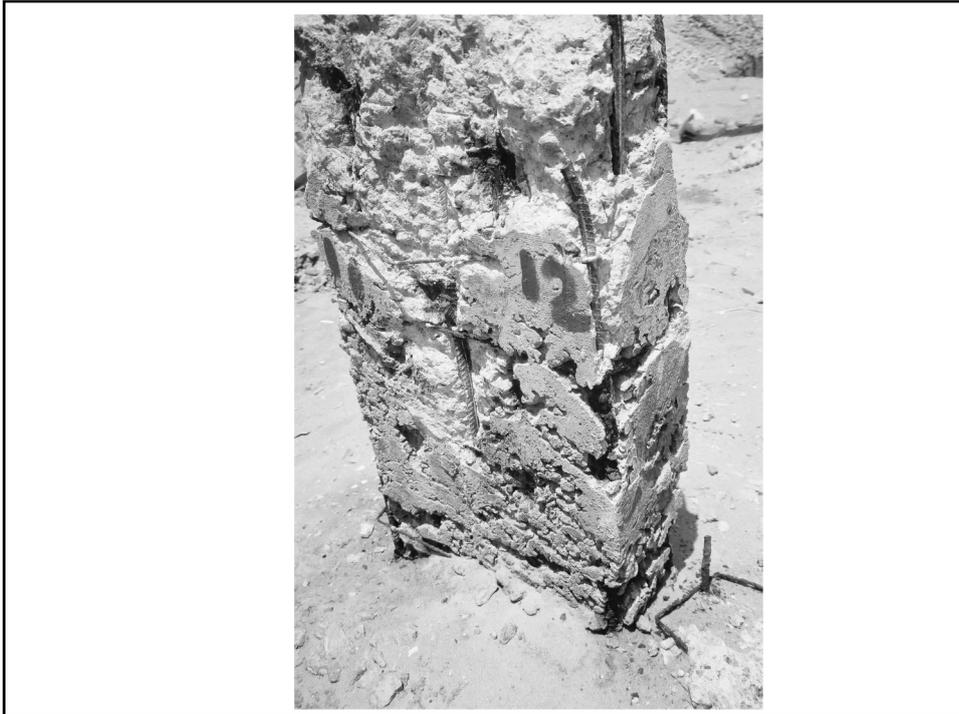
134



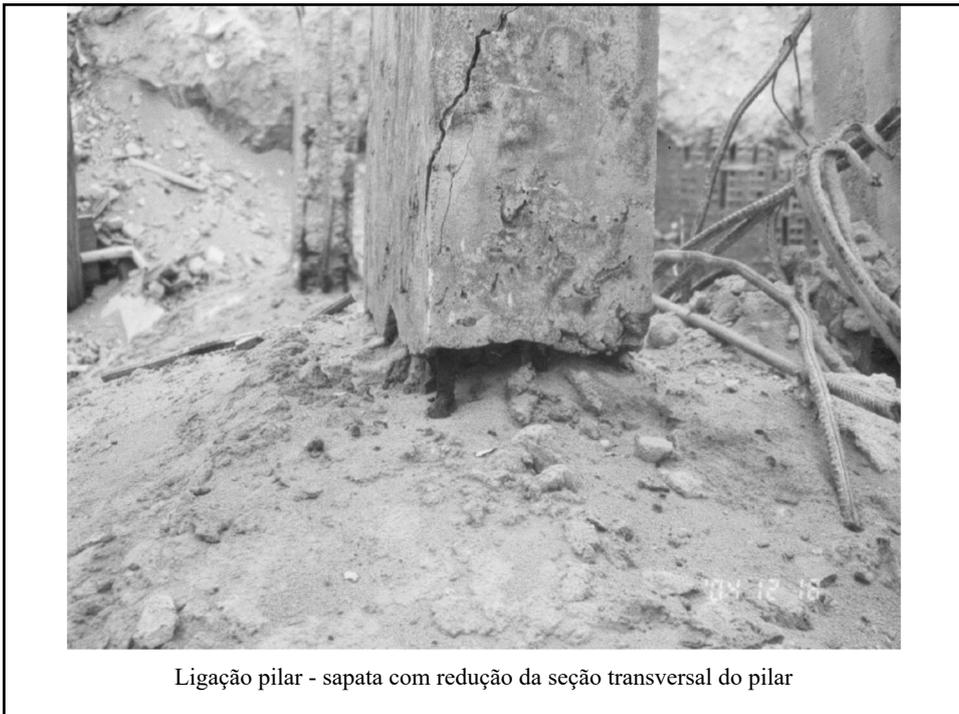
135



136



137



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

138



139

CONSTRUTOR

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

140

Edifício Emblemático
Alphaville, São Paulo
50MPa
35 andares
Comercial
ninho de concretagem

141



142



143



144



145



146



147



148



149



150

CONSTRUTOR

Não entendeu → PERGUNTA

Não achou o detalhe → COBRA

Deve estudar os projetos e
antecipar-se aos problemas!

151

CONSTRUTOR

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

152

Qual a MISSÃO do Construtor?

PhD Engenharia

153

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

154

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

155



24,0m por 31m
Vigas 9,8m de altura
apoiadas em 5 pilares
Desabou na hora do almoço

PhD Engenharia

156



PhD Engenharia

157

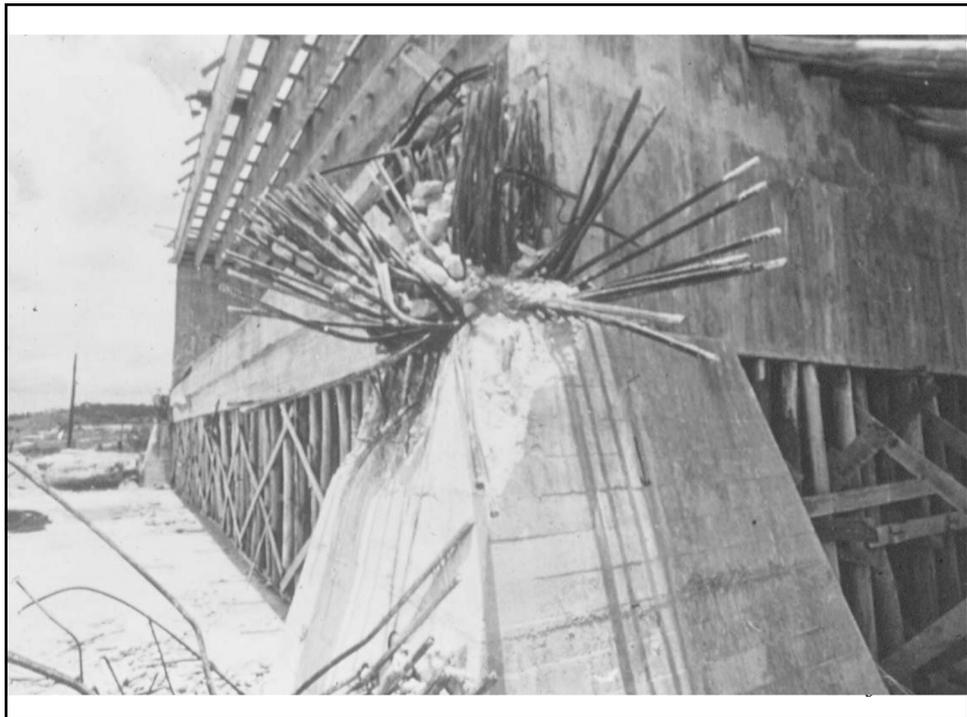


PhD Engenharia

158



159



160

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

161

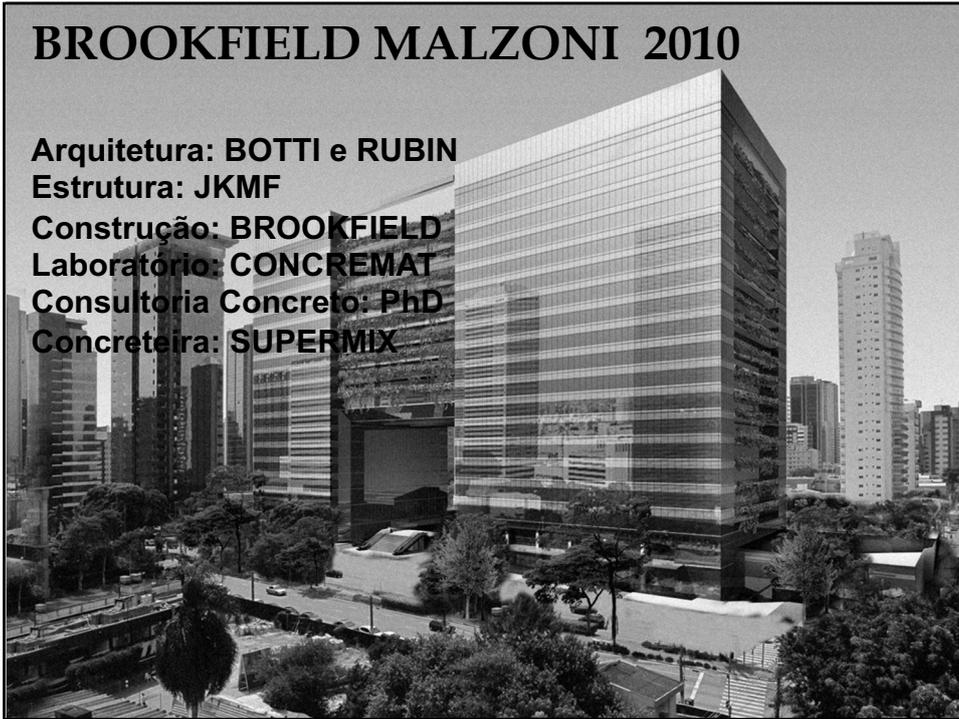
Avanços em Concreto

- **É possível não ter problemas**
 - **Necessita estudos prévios**
- **Necessita gerenciar a qualidade**
 - **Necessita ter visão sistêmica**
 - **É um trabalho de equipe**
- **Precisa conhecer e bem usar normas e documentos existentes**

162

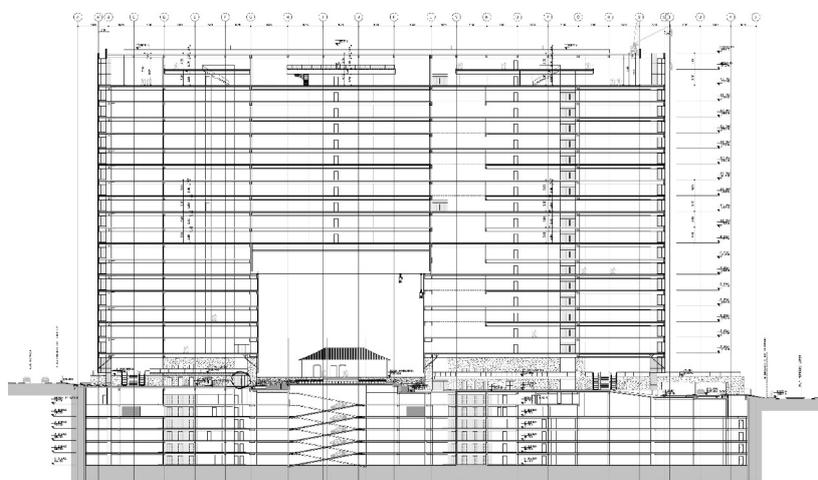
BROOKFIELD MALZONI 2010

Arquitetura: BOTTI e RUBIN
Estrutura: JKMF
Construção: BROOKFIELD
Laboratório: CONCREMAT
Consultoria Concreto: PhD
Concreteira: SUPERMIX



163

Corte longitudinal



164



165



166



167



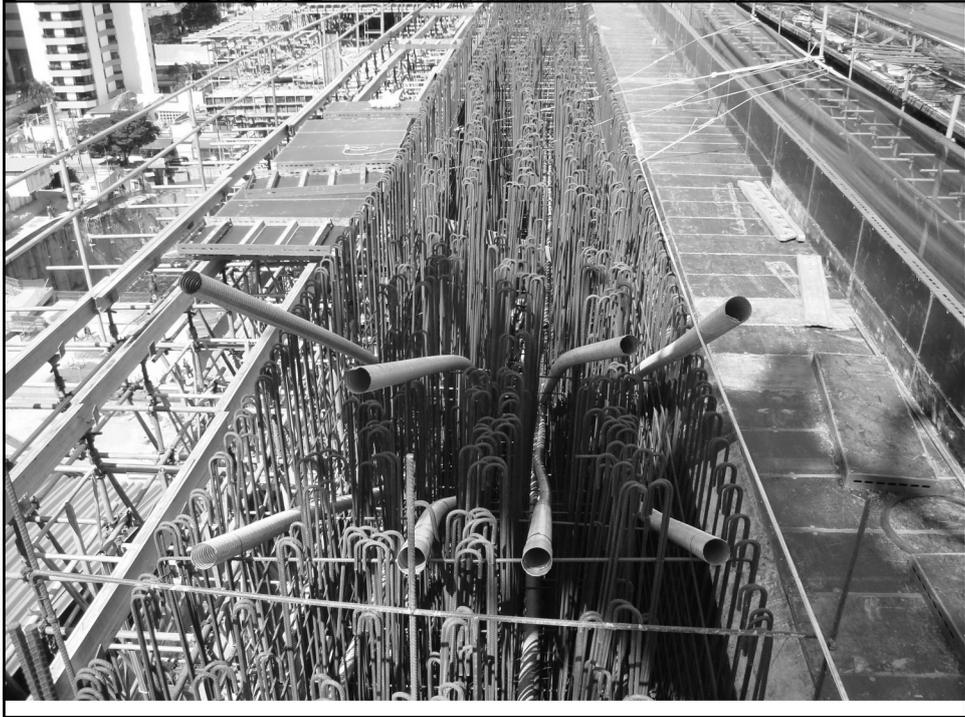
168



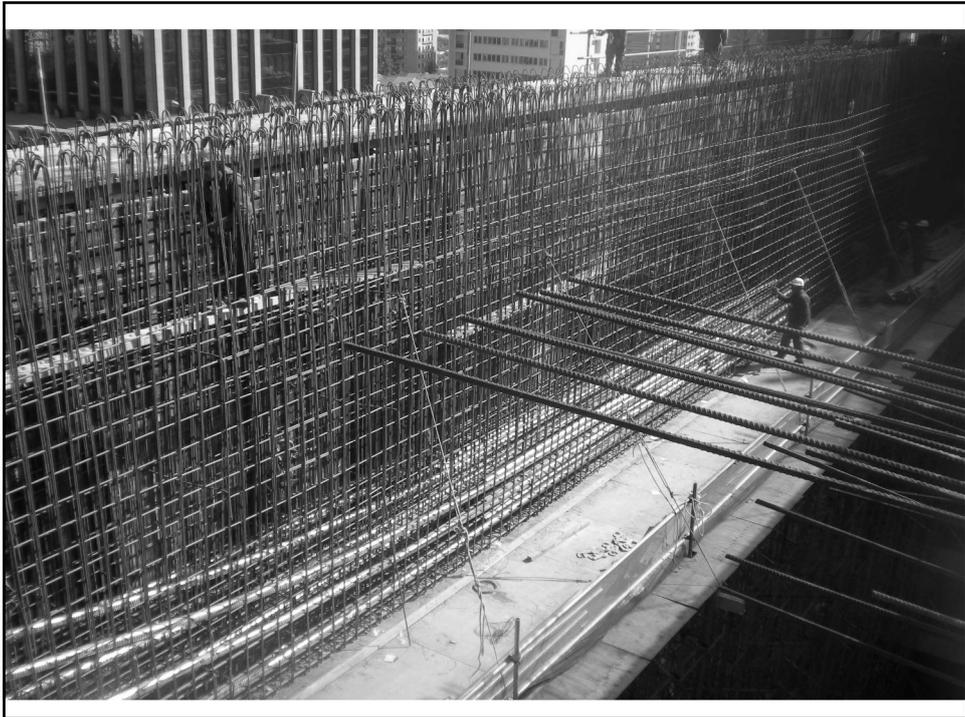
169



170



171



172



173



174



proteção contra a chuva

175

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*

dato de entrada mutável

176

176

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

177

177

Temperatura de lançamento

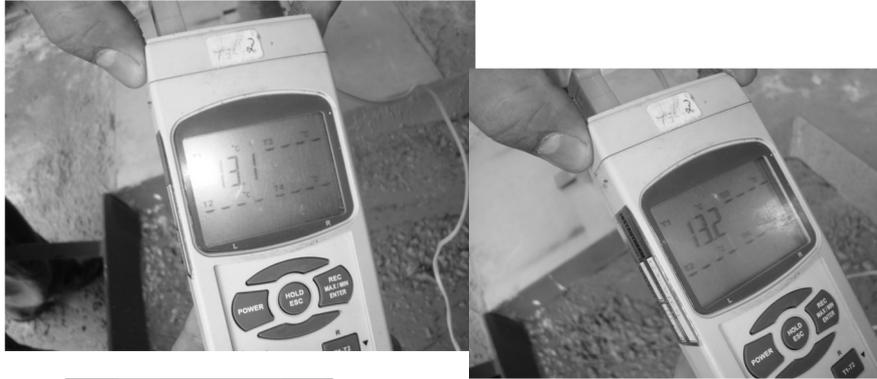
Material	Consumo kg/m³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m³.°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	Ti - Tf (°C)	Q (kcal/m³)
Cimento.CP II E-40	365	0,240	87,60	55	0	55	4818
Microsilica	29,6	0,200	5,92	40	0	40	236,8
Areia Artif.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Areia Nat.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Brita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

178

178

Temperatura de lançamento



é possível ...

179

179



*CEB-FIP
Bulletin 38, 2007*

180

180

Acabamento



181



182

Compromiso!

Do your best!

PhD Engenharia

183



184