

Curso Master Internacional em  
Patologia Avançada III



# Profilaxia do Concreto: Projeto, Controle, Conformidade



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

**Paulo Helene**

*Diretor PhD Engenharia  
Prof. Titular Universidade de São Paulo  
Diretor e Conselheiro Permanente IBRACON  
Presidente Honorífico ALCONPAT Internacional  
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design*

IEP

25 de Outubro de 2016

Curitiba/PR

1

- **Projeto**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**
- **Intervenções corretivas**

2

## **NÃO CONFORMIDADES**

*ABNT NBR 7680:2015*

*“Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto”*

3

**ABNT NBR 7680:2015**  $f_{ck,ext,j}$

**ABNT NBR 6118:2014**  $f_{ck}$

**ABNT NBR 12655:2015**  $f_{ck,est}$

**referencial de segurança**

$f_{ck}$

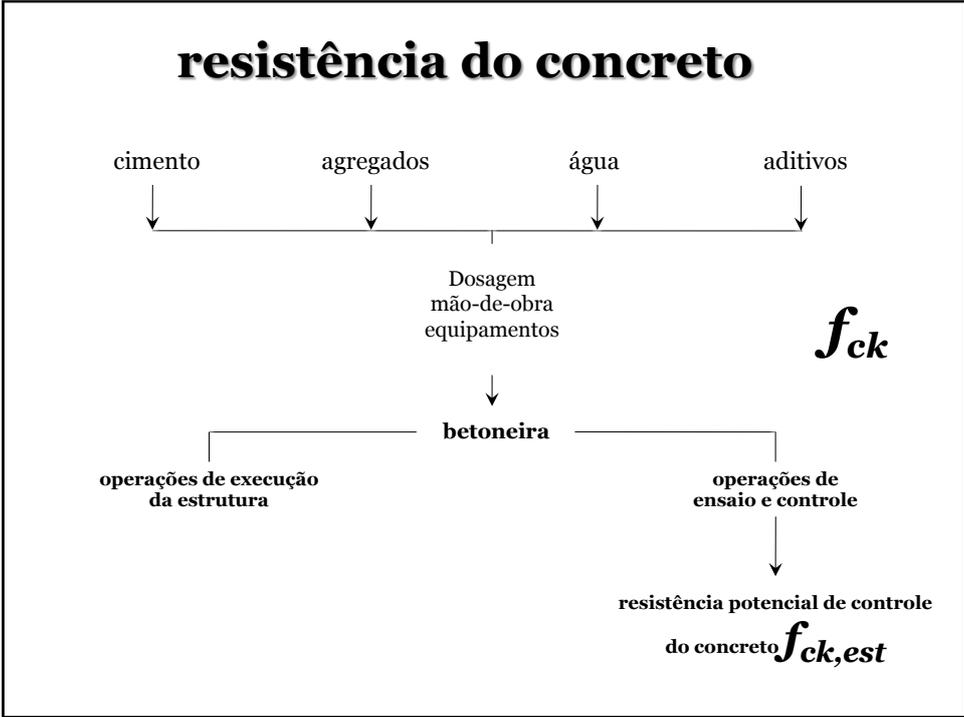
4



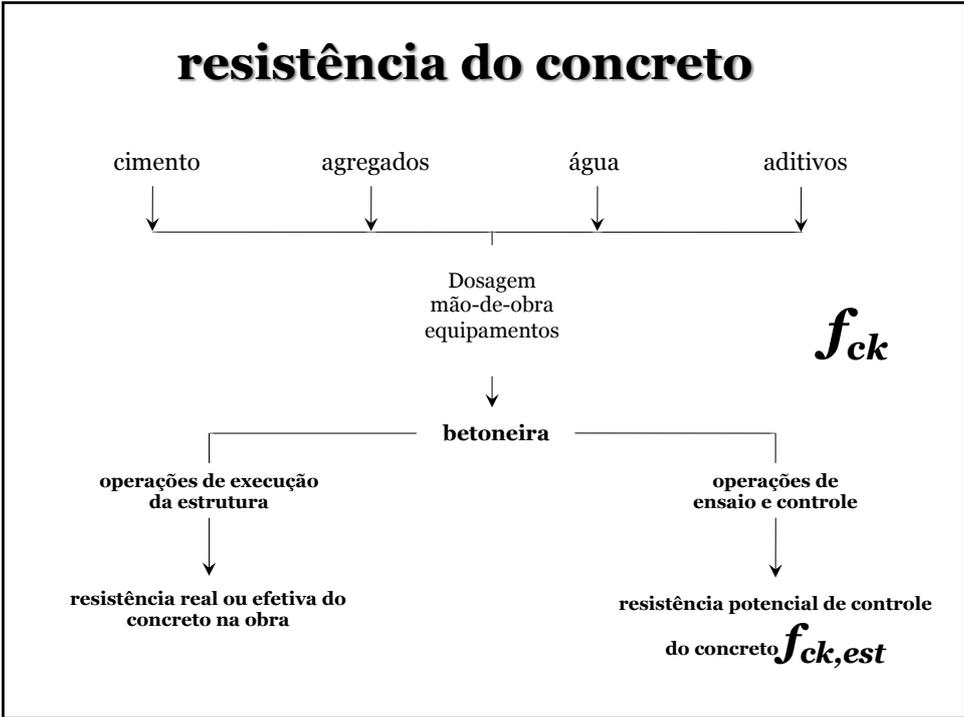
5



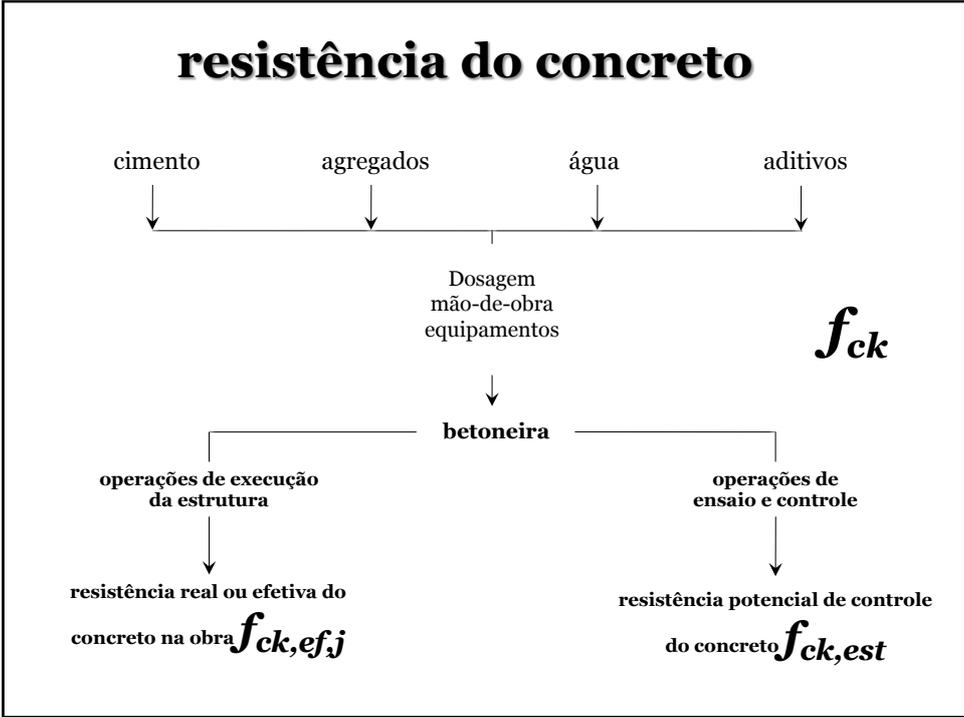
6



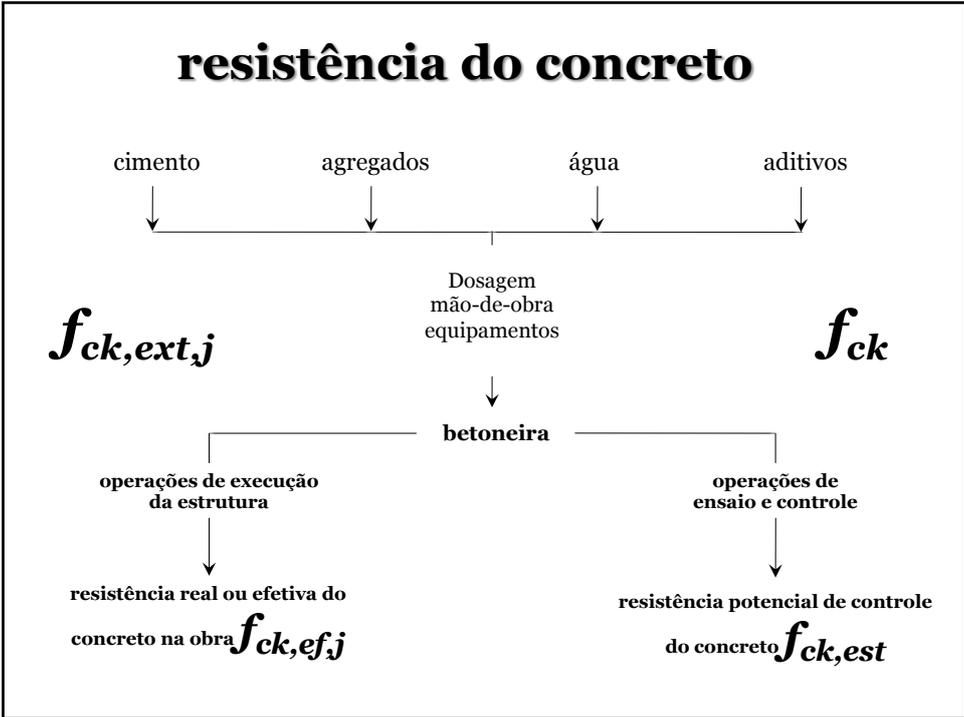
7



8



9



10

## TESE de DOUTORADO

CREMONINI, R. A. Análise de Estruturas Acabadas: Contribuição para a Determinação da Relação entre as Resistências Potencial e Efetiva do Concreto. São Paulo, EPUSP, 1994.

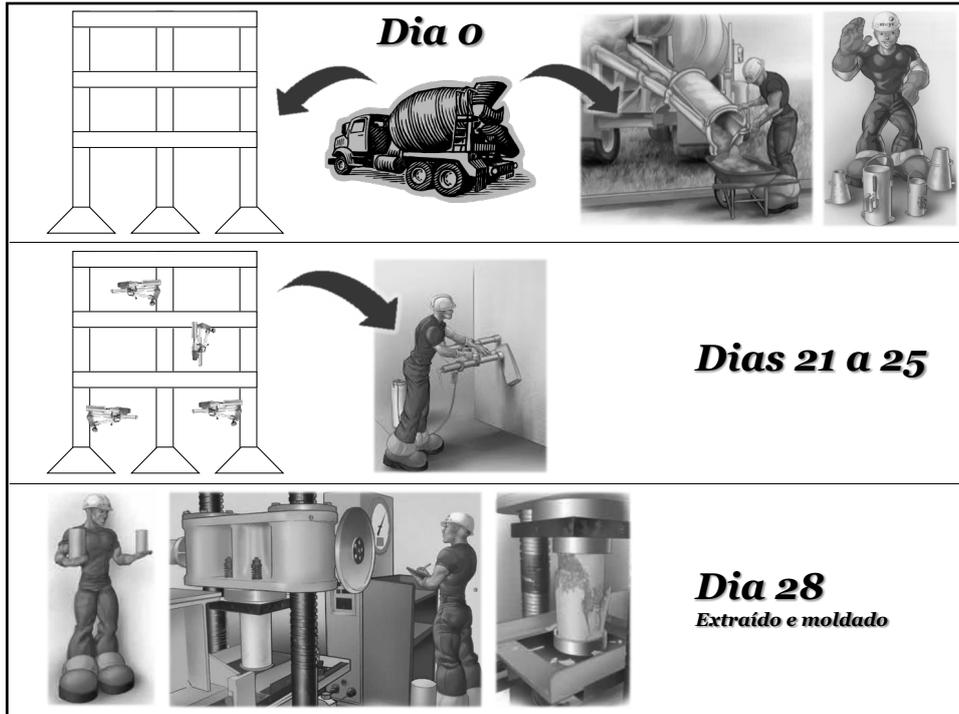
**Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS**

11

## OBJETIVO

- Comparação entre a resistência potencial e efetiva do concreto em obras convencionais de edificação em execução. Contribuição ao estudo do  $\gamma_c$ .
- **Resistência potencial** = corpos de prova cilíndricos moldados ABNT NBR 5738 / 5739 (28dias) *10cm x 20cm*
- **Resistência efetiva** = testemunhos cilíndricos extraídos conforme ABNT NBR 7680 / 5739 (28dias) *10cm x 20cm*

12



13

## Conclusões

pilares:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.24$$

lajes & (vigas)

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.20$$

14

# Preliminares

**Conceitos:**

**→ qual o objetivo de uma  
investigação com extração  
de testemunhos?**

15

# Preliminares

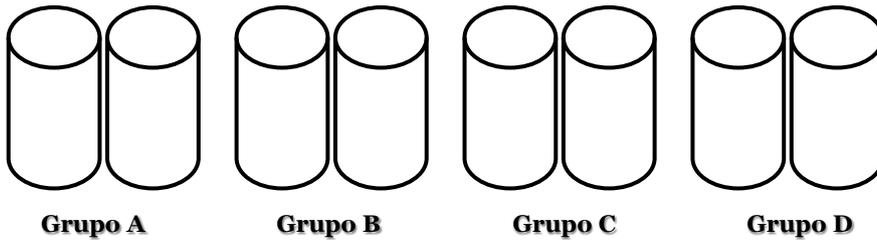
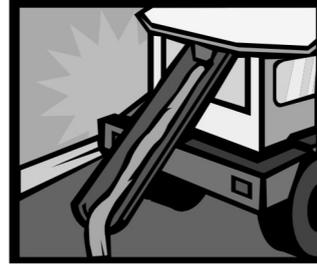
**encontrar um  $f_{ck}$  que viabilize revisar a  
segurança, ou seja, verificar a  
segurança conforme as convenções  
universais de projeto estrutural de  
ECAs**

16

## Como obter a maior resistência à compressão aos 28 dias?

Concreto de uma betonada:  
ABNT NBR 12655:2015  
ABNT NBR 5738:2015

*Moldagem de corpos de prova cilíndricos irmãos, por grupo de pesquisadores*



17

quantas resistências tem o concreto de um caminhão betoneira?

$f_{c1}$   $f_{c2}$   $f_{c3}$   $f_{c4}$   $f_{c5}$

exemplar = mais alto ( $f_{ck,est}$ )

$f_{ck,est} = 48,7\text{MPa}$

*“potencial do concreto”*

18

quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

$$f_{c1} \quad f_{c2} \quad f_{c3} \quad f_{c4} \quad f_{c5}$$

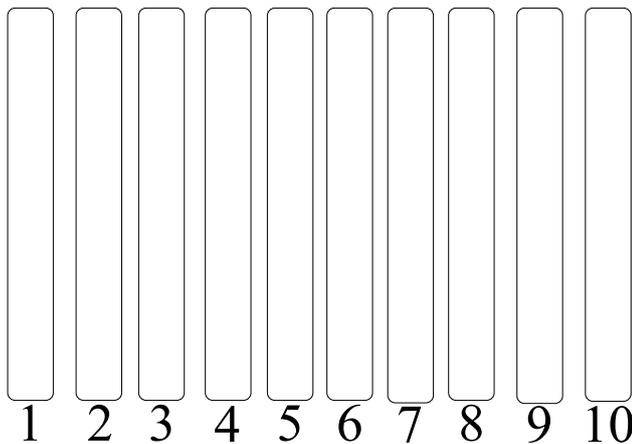
exemplar = mais alto ( $f_{ck,est}$ )

$$f_{ck,est} = 48,7\text{MPa}$$

$$f_{ck} = 45\text{MPa}$$

19

com esse concreto foram construídos 10 pilares.  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?



$$f_{ck}$$
$$45\text{MPa}$$

20

**“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

21



22



23

“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

$f_{ck}$   
**45MPa**

24

“exsudação”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

$f_{ck}$   
**45MPa**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

25

qual a resistência do concreto nos pilares que  
estão mais próximas da resistência de controle  
(moldado)  $f_{ck,est}$ ?

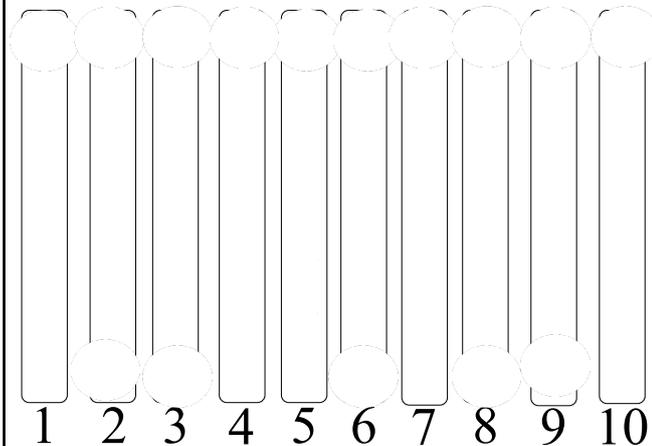
$f_{ck}$   
**45MPa**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

26

qual a resistência do concreto nos pilares que estão mais próximas da resistência de controle

(moldado)  $f_{ck,est}$ ?

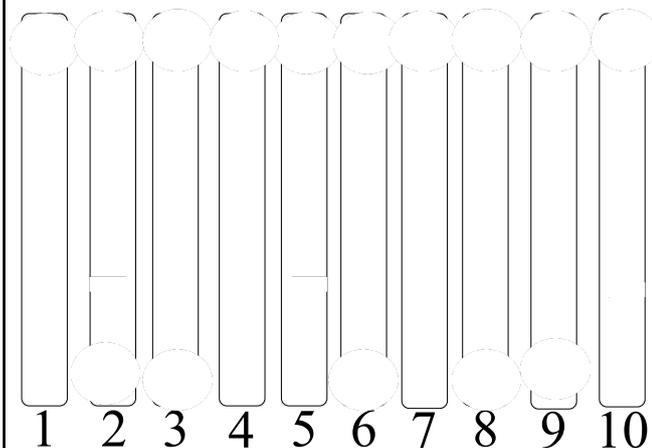


**terço inferior**

27

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$ ?



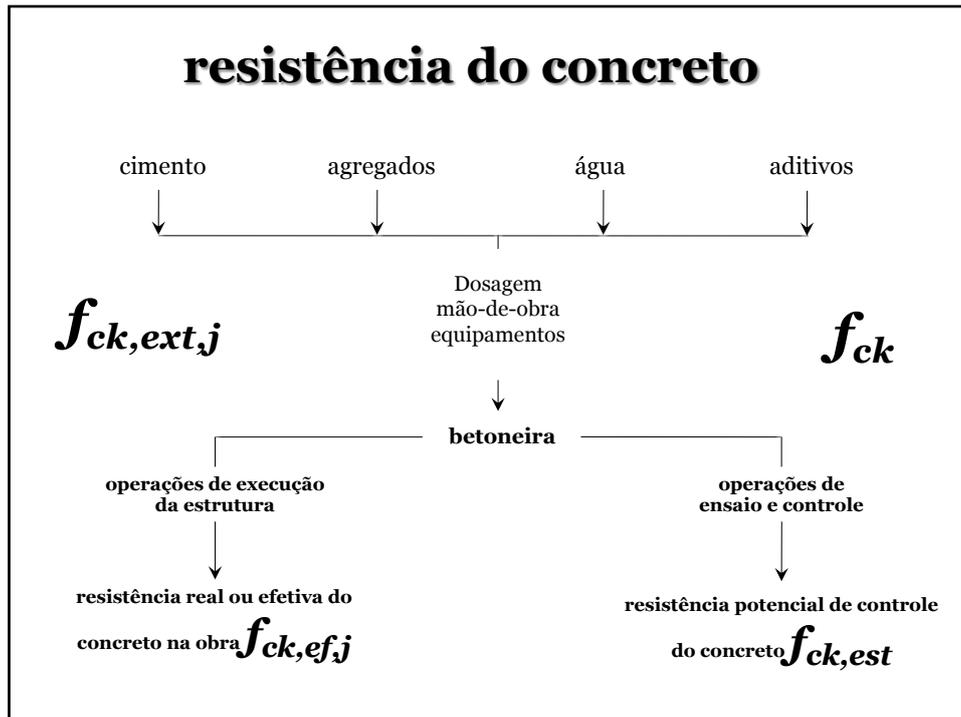
**terço inferior**

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

28



29

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2015. 520p.**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection.*

Item 26.12.4 Investigation of low strength-test results:  
 (d) Concrete in an area represented by core tests shall be considered structurally adequate if (1) and (2) are satisfied:

$$(1) \quad \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3}}{3} \geq 0.85 * f_{ck}$$

*(corresponde a  $f_{ck} = 1,18 * f_{ext,m}$  ou  $f_{ck} = 1,33 * f_{ext,min}$ )*

$$(2) \quad f_{ci} \geq 0.75 * f_{ck}$$

*R26.12.4.1(d) An average core strength of 85 percent of the specified strength is realistic. It is not realistic, however, to expect the average core strength to be equal to  $f_{ck}$ , because of differences in the size of specimens, conditions of obtaining specimens, degree of consolidation, and curing conditions....*

30

## Problema

Qual o  $f_{ck}$  a ser adotado para  
revisão da segurança  
estrutural, uma vez conhecido  
o  $f_{c,ext,j}$  a qualquer idade  $j$ ?

31

## ABNT NBR 7680:2015

$$f_{ck,est,j} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$  = resistência à compressão  
característica do concreto equivalente  
à obtida de corpos de prova moldados, a  $j$   
dias de idade;

32

## **Coeficientes de correção**

### **ABNT NBR 7680:2015**

$k_1$  = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação h/d → varia de 0,00 a -0,14;

$k_2$  = correção devida ao efeito de broqueamento em função do diâmetro do testemunho → varia de 0,12 a 0,04;

$k_3$  = ...

$k_4$  = ...

33

## **TESE de DOUTORADO**

**VIEIRA Filho, J. O. Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto através de Testemunhos Extraídos: Contribuição à Estimativa do Coeficiente de Correção devido aos Efeitos do Broqueamento. São Paulo, EPUSP, 2007.**

**José Orlando Vieira Filho. Prof. Titular UNICAP**

34

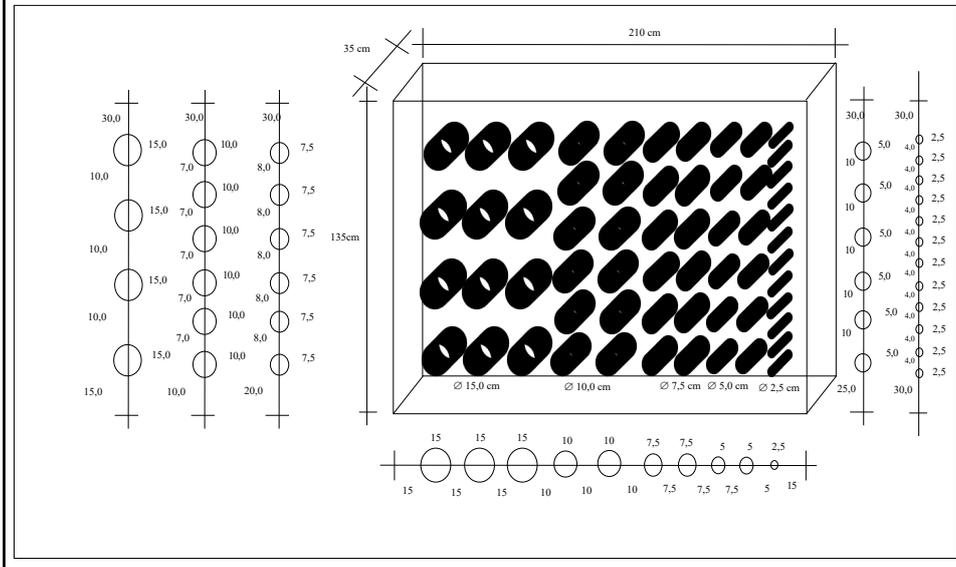


35



36

## BLOCO TIPO (210x135x35)cm



37



**Parede/bloco perfurada**

38

## Conclusão

Média geral:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.07$$

39

## Coefficientes de correção ABNT NBR 7680:2015

$k_1$  = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação h/d → varia de 0,00 a -0,14;

$k_2$  = correção devida ao efeito de broqueamento em função do diâmetro do testemunho → varia de 0,12 a 0,04;

$k_3$  = correção em função da direção da extração em relação ao lançamento do concreto → varia de 0 a 0,05;

$k_4$  = correção em função da umidade do testemunho → varia de 0 a -0,04.

*adensamento e cura*

40

## **Cálculos ABNT NBR 7680:2015**

$$f_{ck,est,j} = 0,86 \text{ a } 1,17 * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$  = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a  $j$  dias de idade;

41

**Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja, transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

*SIM*

*NÃO*

*verificar a  
segurança com o  
novo  $f_{ck}$*

*voltar a 28dias !*

*ACI, Eurocode*

*verificar a  
segurança com o  
novo  $f_{ck}$*

*ABNT NBR  
6118:2014*

*ABNT NBR  
6118:2014*

42

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2015, 520p.**

*Chapter 26. Construction Documents and Inspection.*

**R26.12.4.1(d)** An average core strength of 85 percent

of the specified strength, based on the curing conditions, and curing conditions. The acceptance criteria for core strengths have been established with consideration that cores for investigating low strength-test results will typically be extracted at an age later than specified for  $f'_c$ . For the purpose of satisfying 26.12.4.1(d), this Code does not intend that core strengths be adjusted for the age of the cores.

43

**Considerações** *(Comunidades TQS e Bahia)*

1. Crescimento vale para CP relaxado na câmara úmida, sem carga, temperatura ideal de 23°C, UR de 100%;
2. Crescimento depende muito do tipo de cimento e das adições;
3. Crescimento depende muito da relação a/c;
4. Crescimento depende da cura, do adensamento, da temperatura, da UR, do sazonalamento, ...

44

# **Incertezas ...**

## **Desconhecimentos ...**

45

**Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja, transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

*SIM*

*NÃO*

*verificar a  
segurança com o  
novo  $f_{ck}$*

*voltar a 28 dias !*

*ACI, Eurocode*

*verificar a  
segurança com o  
novo  $f_{ck}$*

*ABNT NBR  
6118:2014*

*ABNT NBR  
6118:2014*

46

Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja,

**transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

NÃO

voltar a 28dias !

**COMO ???**

47

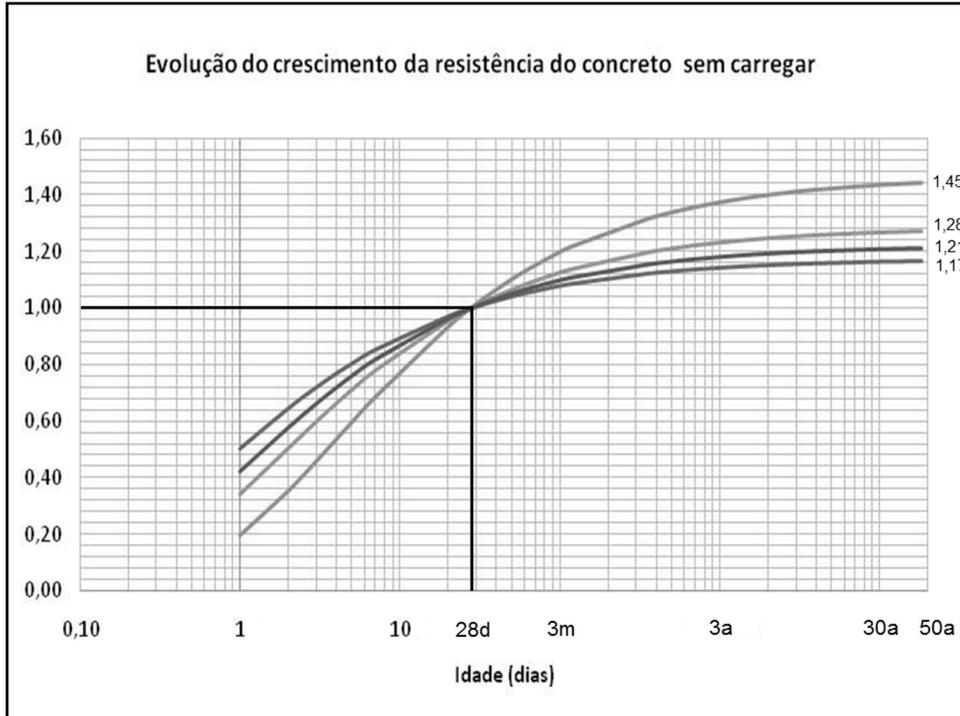
onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Crescimento da Resistência

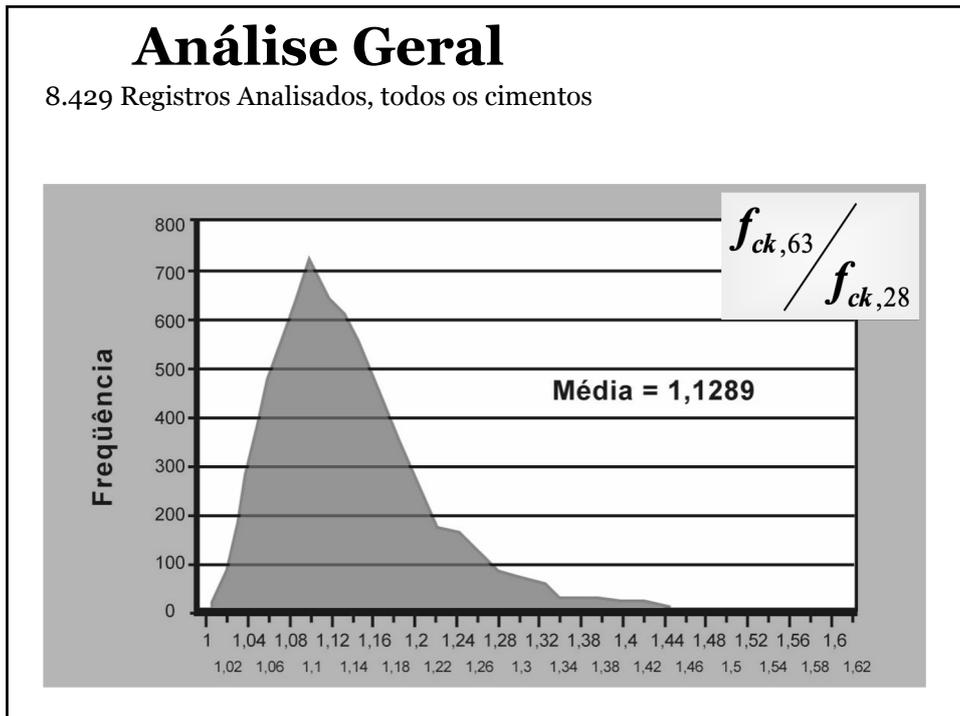
$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{s \cdot (1 - \sqrt{\frac{28}{j}})}$$

CPV ARI	$s = 0,20$	1,21 → 50anos	1,15 → 1ano	1,05 de 1ano a 50anos
CP I / II	$s = 0,25$	1,28 → 50anos	1,20 → 1ano	1,07 de 1ano a 50anos
CP III / IV	$s = 0,38$	1,45 → 50anos	1,32 → 1ano	1,10 de 1ano a 50anos
NBR 6118	$s = 0,16$	1,17 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

48



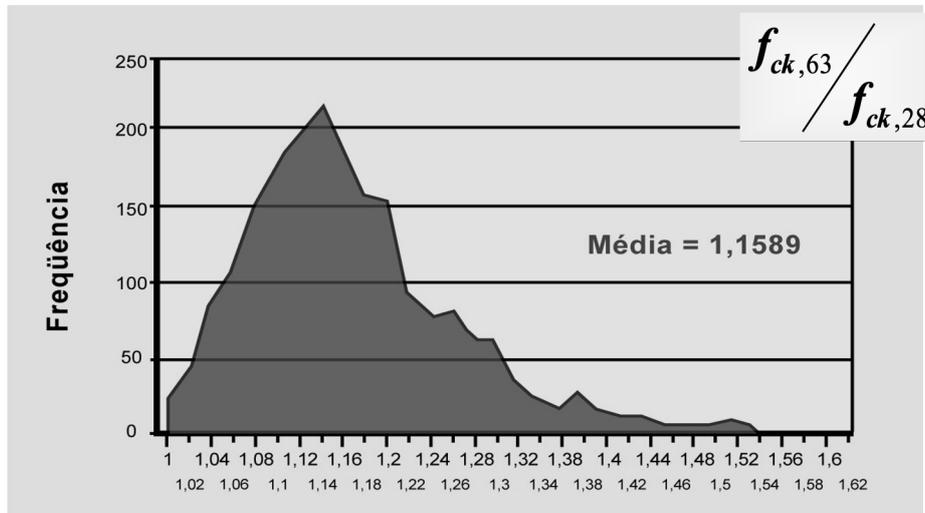
49



50

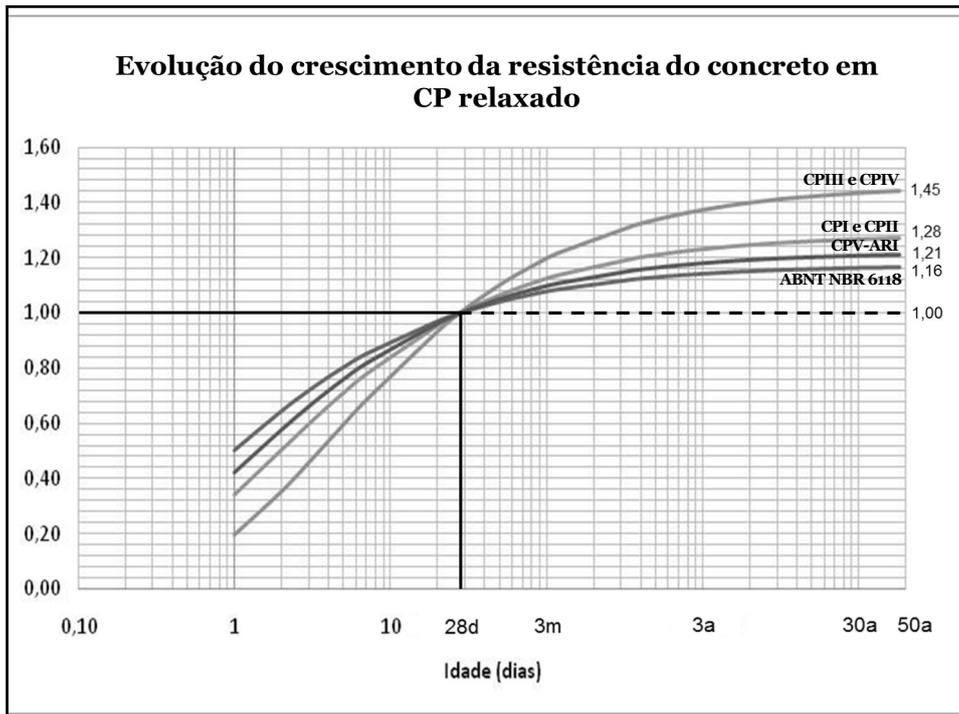
# Análise

2.046 Registros Analisados, CP III



51

## Evolução do crescimento da resistência do concreto em CP relaxado



52

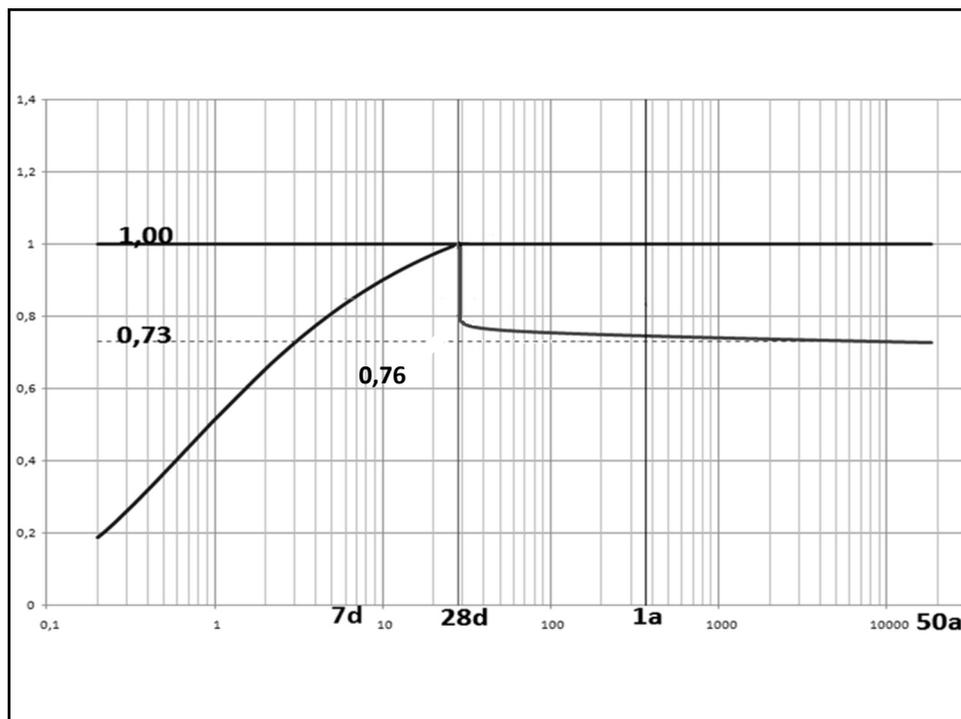
## Decréscimo da Resistência (efeito Rüschi)

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]}$$

→  $j$  em dias

→  $j - 28 > 15$  minutos

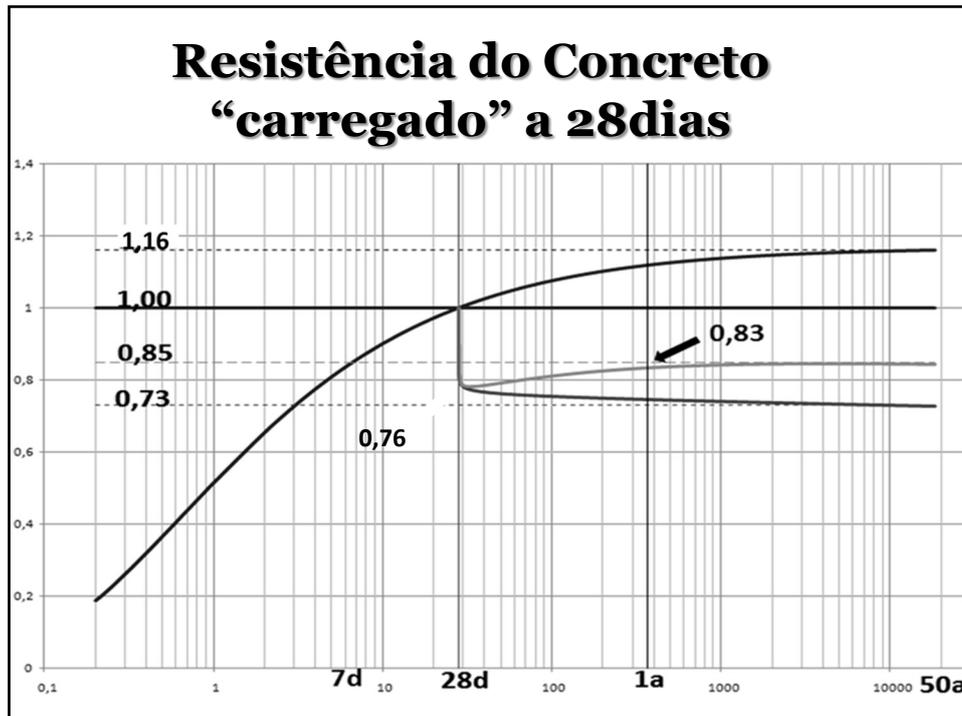
53



54

# Combinando crescimento com decréscimo a partir de 28dias ?

55



56

### **Considerações** *(Comunidades TQS e Bahia)*

1. Qual a carga que realmente começa a reduzir a resistência?
2. Modelo para uma condição idealizada de laboratório?
3. Qual a história efetiva de carregamento?
4. Teria influência a cura, adensamento, temperatura, UR, cargas cíclicas, carbonatação,...

57

## **Incertezas ...**

## **Desconhecimentos ...**

58

## Problema

$$f_{ck,est,j} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est}$  = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a  $j$  dias de idade;

59

onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Retorno a 28 dias

$$k_5 = \left\{ e^{0.16 \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right)} \right\}^{-1}$$

$$k_6 = \left\{ 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]} \right\}^{-1}$$

60

- **Projeto**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**
- **Intervenções corretivas**

61



# **Hotel**

# **Marrinat**

---

## ***residence***

## ***São Paulo***

62



63



64

## **Hotel Marrinat**

**São Paulo → 2001**

**building in construction       $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$**

**actual  $f_{ck}$  (cores analysis) = 21 MPa**

**big concern → 4 floors in construction  
over this 3<sup>rd</sup> underground floor  
parking floor**

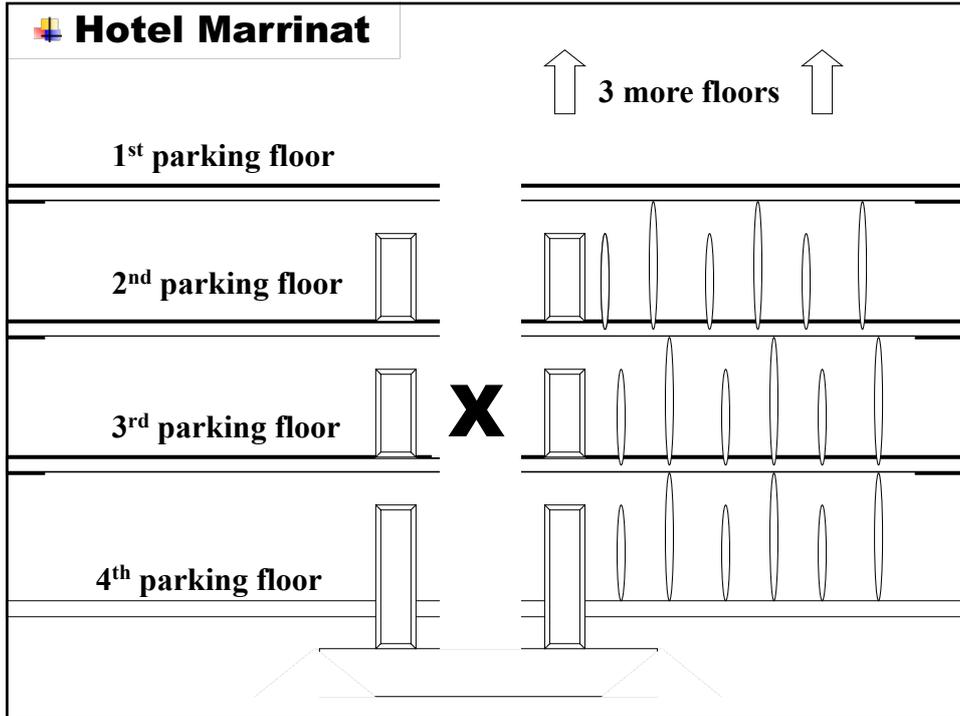
65

## **Hotel Marrinat**

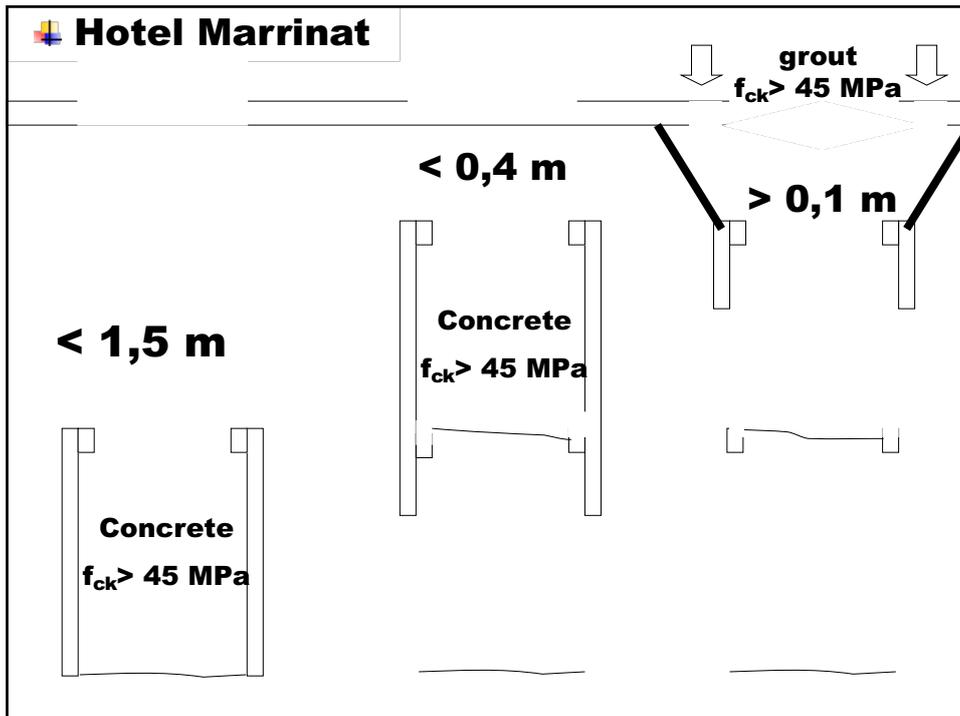
**Solution:**

- demolish 14 columns, about  $16 \text{ m}^3$** 
  - false work slabs and beams**
- 4<sup>th</sup>, 3<sup>rd</sup> and 2<sup>nd</sup> underground floors**
- transfer these columns to metallic temporary columns**
- new foundation, enlarger the actual direct blocs**
- reconstruct the concrete columns**

66



67



68



69



70



71



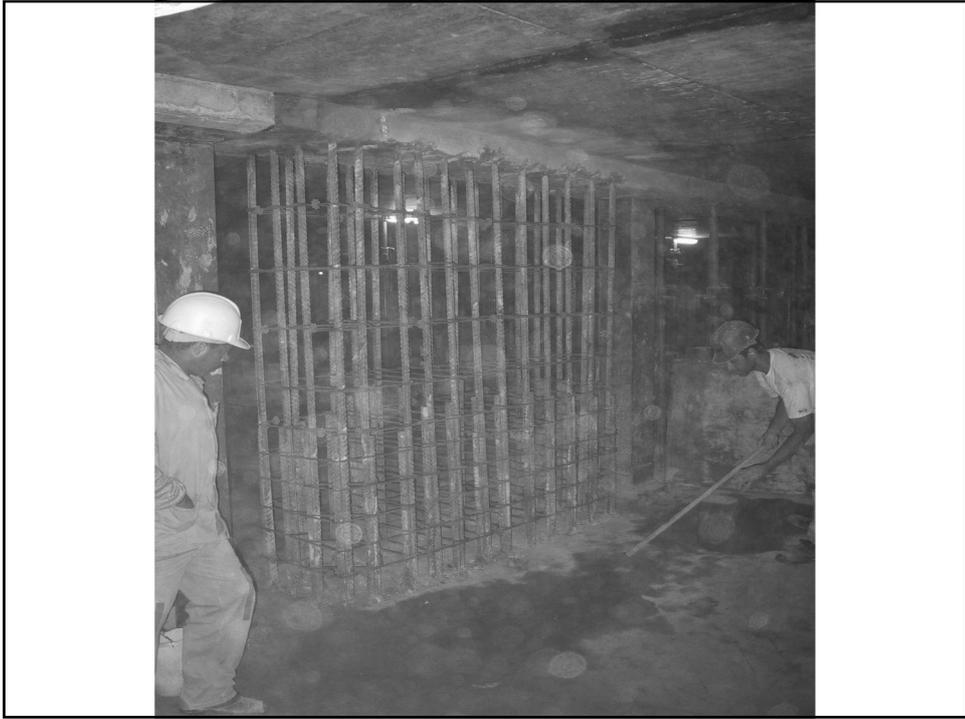
72



73



74



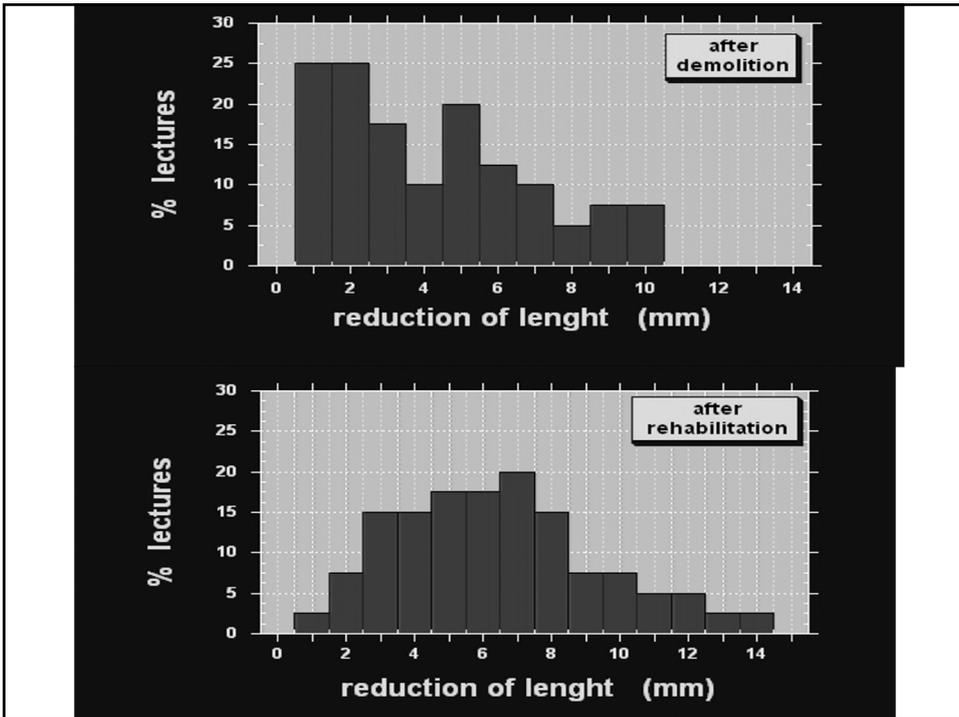
75



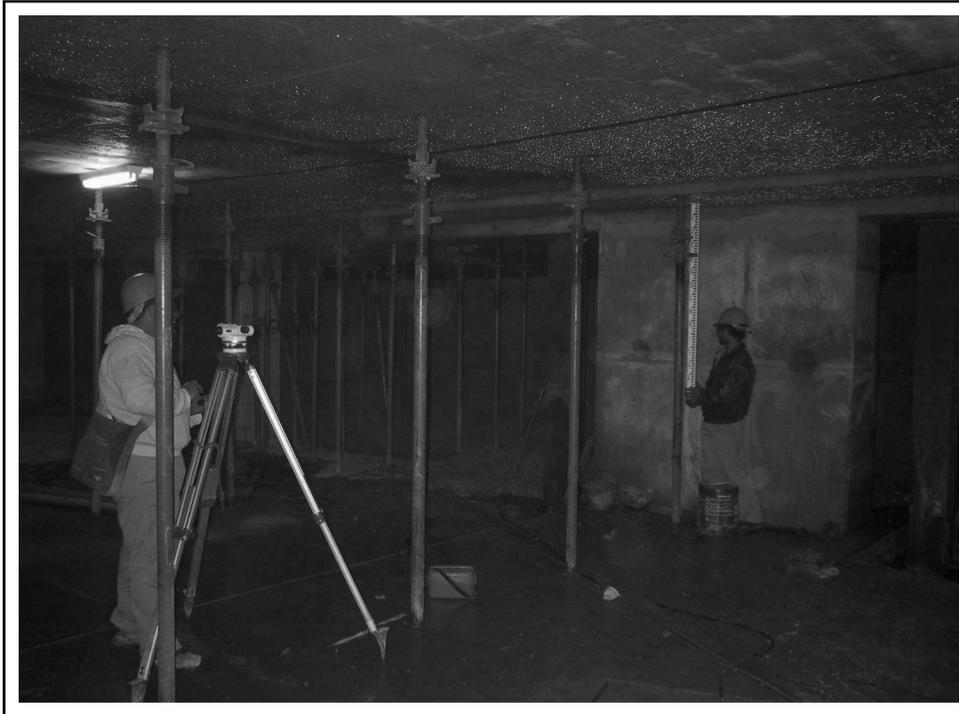
76



77



78



79



80



81

 **Rome**  
**Park Hotel**  
*flat residence*  
*Alphaville SP*

82



83



84

## Rome Park Hotel

**Alphaville SP → 2001**

**building in construction       $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$**

**actual  $f_{ck}$  (cores analysis) = 19 MPa**

**big concern → 7 floors in construction  
over this basement floor**

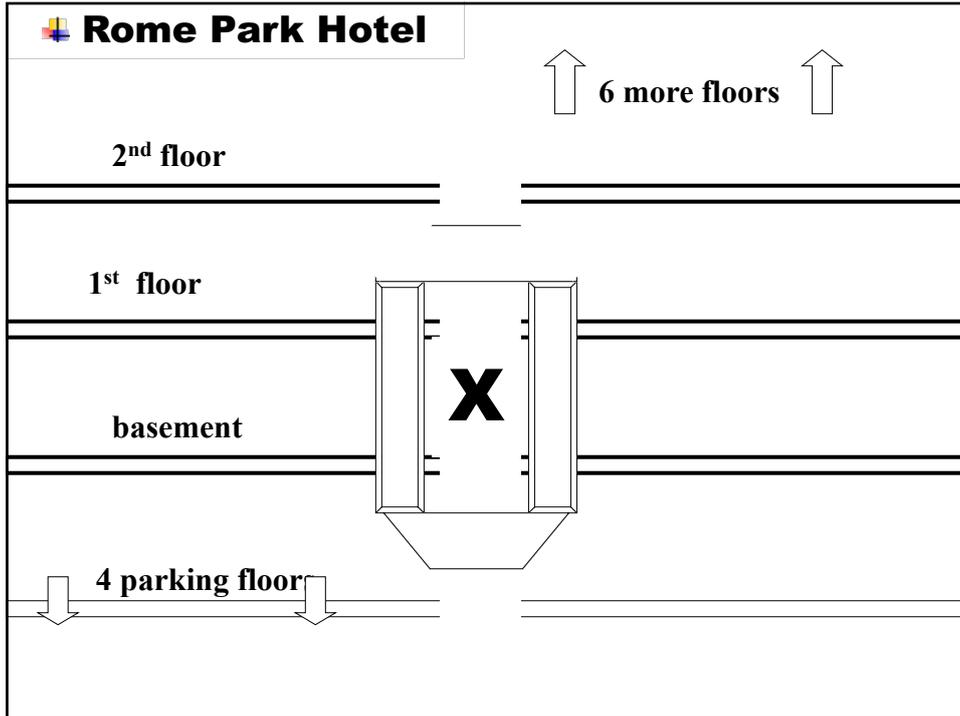
85

## Rome Park Hotel

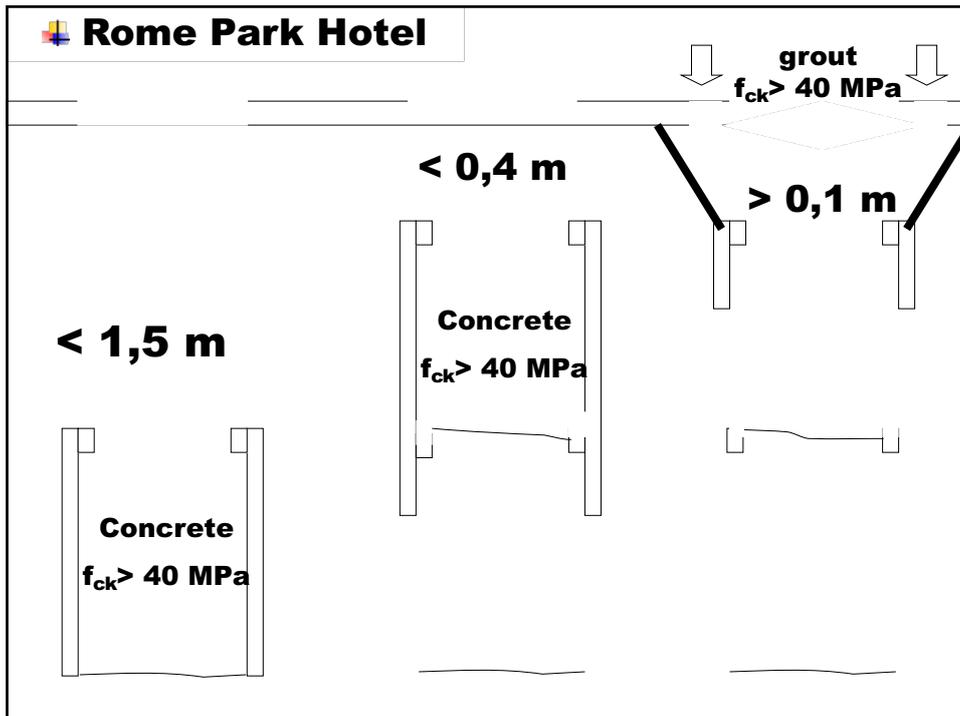
**Solution:**

- demolish 7 columns, about 7 m<sup>3</sup>**
- *false work slabs and beams (no)***
- *new foundations (no)***
- transfer these columns to metallic  
temporary columns**
- reconstruct the concrete columns**

86



87



88



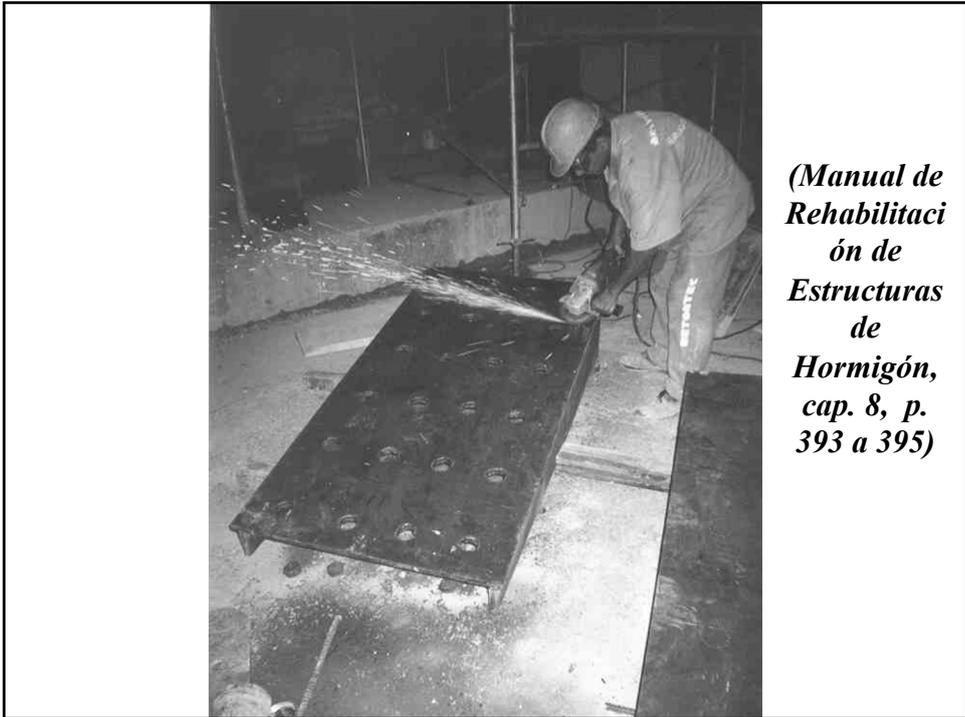
89



90



91



*(Manual de  
Rehabilitaci  
ón de  
Estructuras  
de  
Hormigón,  
cap. 8, p.  
393 a 395)*

92



93



94



95



96



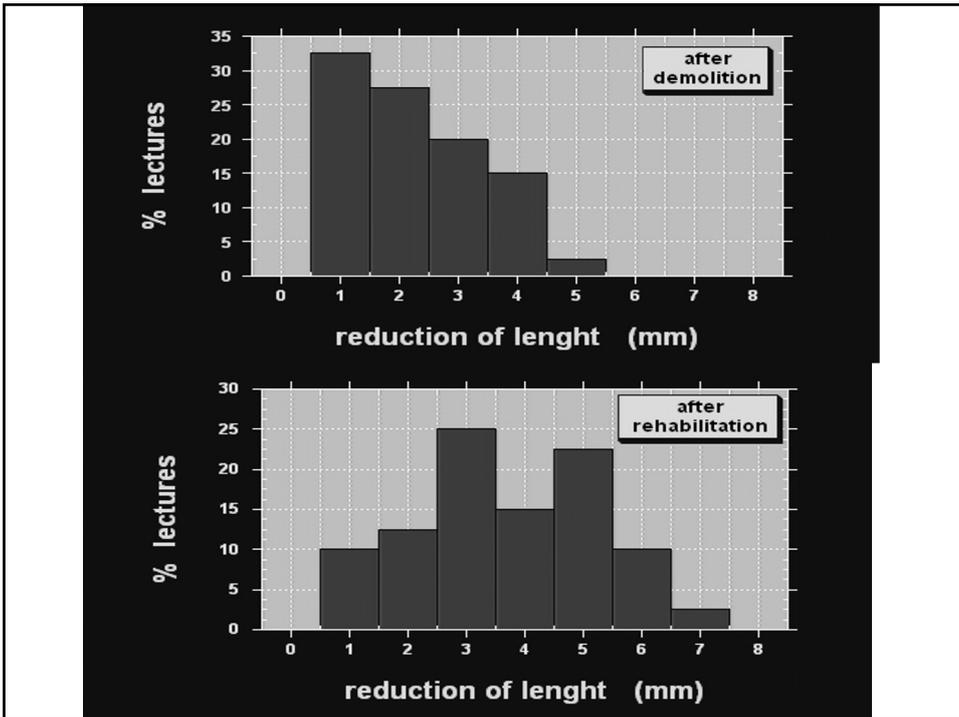
97



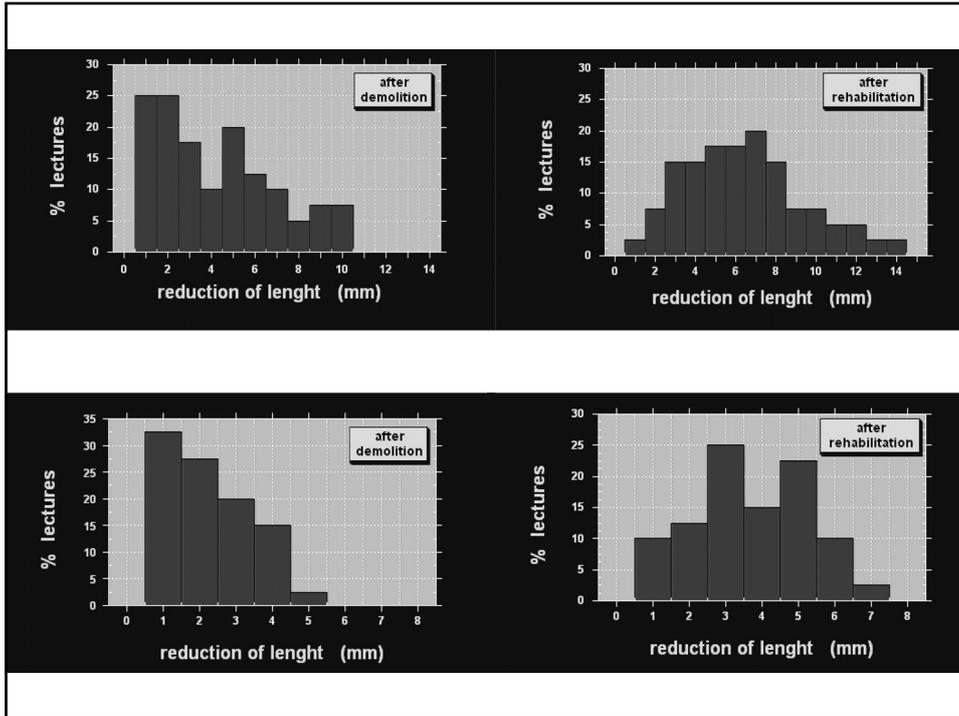
98



99



100



101



102



103



104



105



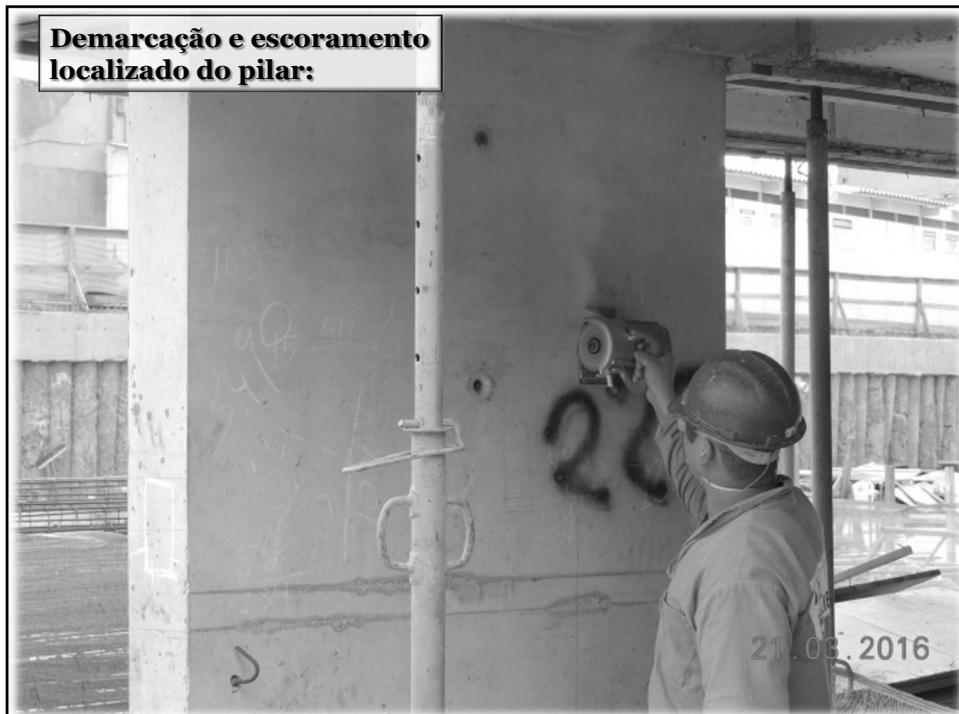
106

## **Exemplo de técnica de reforço por substituição do concreto por um mais resistente**

**Sequência executiva do reforço:**

- **Escoramento no andar localizado e demarcação dos trechos a serem demolidos;**
- **Demolição do primeiro trecho (Etapa 1);**
- **Montagem das formas providas de cachimbo;**
- **Concretagem do primeiro trecho com material indicado em projeto;**
- **Repetição do mesmo ciclo para a Etapa 2.**

107



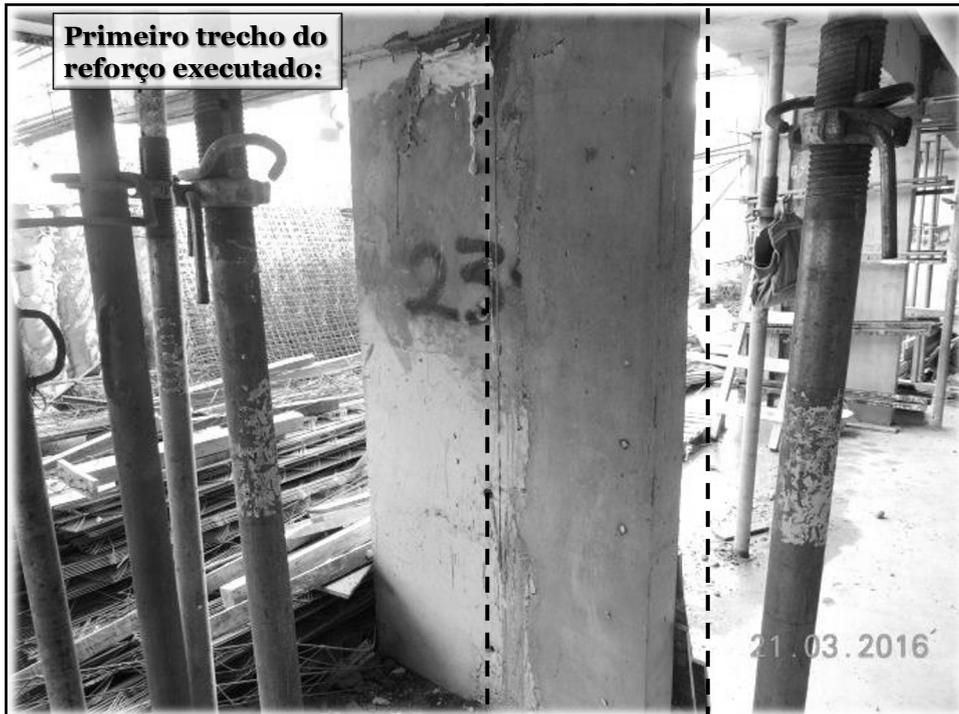
108

**Demolição do primeiro trecho do reforço:**



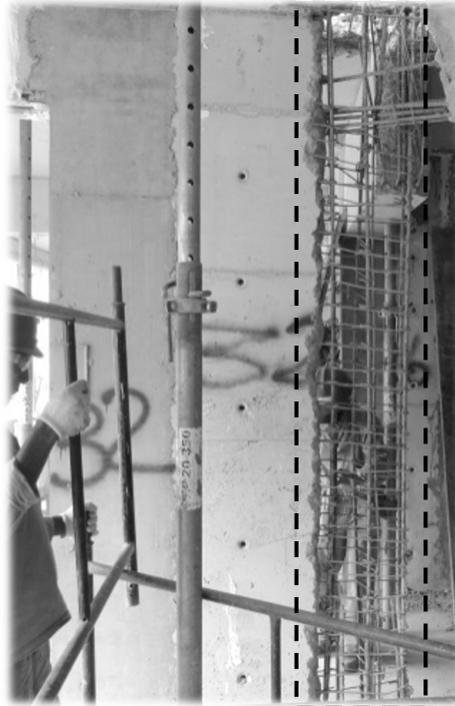
109

**Primeiro trecho do reforço executado:**



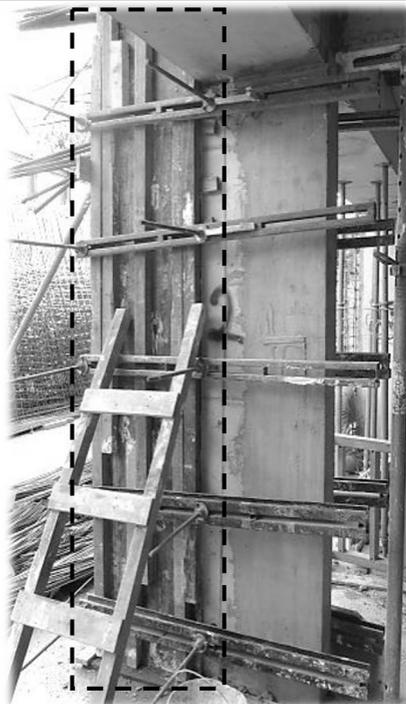
110

**Demolição do segundo  
trecho do reforço:**



111

**Concretagem do  
segundo trecho do  
reforço:**



112

**Pilar finalizado com extremidades reforçadas e núcleo mantido:**

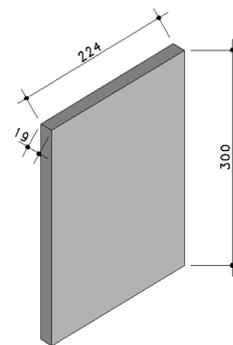


113

### **Exemplo de técnica de reforço por substituição do concreto por um mais resistente**

**Dados:**

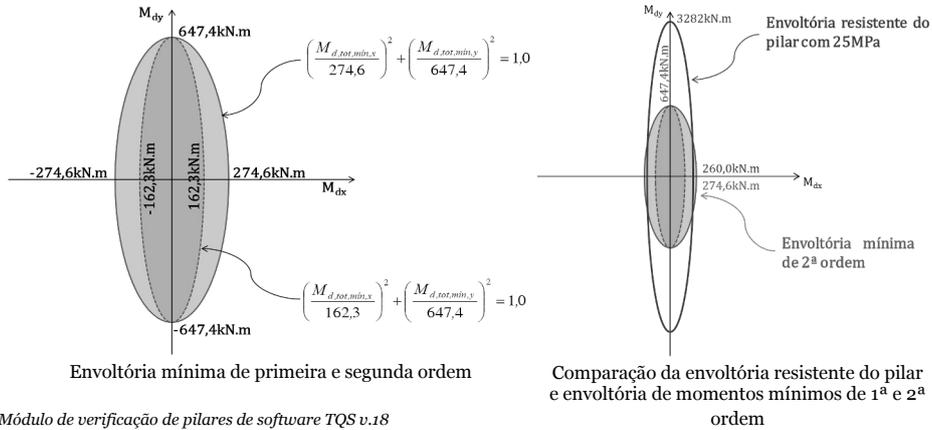
- **Pilar parede hipotético, com problema de concreto não conforme e com necessidade de reforço;**
- $N_d$ : 7876kN;
- $M_{d,x,topo}$ : 95,0kN·m;
- $M_{d,x,base}$ : 2,0kN·m;
- $M_{d,y,topo}$ : 1159,6kN·m;
- $M_{d,y,base}$ : 1050,5kN·m;
- $f_{ck} = 35\text{MPa}$ ;
- $f_{ck,ext}$ : 25MPa (mesmo depois de corrigido conforme a ABNT NBR 7680-1:2015);
- **armadura longitudinal efetiva: 30 Ø 25mm;**
- **cobrimento nominal: 2,5cm.**



114

## Exemplo de técnica de reforço por substituição do concreto por um mais resistente

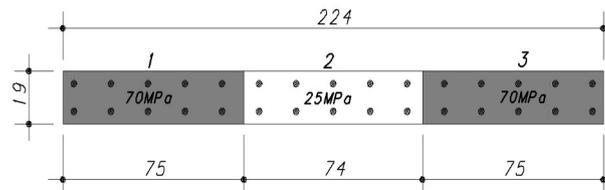
### Verificação dos efeitos locais do elemento: envoltória mínima de segunda ordem não é atendida



115

## Exemplo de técnica de reforço por substituição do concreto por um mais resistente

Adotando uma configuração de lâminas com área de concreto substituída equivalente a cerca de 2/3 do pilar (com  $3h \leq a_i \leq 100$ ), procede-se com nova verificação dos efeitos de 2ª ordem, mantendo o núcleo central com o concreto original de 25MPa.

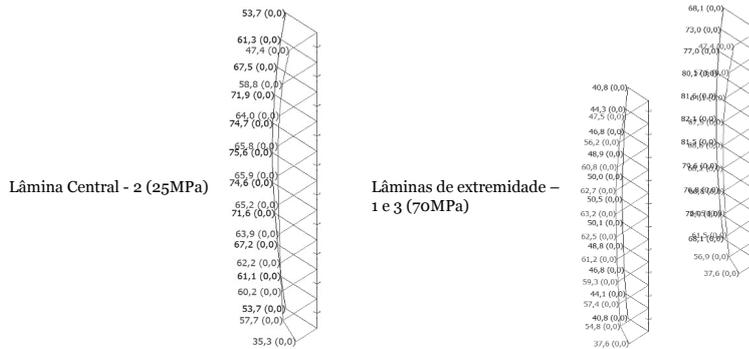


Esforços solicitantes por faixa:	
<b>Faixas 1 e 3</b>	<b>Faixa 2</b>
$N_{d,faixa} = 3289\text{kN}$	$N_{d,faixa} = 2595\text{kN}$
$M_{dx,faixa} = 31,8\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{dx,faixa} = 31,4\text{kN}\cdot\text{m}$

116

## Exemplo de técnica de reforço por substituição do concreto por um mais resistente

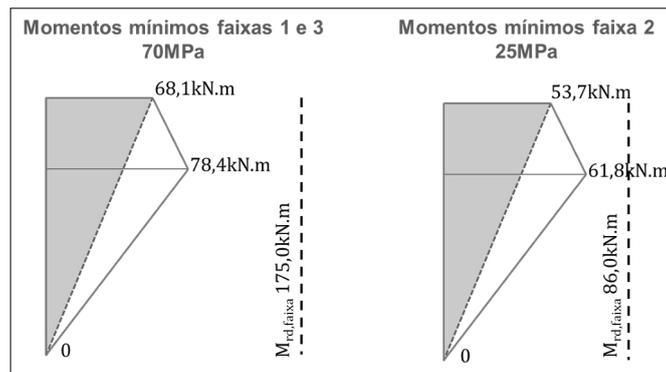
Desta forma, a lâmina central (2), verificada com  $f_{ck}$  de 25MPa, se mostra adequada a verificação dos efeitos localizados, assim como as lâminas de extremidade possuem envoltórias adequadas aos esforços solicitantes e aos momentos mínimos de 1ª e 2ª ordens.



117

## Exemplo de técnica de reforço por substituição do concreto por um mais resistente

Com duas extremidades tendo  $f_{ck}$  70MPa e núcleo com  $f_{ck}$  25MPa, são satisfeitas todas as verificações da ABNT NBR 6118:2014 para pilares parede, inclusive a nova envoltória de momentos mínimos.



118

## **Conformidade do Concreto**

***Consultores, Projetistas,  
Controladores, Gerenciadores,  
Construtores, Fiscais***

***Falta de ética  
Atuação venal  
Mezquinhez  
Avareza  
Corrupção  
Onipotência  
Ignorância  
(omissão e despreparo)***

119

## **Conformidade do Concreto**

***Consultores, Projetistas, Controladores,  
Gerenciadores, Construtores, Fiscais***

***Falta de ética  
Atuação venal  
Mezquinhez  
Avareza  
Corrupção  
Onipotência  
Ignorância  
(omissão e despreparo)***

***“não há tecnologia  
que resolva...”***

120

# OBRIGADO !



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

**[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)**

**11-2501-4822 / 23**

**11-95045-5408**