



Regional RJ



Segurança das Estruturas. Controle de Aceitação da Resistência à Compressão do Concreto.

Comparativo normas ABNT, ACI e EN



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

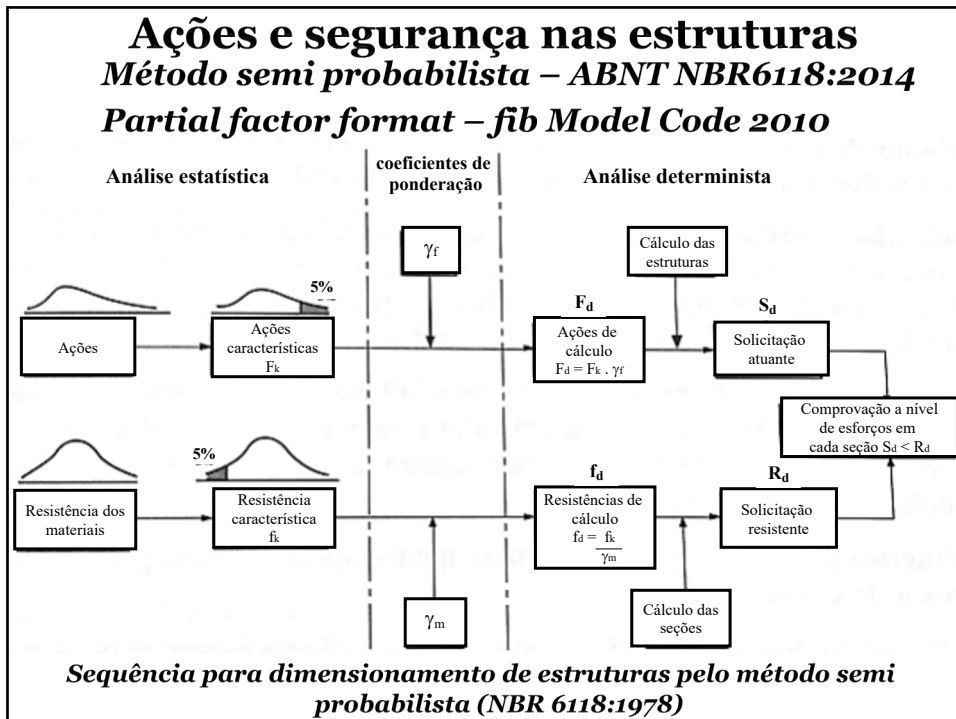
Paulo Helene
 Diretor PhD Engenharia
 Conselheiro Permanente IBRACON
 Prof. Titular Universidade de São Paulo
 Gestor e Ex-Presidente ALCONPAT Internacional
 Diretor Técnico do Instituto Brasileiro do Concreto
 Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
 Conselheiro da CNTU e SEESP

Clube de Engenharia

15 de maio de 2019

Rio de Janeiro/ RJ

1

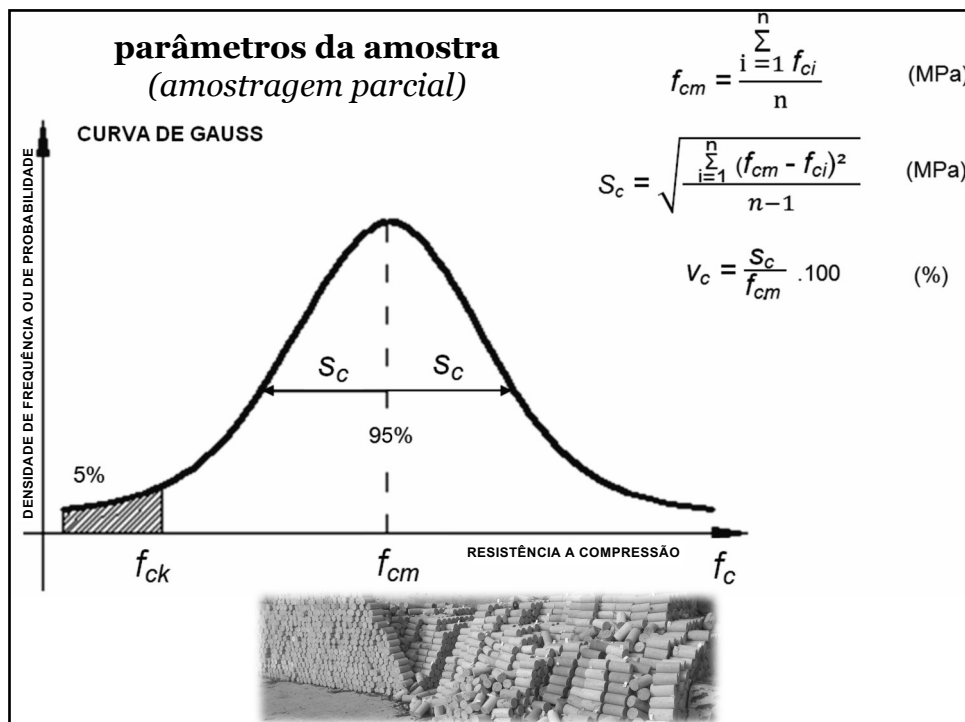


2

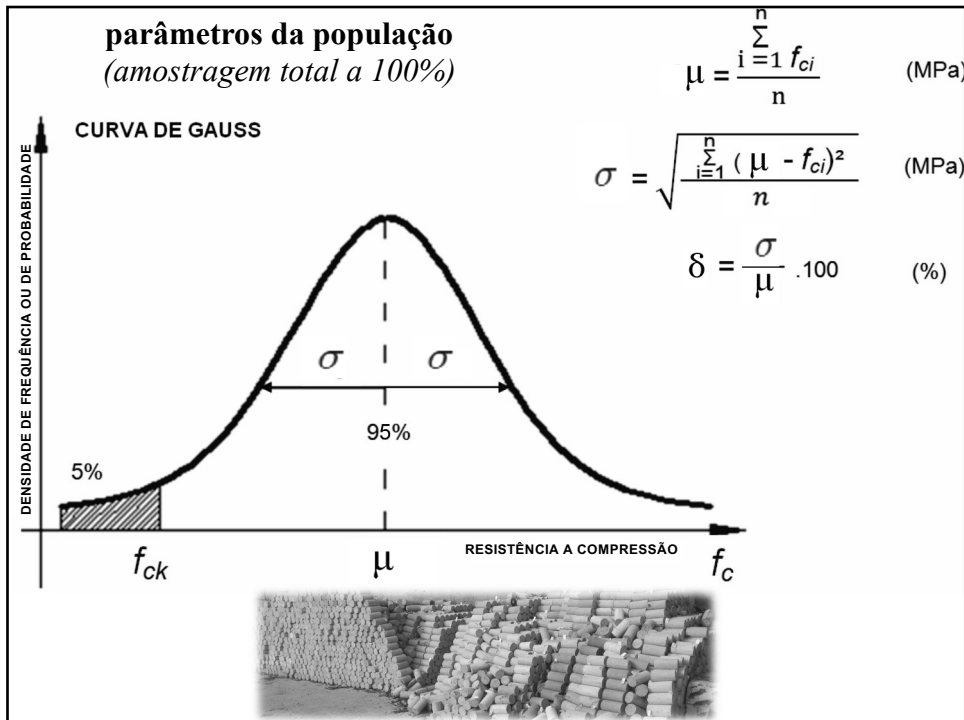
o que é a resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} ?



3



4



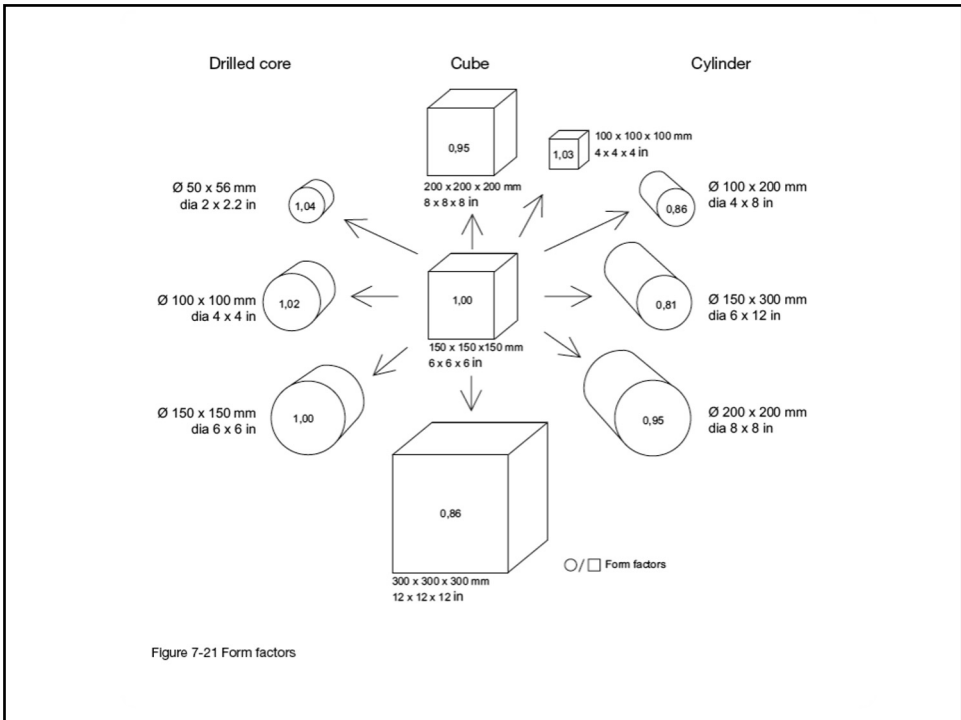
5

**qual é o referencial
de resistência à
compressão do
concreto, f_{ck}
no Brasil !**

6



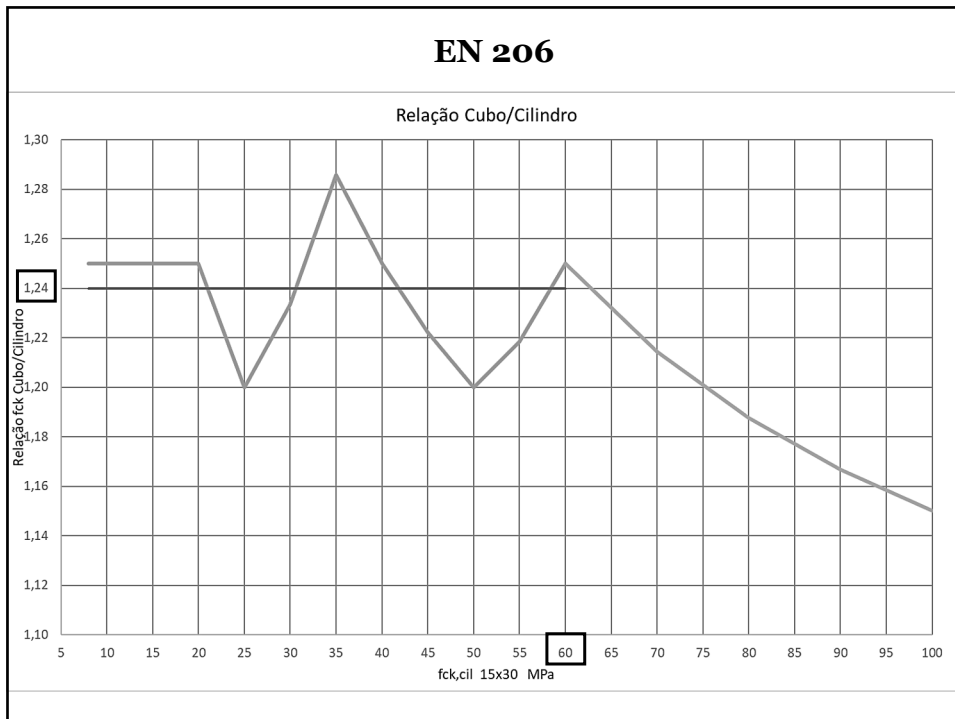
7



8

Classes de resistência a compressão para concreto de peso normal e concreto pesado			
Classe de resistência à compressão	Resistência característica mínima do cilindro $f_{ck,cil}$ 15x30cm MPa	Resistência característica mínima do cilindro $f_{ck,cub}$ 15x15cm MPa	Relação $f_{ck,cub}/f_{ck,cyl}$
C8/10	8	10	1,25
C12/15	12	15	1,25
C16/20	16	20	1,25
C20/25	20	25	1,25
C25/30	25	30	1,20
C30/37	30	37	1,23
C35/45	35	45	1,29
C40/50	40	50	1,25
C45/55	45	55	1,22
C50/60	50	60	1,20
C55/67	55	67	1,22
C60/75	60	75	1,25
C70/85	70	85	1,21
C80/95	80	95	1,19
C90/105	90	105	1,17
C100/115	100	115	1,15

9



10

referencial BRASIL
de resistência à compressão do concreto, f_{ck}

- ✓ o cilindro 15cm ϕ * 30cm
- ✓ o cilindro 10cm ϕ * 20cm
- ✓ planejado de acordo com a ABNT NBR 12655
- ✓ amostrado de acordo com a ABNT NBR 12655
- ✓ moldado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ transportado de acordo com a ABNT NBR 12655
- ✓ curado de acordo com a ABNT NBR 5739
- ✓ capeado de acordo com a ABNT NBR 5739
- ✓ ensaiado de acordo com a ABNT NBR 5739
- ✓ resultado analisado de acordo com a ABNT NBR 12655

em geral referido à idade de 28 dias de idade

11

f_{ck} é a resistência do concreto na estrutura?



Não !

f_{ck} é a resistência potencial máxima do
concreto na boca da betoneira !

12

**f_{ck}
é a
resistência
do
concreto
na
fundação,
pilares,
vigas e
lajes da
estrutura?**



**Não !
 f_{ck} é a
resistência
potencial
máxima do
concreto
daquela
amassada
medida em
corpos de
prova
moldados,
sazonados e
ensaiados em
condições
ideais !**

13

**f_{ck}
é a resistência do concreto de partida que o projetista estrutural
usa para verificar a segurança?**



**Sim !
 f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão utilizada
como valor de entrada nos programas para verificar a segurança
numa análise ou processo usual, padrão !**

14

**... e esse é o grande
problema por que os
engenheiros e projetistas
acabam considerando que
 f_{ck} é a resistência do
concreto lá na estrutura !..**

15

... então qual é a resistência à
compressão do concreto na
estrutura pronta que um engenheiro
civil pode considerar como
disponível para fins de
dimensionamento, com segurança?

16

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\therefore \sigma_{cd} \cong 0,6 \cdot f_{ck}$$

17

Ações e Segurança

NBR 6118:2014

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = 1,4$$

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * 0,85$$

para $f_{ck} = 30$ MPa $\rightarrow f_{ck,ef}$ (estrutura) $\approx 18,2$ MPa

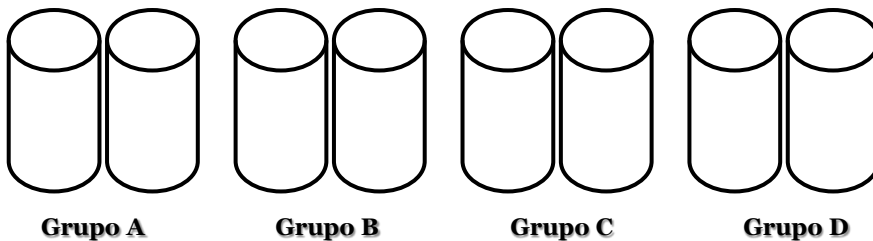
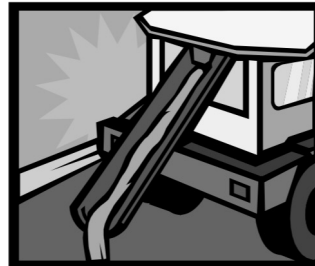
para $f_{ck} = 50$ MPa $\rightarrow f_{ck,ef}$ (estrutura) $\approx 30,3$ MPa

18

Como obter a maior resistência à compressão aos 28 dias?

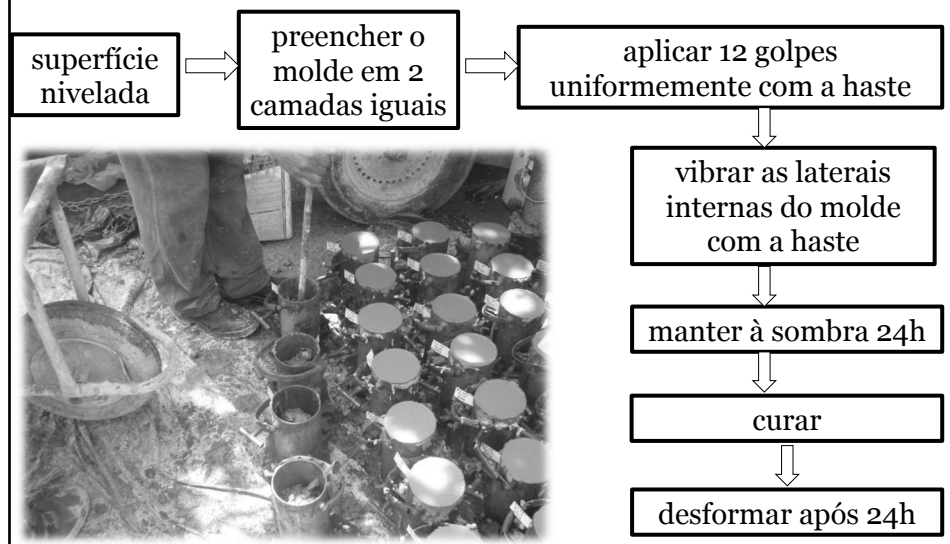
Concreto de uma betonada:
ABNT NBR 12655:2015
ABNT NBR 5738:2015

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



19

o concreto deve ser amostrado de acordo com a ABNT NM 33 e moldado de acordo com a ABNT NBR 5738:2015



20

quantas resistências
tem o concreto de um
caminhão betoneira
de 8 m³ ?

21

...segundo as normas da ABNT, do ACI
(50 países) e da Europa (30 países)
cada amassada tem apenas UMA
resistência e é chamada de resistência
potencial do concreto na boca da
betoneira.

22

argumentos usuais em contra !

1. é óbvio que a resistência do concreto dentro do balão de uma betoneira, varia um pouco se comparar o começo, meio e fim;
2. se moldar corpos de prova de um concreto de uma amassada vai encontrar média, desvio padrão, variabilidade, ou seja, não é um único valor !

23

**quantas resistências
tem o concreto de um
caminhão betoneira
de 8 m³ ?**

→ 1.300 cps “15x30”

→ 5.000 cps “10x20”

24

Moldagem de corpos de prova para programa interlaboratorial do INMETRO / FURNAS



25

betoneira estacionária (central
misturadora) com volume útil total
de 1 m³

→ 163 cps “15x30”

→ 625 cps “10x20”

média → μ_c

desvio padrão → σ_c

coeficiente de variação → ν_c

26



27



28

é possível obter resultados perfeitamente iguais??



29

Exemplo: ensaio de resistência à compressão do cimento

ABNT NBR 7215

"Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão"



ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
COP 20020-900 - Caixa Postal 5400
Rio de Janeiro - RJ
Tel: (51) 2513-1000-3000
Fax: (51) 2513-0100
E-mail: atendimento@abnt.org.br
www.abnt.org.br

Copyright © 1996
ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas
Todos os direitos reservados.

DEZ 1996 | NBR 7215

Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão

Origem: Projeto NBR 7215:1995
CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados
CE-15:104.03 - Comissão de Estudo de Métodos de Ensaio de Cimento Portland
NBR 7215 - Portland cement - Determination of compressive strength
Description: Portland cement
Esta Norma substitui a MB-1:1991 (NBR 7215)
Válida a partir de 31.01.1997
Incorporação à Errata nº 1 de AGO 1997

Palavra-chave: Cimento Portland | 8 páginas

Sumário

- Prefácio
- 1 Objetivo
- 2 Referências normativas
- 3 Método de ensaio
- ANEXOS
- A Figuras e tabelas
- B Determinação do índice de consistência normal

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB) e dos Organismos de Normalização Setoriais (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos CB e ONS, circulam para votação Nacional entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma inclui o anexo A, de caráter normativo, e o anexo B, de caráter informativo.

1 Objetivo

Esta Norma especifica o método de determinação da resistência à compressão de cimento Portland.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se a aqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 6156:1983 - Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio

NBR 7214:1962 - Areia normal para ensaio de cimento - Especificação

NBR 9479:1994 - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto - Especificação

3 Método de ensaio

3.1 Princípio

O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Os corpos-de-prova são elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia normalizada, em massa, e com relação água/cimento de 0,48.

30

- Moldagem feita em bancada de laboratório, com temperatura e umidade padronizadas;
- Argamassa padrão, de traço em massa fixo 1:3, volume de cerca de 1,1 L;
- Relação a/c fixa de 0,4;
- Misturado numa misturadora pequena de eixo vertical, sistema forçado, com controle de tempo de mistura com cronômetro;
- Operador treinado;



31

- Agregados IPT tratados, lavados, peneirados em granulometrias determinadas, pesados em balança de precisão;
- Ruptura com hora marcada em ambiente climatizado
- Operador treinado;



32

- Operador treinado;
- Moldagem de 4 cp's cilíndricos 5cm x 10cm, que são curados por 28 dias na câmara úmida;
- Ensaio em prensa pequena apropriada e calibrada.



33

No item 3.6 desse método encontra-se:

calcular o desvio relativo máximo da série de quatro resultados, dividindo o valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média, para mais ou para menos, pela resistência média e multiplicando este quociente por 100. A porcentagem obtida deve ser arredondada ao décimo mais próximo

Quando o desvio relativo máximo for superior a 6%, calcular uma nova média, desconsiderando o valor discrepante. Persistindo o fato com os 3 restantes, o ensaio deve ser totalmente refeito.

34

ensaiando um CII 40

46 53 49 52

média $f_{cm} = \mu = 50 \text{ MPa}$

descarta 46

nova média **51,3** MPa

35

como um matemático singelo ou um leigo
interpretaria esses resultados ?

*...impressionante como as argamassas
de cimento Portland apresentam grande
variabilidade na resistência à
compressão...*

*...mesmo dentro de um volume pequeno
aparentemente homogêneo, as
resistências variam muito !..*

36

como um engenheiro de concreto
interpretaria esses resultados ?

*...vai indo bem mas, assim que der um
tempinho teremos de renovar o
treinamento desse laboratorista...*

37

MORAL

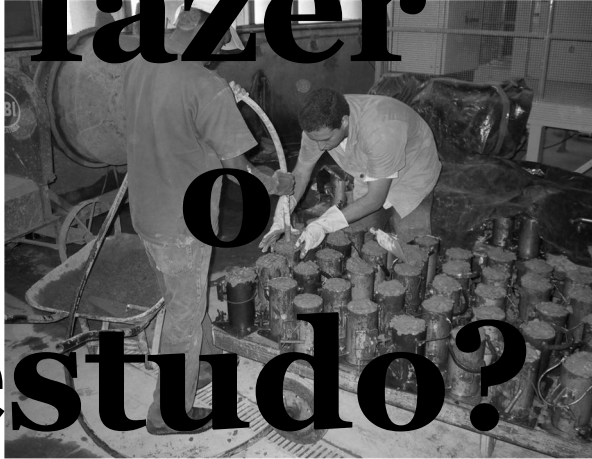
**a matemática deve servir ao
Engenheiro...**

**...jamais o Engenheiro deve ser refém da
matemática !**

38

quem já conseguiu em laboratório num estudo de dosagem ou num experimento de pesquisa encontrar todos os resultados iguais dentro de uma mesma betoneira?

**como
fazer
o
estudo?**



39

**adota um
valor único
médio e vai
em frente**



40

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”

41

...considerando que se
trata de uma estrutura
com $f_{ck} = 45\text{ MPa}$,
pergunta-se se está OK, ou
seja, se esse caminhão tem
um concreto conforme?

42

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

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

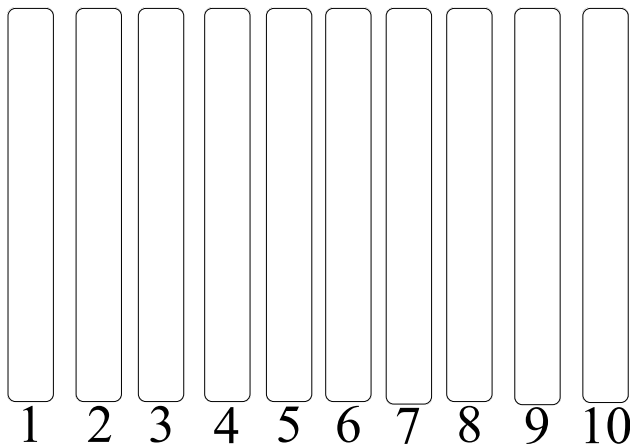
exemplar = mais alto ($f_{ck,est}$)

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

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

43

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



f_{ck}
45MPa

44

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

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

45



46

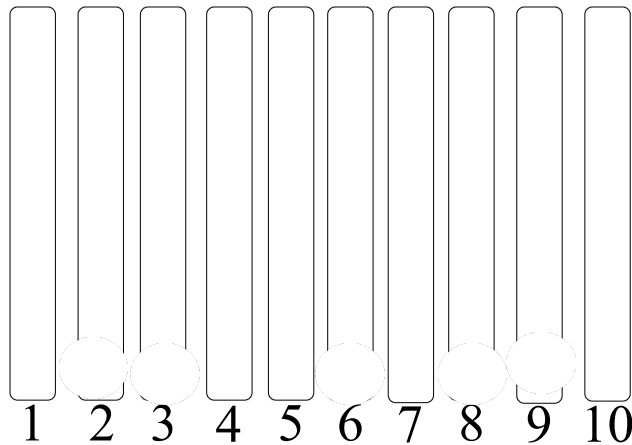


47



48

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

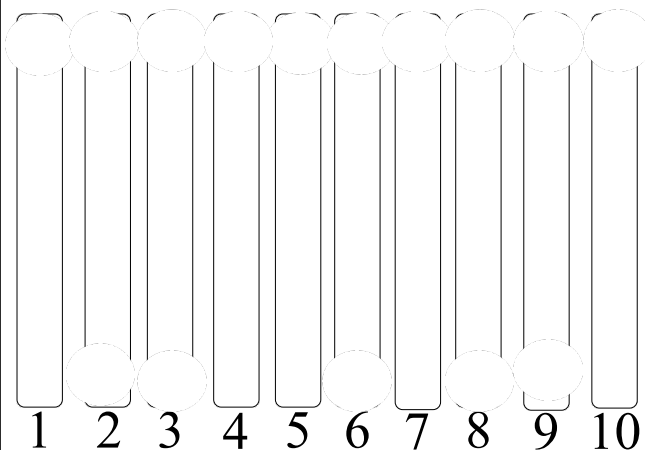


f_{ck}
45MPa

49

qual a resistência do concreto nos pilares que
estão mais próximas da resistência característica
do concreto à compressão (controle, moldado)

$f_{ck,est}$?

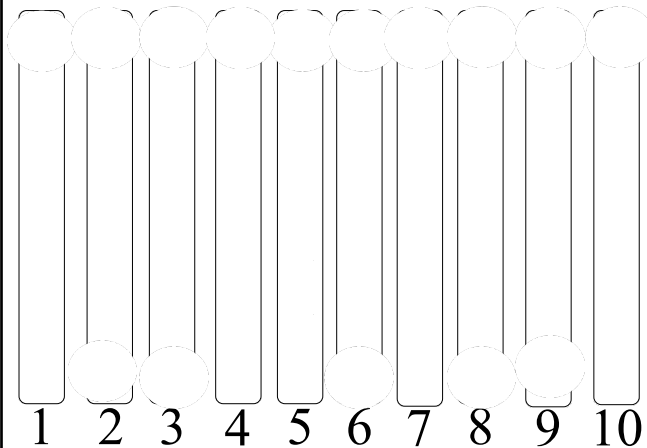


f_{ck}
45MPa

50

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

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

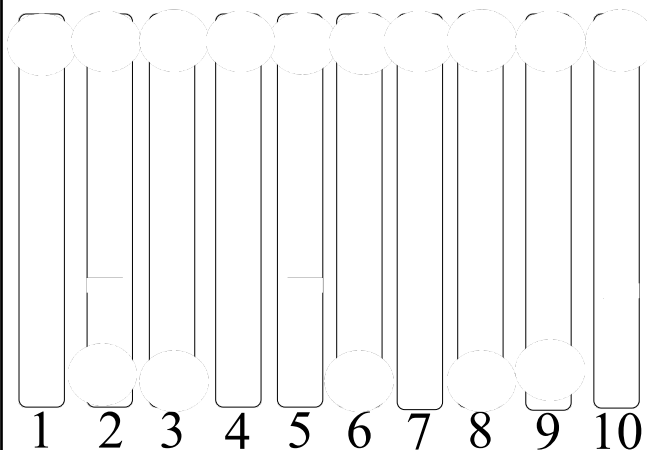


terço inferior

51

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

52

a resistência à compressão do concreto
altera-se com o tempo?

SIM !

crece ou decresce com a idade?

ambos ! --então como fazer?

por convenção
idade de 28 dias

53

Premissas

Como **crece** a
resistência com o tempo
a partir de 28 dias ?

Direitos Reservados 2010

54

54

concreto em dias.

Crescimento da Resistência

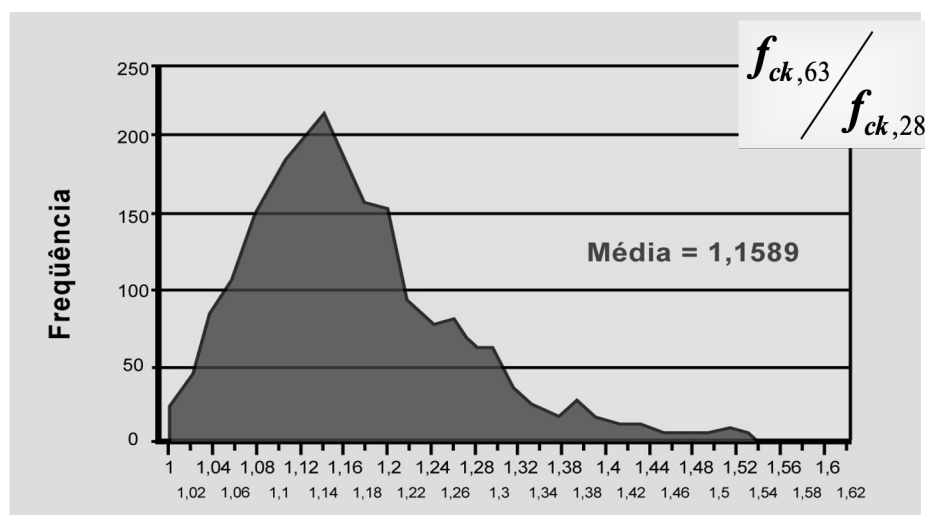
$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{s*(1-\sqrt{\frac{28}{j}})}$$

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 = 0,1545	1,16 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

55

Análise

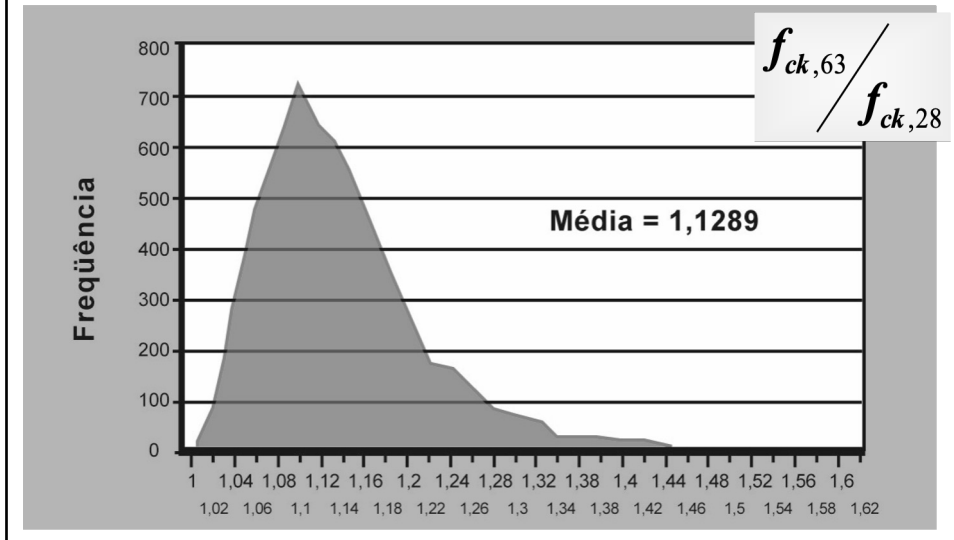
2.046 Registros Analisados, CP III



56

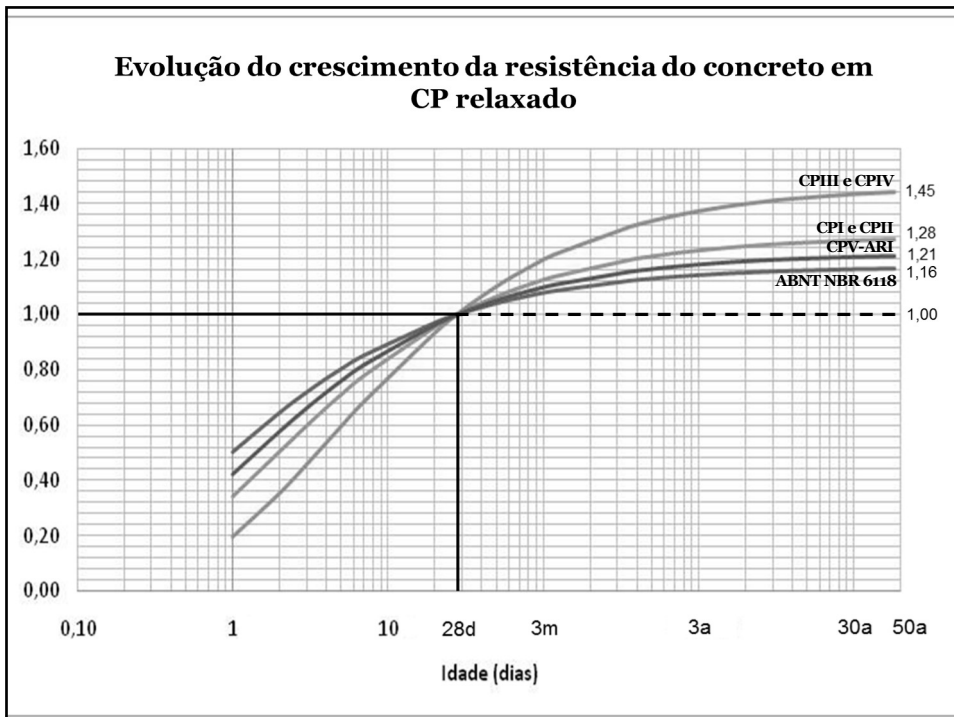
Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



57

Evolução do crescimento da resistência do concreto em CP relaxado



58

Premissas

**Como decresce a
resistência com o
tempo a partir de
28dias ?**

59

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,t_0}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (j - t_0)\}}$$

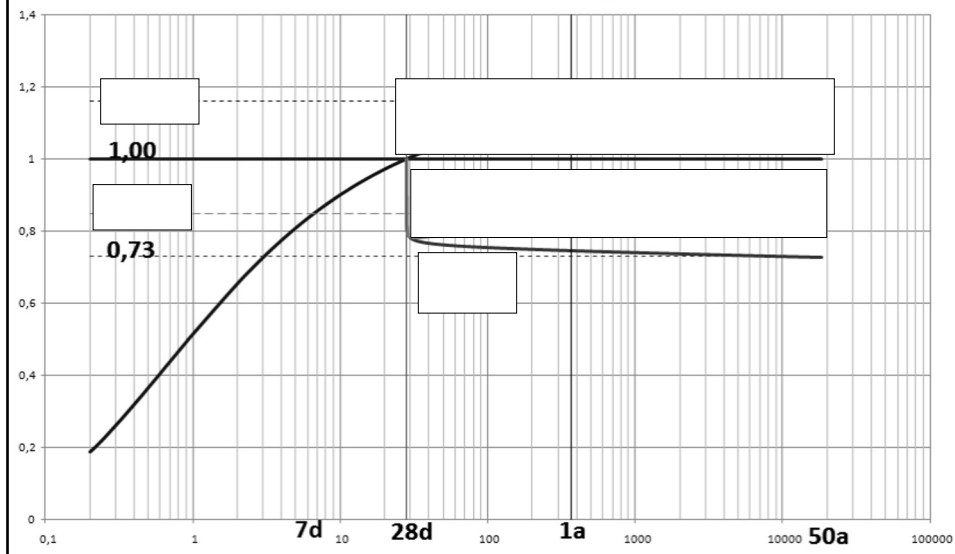
→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $j - t_0 > 15$ minutos

60

Decréscimo da Resistência



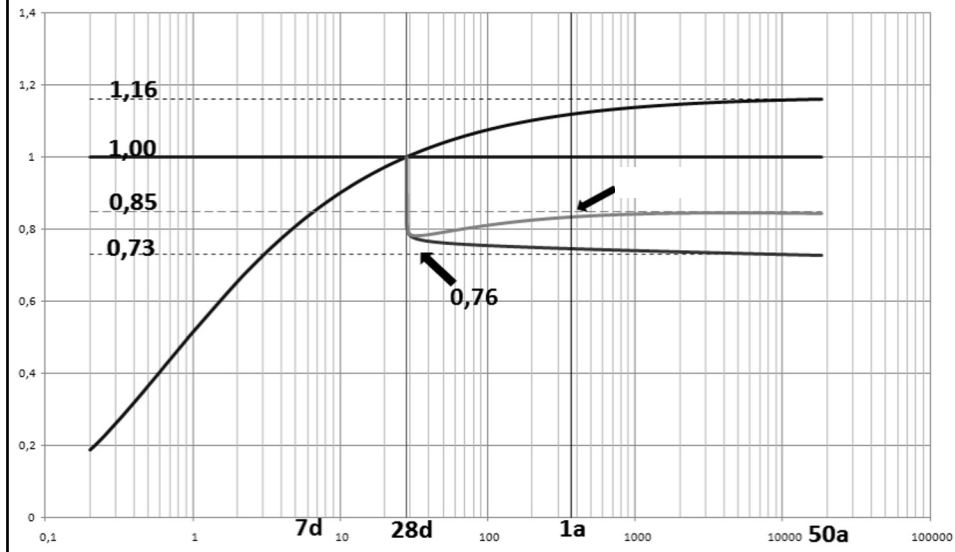
61

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

62

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



63

EDIFICAÇÕES

64

NÃO CONFORMIDADES

ABNT NBR 7680:2015

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

65

ABNT NBR7680:2015 $f_{ck,ext,j}$

ABNT NBR 6118:2014 f_{ck}

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

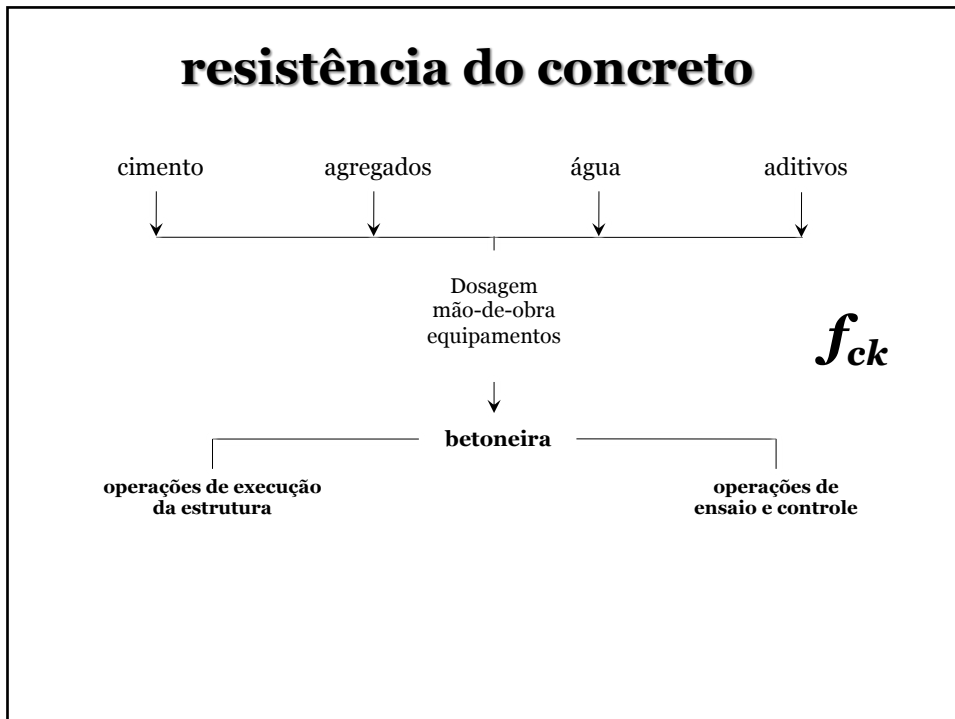
referencial de segurança

f_{ck}

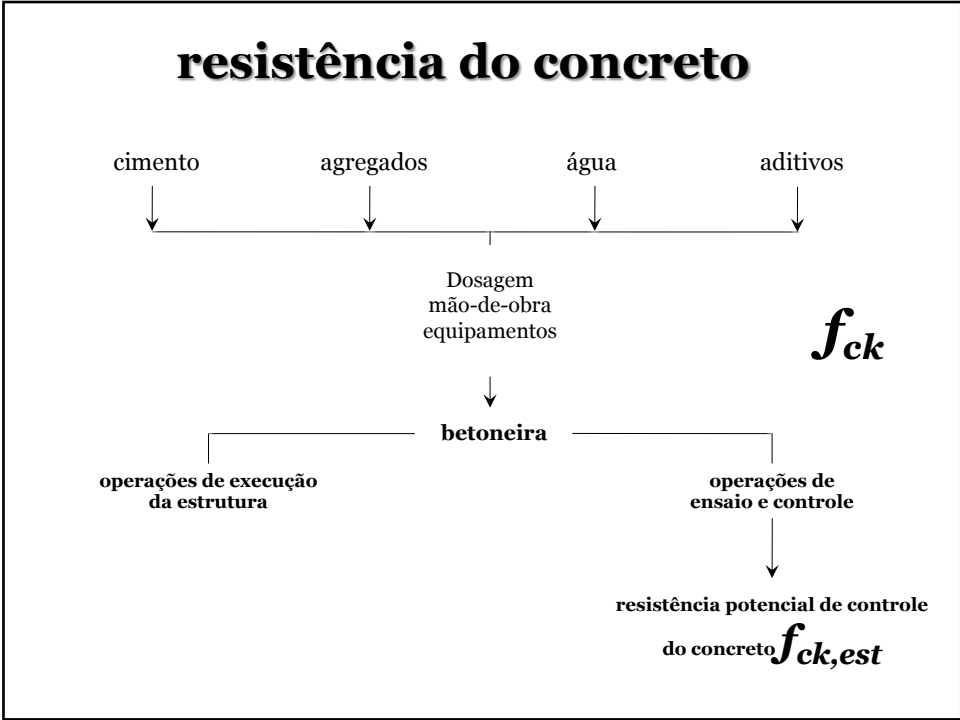
66



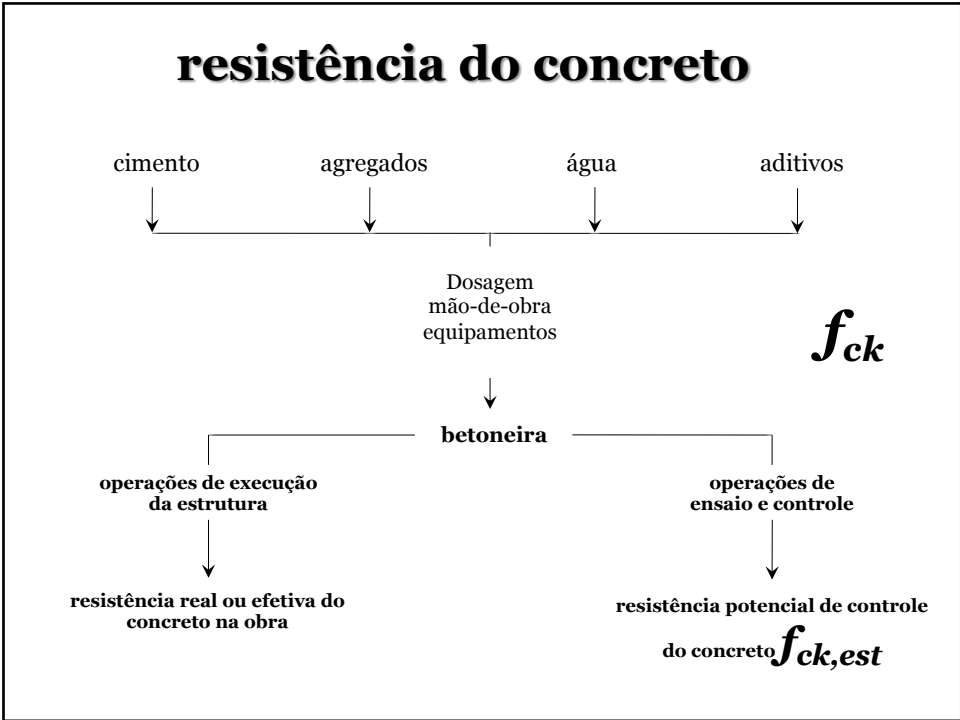
67



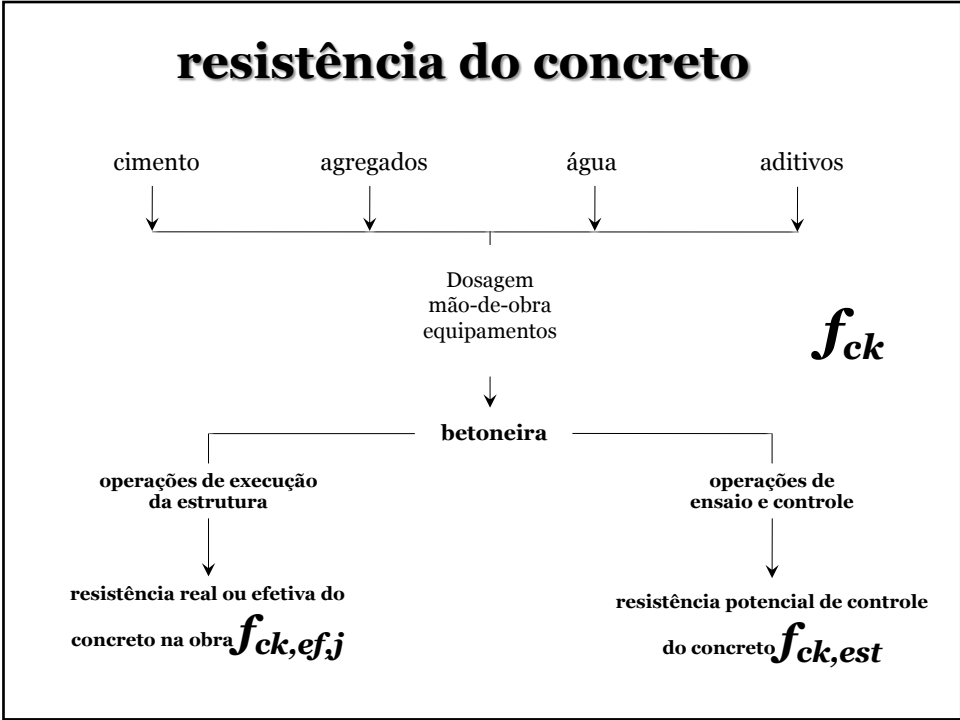
68



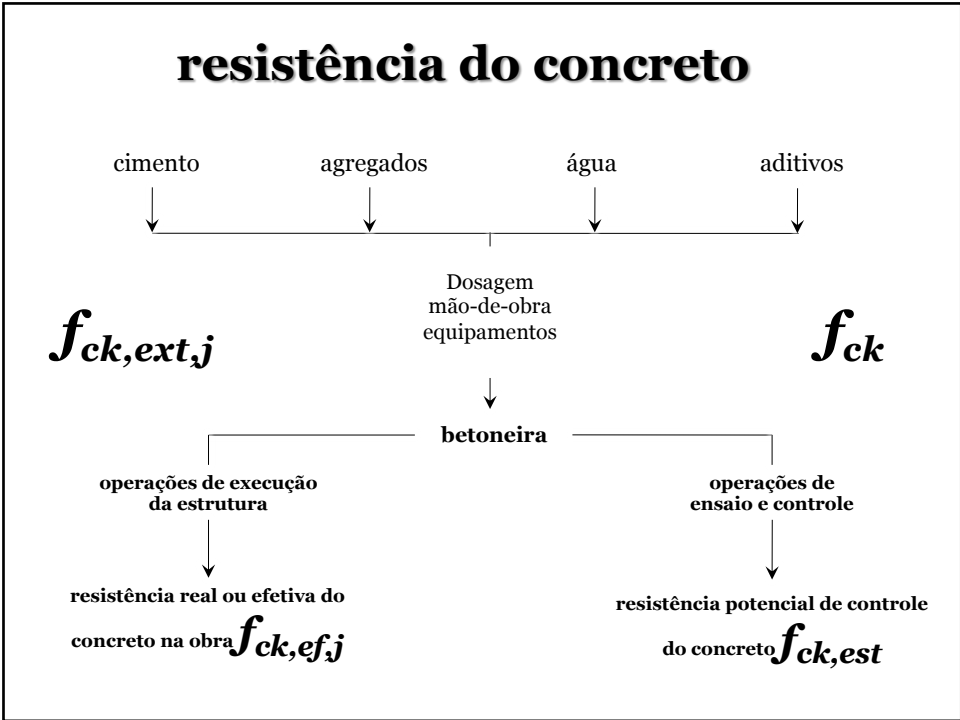
69



70



71



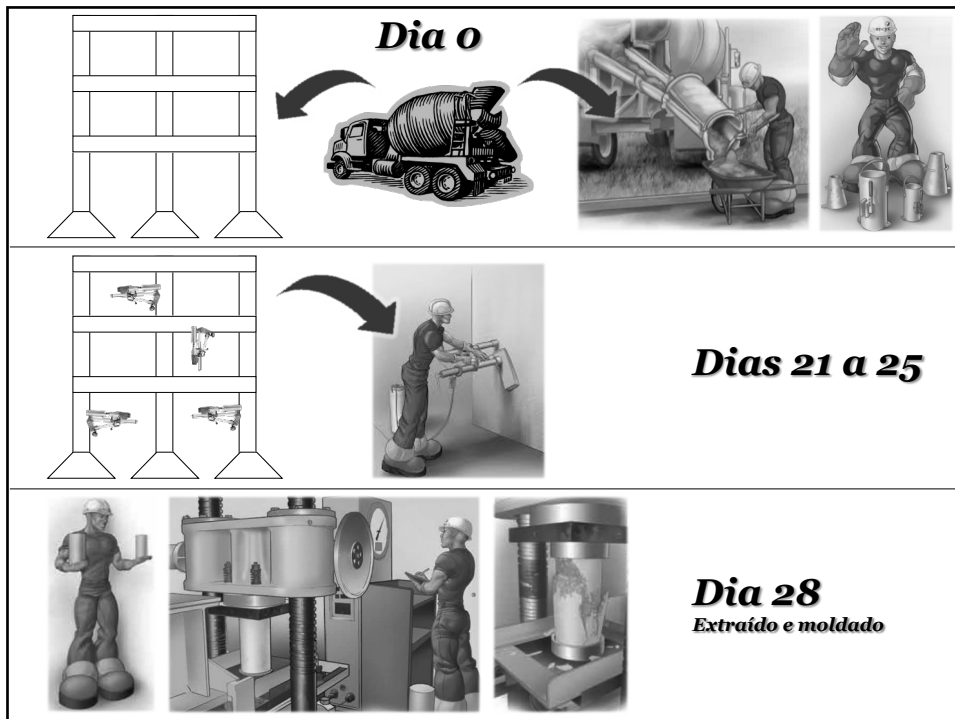
72

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

73



74

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

75

**... mas e só o efeito
deletério do
broqueamento,
quanto é ?**

76

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

77

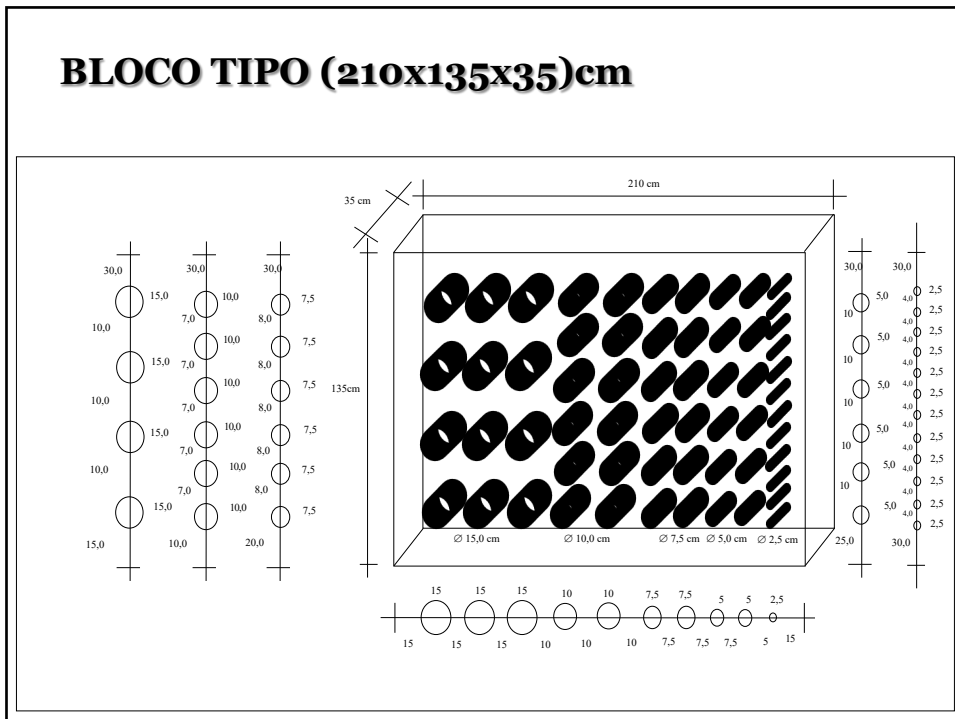


78



79

BLOCO TIPO (210x135x35)cm



80



81

Conclusão

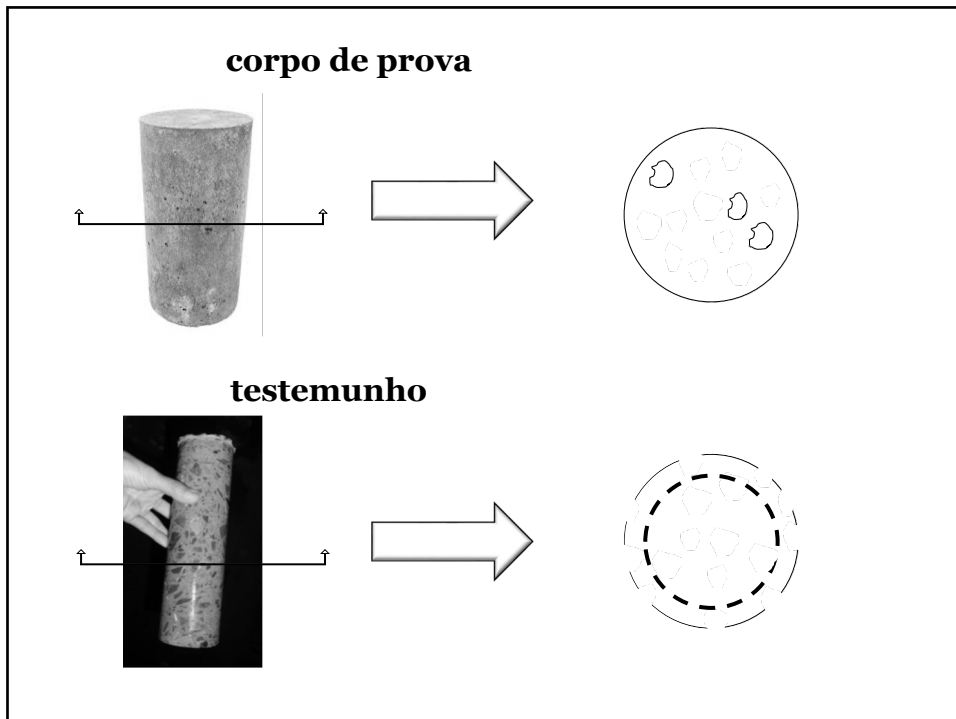
Média geral:

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

82



83



84

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;

85

como aceitar o concreto ?



86

CONTROLE DE ACEITAÇÃO

ABNT NBR 12655:2015
“Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento”

87

**Universo
População
Lote**

amostra

**unidade de produto
unidade de controle**

exemplares

corpo de prova

88

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Pneu



- **massa de cada pneu**
- **pressão de cada pneu**

89

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Bolinha de gude



- **massa de cada bolinha**
- **diâmetro de cada bolinha**

90

Unidade de Produto
Unidade de Controle
Concreto



- metro cúbico
- corpo de prova
- metro quadrado
- pilar, viga, laje

91

CONCRETO
Unidade de Produto

betonada
amassada
mistura-traço

CONCRETO
Unidade de Controle

resistência à compressão do cp
MPa, kgf/cm², psi
exemplar

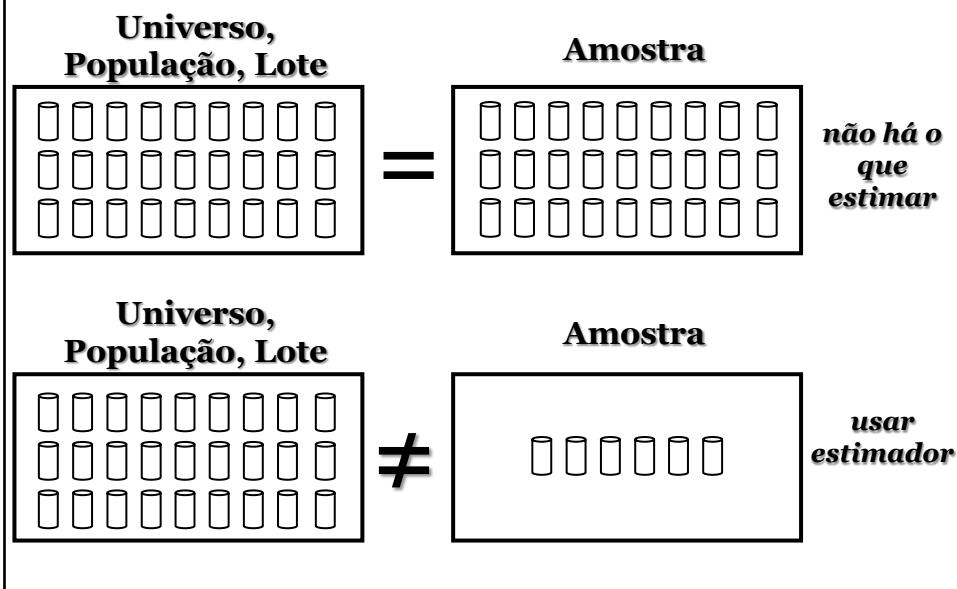
92

Amostragem ABNT NBR 12655:2015

- ✓ As amostras são compostas por exemplares;
- ✓ Cada exemplar constitui-se de, no mínimo, dois CPs irmãos (mesma amassada, moldados no mesmo ato) para cada idade de ruptura;
- ✓ Resistência do exemplar (betonada): o maior dos valores obtidos dos CPs no ensaio de resistência à compressão;
- ✓ A amostragem pode ser total ou parcial.

93

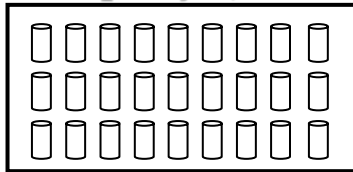
Amostragem ABNT NBR 12655



94

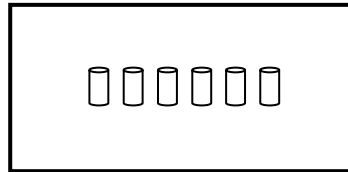
Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,
População, Lote



≠

Amostra



✓ $6 \leq n < 20$:

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1} - f_m}{m-1}$$

onde

m é igual a n/2. Despreza-se o valor mais alto de n, se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

✓ $n \geq 20$:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times S_d$$

onde:

f_{cm} é a resistência média dos exemplares do lote, em MPa;

S_d é o desvio padrão dessa amostra de n exemplares, em MPa.

95

Amostragem total ABNT NBR 12655:2015

- ✓ **Todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada (unidade de produto):**

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada}$$

- ✓ **Não há o que estimar porque todo o lote (população) é conhecido.**

96

Conformidade dos lotes

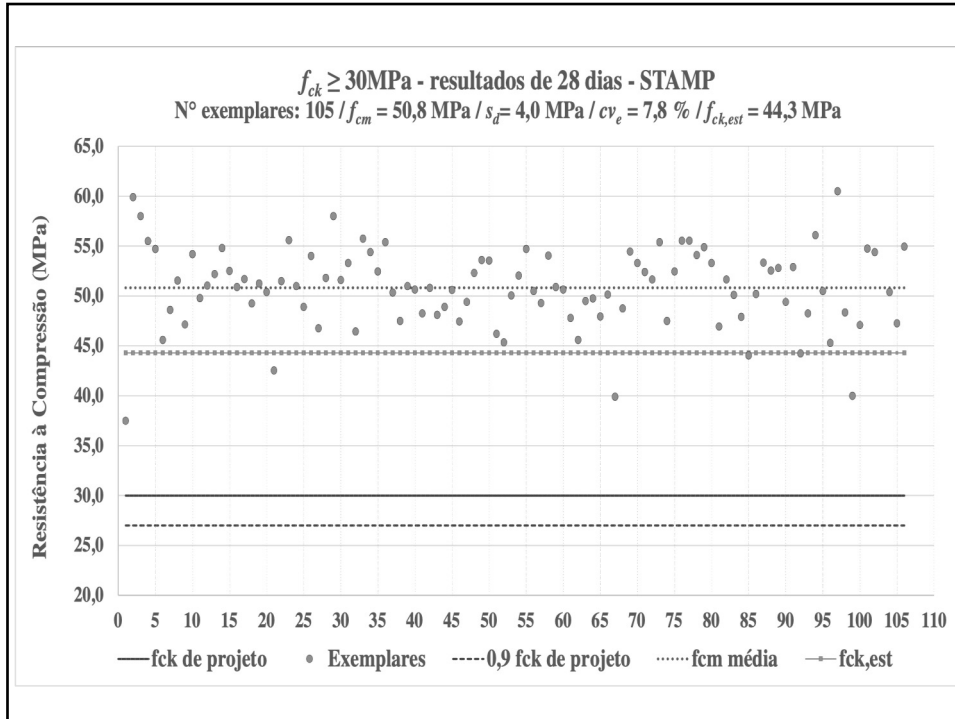
- ✓ O valor estimado da resistência característica dos lotes de concreto (amostragem parcial) ou dos exemplares (amostragem total) deve atender:

$$f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

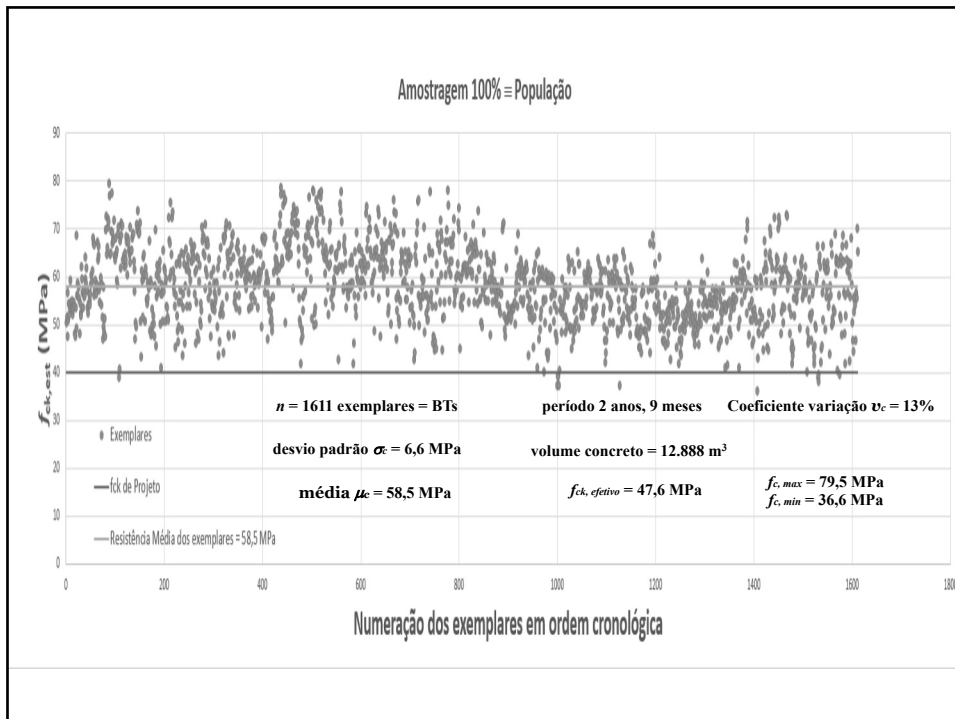
97



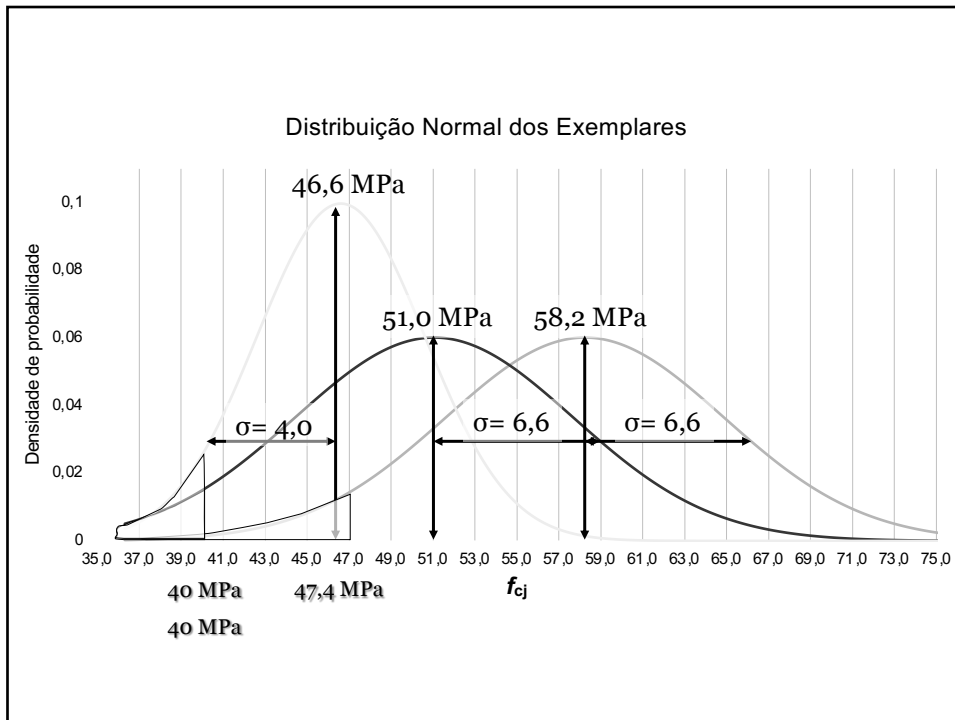
98



99



100



101

Conceito de rendimento:

Considerando apenas o consumo de cimento:

de 120MPa → 4 kg/MPa

→ 1,2kg Clinker / MPa

40MPa → 8 kg/MPa

→ 2,4kg Clinker / MPa

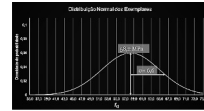
20MPa → 12 kg/MPa

→ 3,6kg Clinker / MPa

102

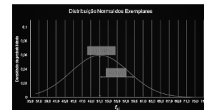
Resistência Média= 58,2MPa ($f_{ck}=47,4\text{MPa}$, $\sigma=6,6\text{MPa}$)

kg Cimento = R\$0,40, volume total de concreto = 12.888m³



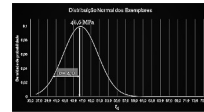
Para Resistência média= 51,0MPa ($f_{ck}=40\text{MPa}$, $\sigma=6,6\text{MPa}$)

- 7,1 MPa a menos
- 56,8 kg/m³ de cimento a menos
- R\$ 292.825,20 a menos



Para Resistência Média= 46,6MPa ($f_{ck}=40\text{MPa}$, $\sigma=4,0\text{MPa}$)

- 11,6 MPa a menos
- 92,8 kg/m³ de cimento a menos
- R\$ 478.418,70 a menos



103

Brasil: ABNT NBR 12655:2015

Concreto de cimento Portland. Preparo, controle, recebimento e aceitação

Europa: Eurocode II

EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity

USA: ACI 318-14

Building Code Requirements for Structural Concrete

Chapter 26. Construction Documents and Inspection.

item 26.12. Concrete evaluation and acceptance

104

Central Dosadora de Concreto

- ✓ **Central Dosadora Estacionária localizada em Canteiro de Obras;**
- ✓ **Produziu concreto única e exclusivamente para o empreendimento em questão;**
- ✓ **Sistema de Carregamento Automatizado;**
- ✓ **Provida de 1 Ponto de Carga coberto;**
- ✓ **Capacidade de Produção de 70m³/hora;**
- ✓ **Baias de Agregados cobertas;**
- ✓ **Balanças e Hidrômetros aferidos mensalmente;**
- ✓ **Disponibilidade de 6 caminhões betoneira;**

105



106

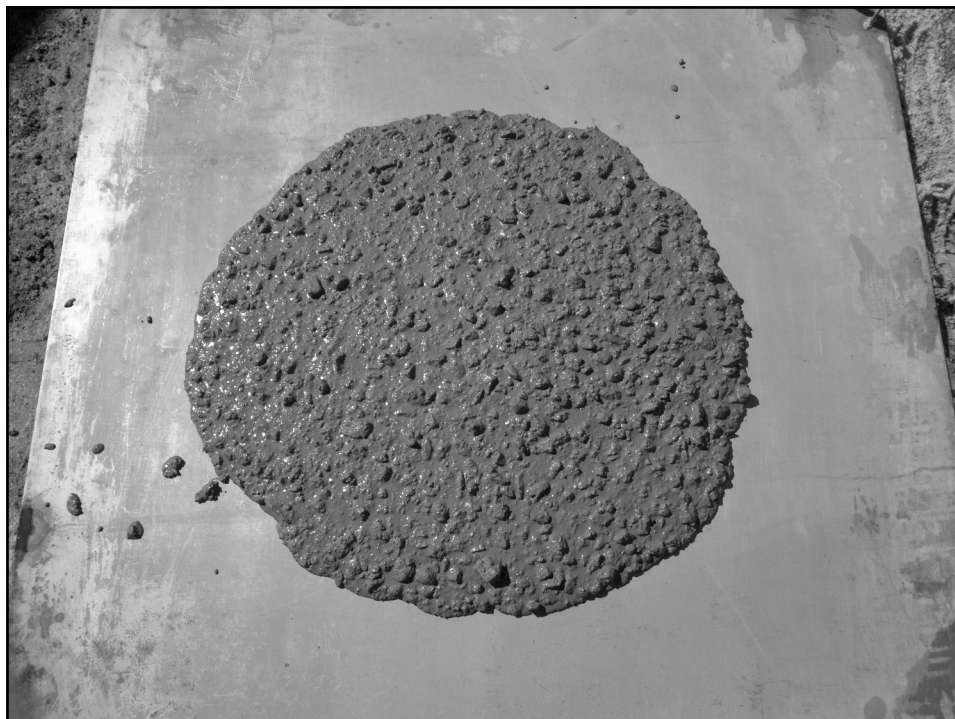
Traço de Concreto

- ✓ Definido após realização de um extenso estudo de dosagem racional e experimental;
 - ✓ $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$;
- ✓ Concreto autoadensável: classe de espalhamento SF2;
- ✓ Execução de evento de concretagem protótipo.

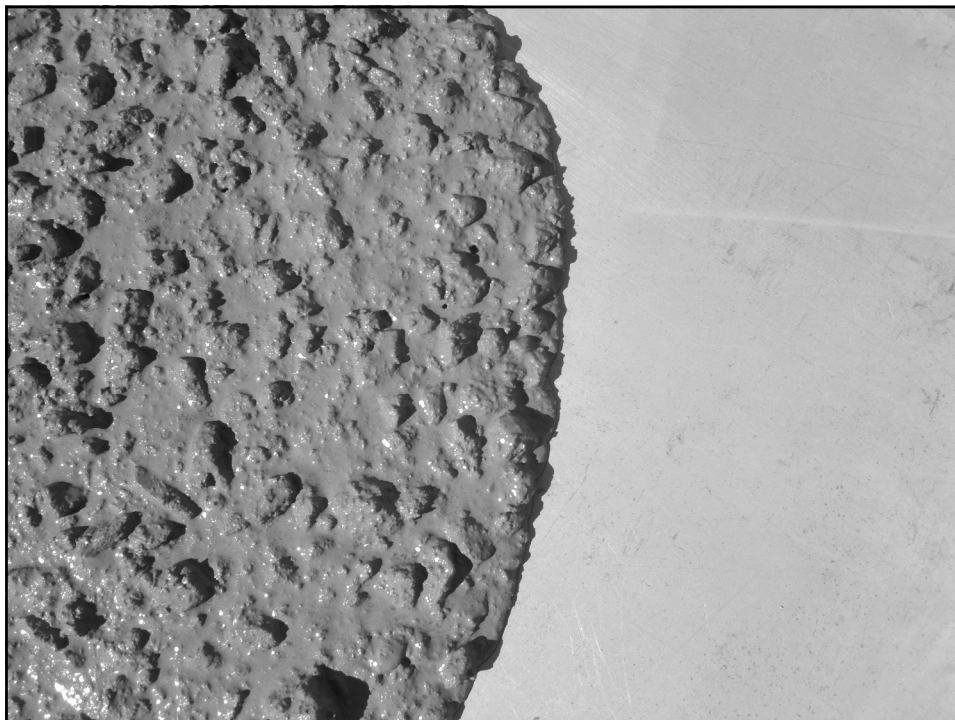
Tabela: Traço de concreto em massa, materiais secos, para 1m³ de concreto

Insumos do traço do concreto	f_{ck} 40MPa
cimento (CP III-40-RS)	380kg
silica ativa	20kg
água	180kg
areia fina natural	364kg
areia artificial, areia de brita	546kg
brita 0 (dimensões de 4,5mm a 9,5mm)	279kg
brita 1 (dimensões de 9,5mm a 19mm)	651kg
aditivo polifuncional, 0,6% em massa de cimento	2,3kg
aditivo superplastificante, 1,2% em massa de cimento	4,6kg

107



108



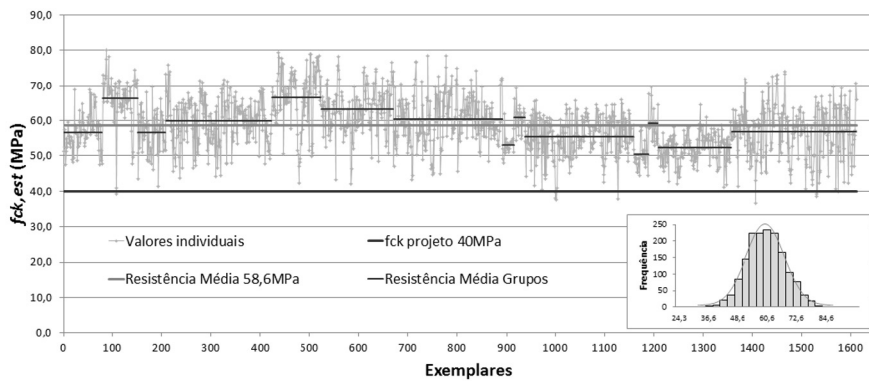
109

Plano de Controle Tecnológico

- ✓ **Controle de resistência à compressão aos 28 dias de idade por amostragem total de acordo com a norma ABNT NBR 12655:2015 “*Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*”;**
- ✓ **Realizado durante 2 anos e 9 meses por laboratório acreditado pelo INMETRO pertencente à rede Brasileira de laboratório de Ensaio (RBLE);**
- ✓ **Laboratoristas qualificados e certificados pelo IBRACON através do Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal.**

110

Controle tecnológico realizado em obra à luz da ABNT 12655



- ✓ Total de 1.611 resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade;
 - ✓ 11 resultados não conformes (abaixo de 40MPa), ou seja, 0,7%;
 - ✓ Média = 58,6MPa; Desvio Padrão = 6,6MPa, Coef. de variação = 11,2%;

111

ACI 318-14 “Building Code Requirements for Structural Concrete”

Quanto à amostragem, o ACI 318 no item 26.12 “Concrete evaluation and acceptance” recomenda como critérios mínimos:

- ✓ um exemplar por dia de concretagem;
- ✓ um exemplar para cada 115m³ de concreto produzido;
- ✓ um exemplar para cada 465m² de área superficial para lajes ou paredes;
- ✓ o controle para volumes inferiores a 38m³ é dispensado, desde que exista carta de traço aprovada.

112

ACI 318

O valor da resistência à compressão de cada um dos exemplares é determinado pela média aritmética simples dos resultados obtidos;

Caso os valores individuais dos corpos de prova irmãos difiram de mais de 8%, os resultados são considerados inadequados, conforme ASTM C39-16b "*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*";

O ACI 318, assim como a ABNT NBR 12655 e a norma europeia EN-206:2013 consideram que de cada betonada moldada é obtido apenas 1(um) valor de resistência à compressão.

113

ACI 318

O ACI 318 prescreve os seguintes critérios de aceitação e conformidade:

- ✓ para $f_{ck} \leq 35\text{MPa}$, nenhum resultado individual deve ser inferior a $f_{ck} - 3,5\text{MPa}$;
- ✓ para $f_{ck} > 35\text{MPa}$ (caso em questão), nenhum resultado individual pode ser inferior a $0,9 \cdot f_{ck}$;
- ✓ a média móvel de quaisquer 3(três) resultados consecutivos deve ser igual ou superior a resistência característica definida em projeto (f_{ck}).

114

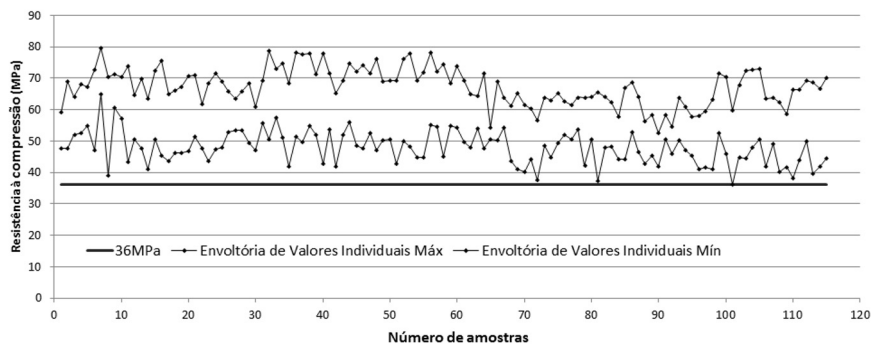
Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Considerando o critério mínimo de amostragem proposto pelo ACI de um exemplar a cada 115m^3 de concreto (ou seja, uma moldagem de corpos de prova a cada 14 caminhões betoneira de 8m^3) foram determinadas as envoltórias dos valores individuais e da média móvel de 3(três) resultados consecutivos.

115

Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Envoltória dos Valores Individuais de Resistência à Compressão

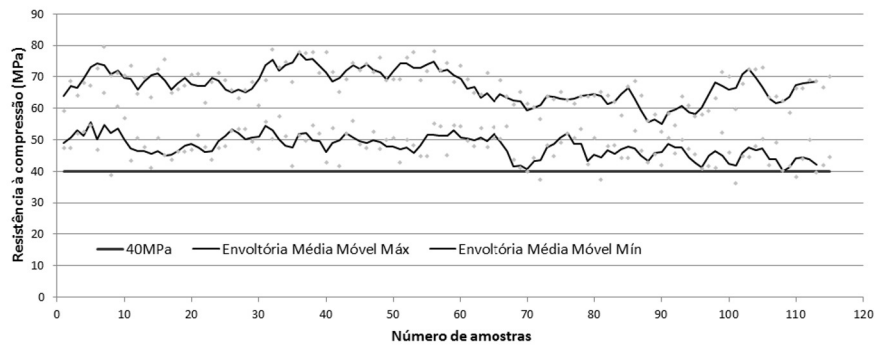


Critério de aceitação: $\geq 0,9 * f_{ck} = 36\text{MPa}$

116

Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Envoltória da média móvel de 3 resultados consecutivos



Critério de aceitação: $\geq f_{ck} = 40\text{MPa}$

117

Reflexão

118

Resumo - frequência dos ensaios

ABNT NBR 12655	<ul style="list-style-type: none"> • a cada 8 m³!! 	
ACI 318-14	<ul style="list-style-type: none"> • ≥ uma vez por dia de concretagem; • ≥ uma vez por cada 115 m³ de concreto; • ≥ uma vez por cada 465 m² de superfície de lajes ou muros; • dispensado o controle para volumes < 38 m³ 	
EN 206-1:2013	<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 3 amostras nos primeiros 50 m³; 	
	Produção inicial (até 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 1 amostra a cada 200 m³ ou a cada 3 dias de produção (concreto c/ certificação do controle de produção) • ≥ 1 amostra a cada 150 m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)
	Produção contínua (mais de 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 1 amostra a cada 400 m³ ou a cada 5 dias de produção ou a cada mês (concreto c/ certificação do controle de produção) • ≥ 1 amostra a cada 150 m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)

119

Resumo – critérios de aceitação

ABNT NBR 12655	<ul style="list-style-type: none"> • $f_{ck,est} \geq f_{ck}$
ACI 318-14	<ul style="list-style-type: none"> • $f_{ci} \geq f_{ck} - 3,5\text{MPa}$ para $f_{ck} < 35\text{MPa}$ • $f_{ci} \geq 0,9 * f_{ck}$ para $f_{ck} > 35\text{MPa}$ • $f_{cm3,est} \geq f_{ck}$
EN 206-1:2013	<ul style="list-style-type: none"> • $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$; • $f_{cm,3,est} \geq f_{ck} + 4$ • $f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma$

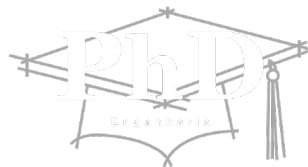
120

Conclusão

- ✓ O procedimento de controle adotado no Brasil é o mais rigoroso do mundo !
- ✓ Com amostragem total conhecemos toda a população em exame ! Mais segurança que isso impossível !
- ✓ Com amostragem parcial estamos limitados a lotes máximos de 50m³ e de 100m³ para os quais são exigidos 6 exemplares, o que dá uma média de moldar um exemplar a cada 8m³ ou a cada 16m³ e, portanto, continua muito mais rigoroso que outros países !
- ✓ Não aceitamos nenhum valor f_{ci} abaixo de f_{ck} enquanto outros países aceitam 3,5MPa, 4MPa ou mais (10%) abaixo de f_{ck}

121

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11.2501.4822 / 23
11.9.5045.4940

122