

Segurança Estrutural

Critério de aceitação
da resistência do concreto da
estrutura

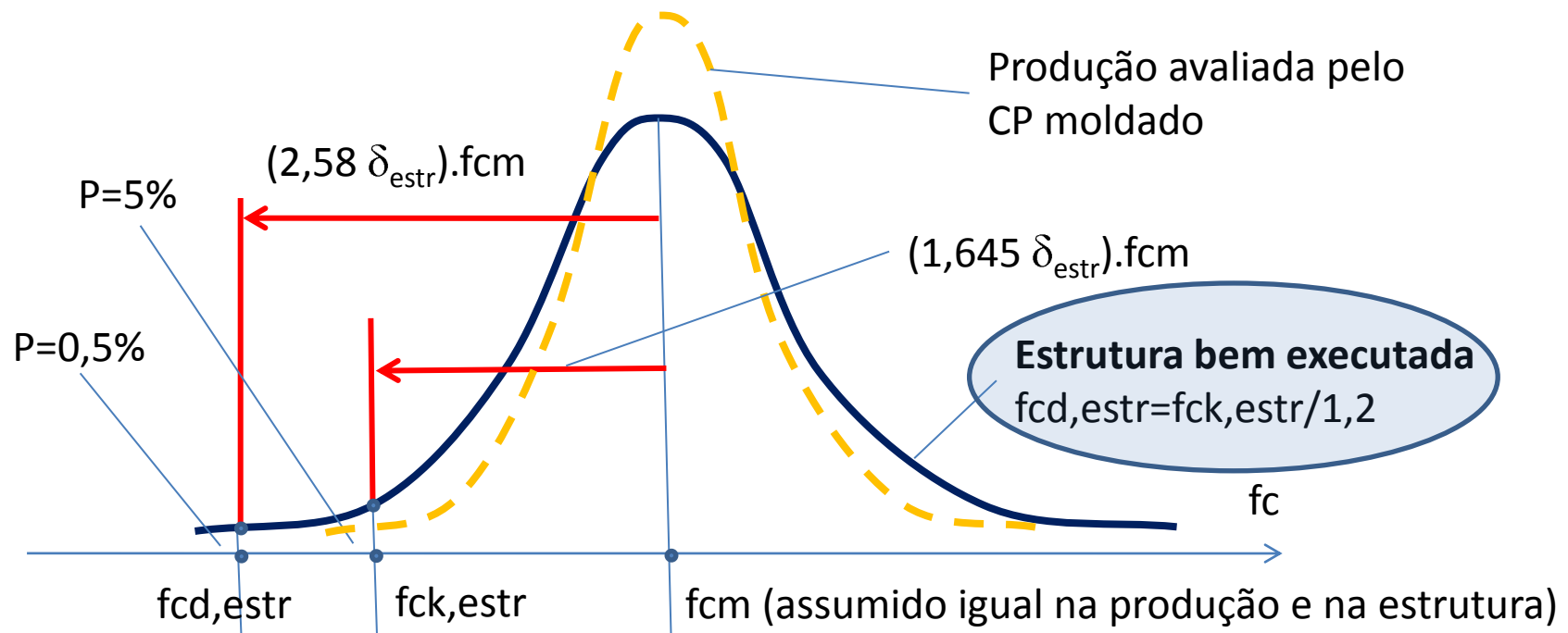
Premissas iniciais

1. Coeficiente de variação da resistência do concreto na produção $\delta_{\text{prod}} = 10\%$
2. Coeficiente de variação da resistência do concreto na estrutura $\delta_{\text{estr}} = 15\%$ (EUROCODE = 15%)
3. Probabilidade assumida $p(R < f_{cd}) = 0,5\%$
4. De 2 e 3 decorre o valor $\gamma_{c1} = 1,20$ (EUROCODE=1,24)
5. Coeficiente minoração devido a diferenças entre a variabilidade na estrutura e a da produção avaliada pelo CPmoldado com $\gamma_{c2} = 1,1$ (diferença entre 1 e 2)
6. Coeficiente minoração devido a diferenças de resistência em regiões defeituosas $\gamma_{c3} = 1,06$ (EUROCODE=1,1)
7. $f_{cd,estr} = f_{ck,prod} / (\gamma_{c1} \gamma_{c2} \gamma_{c3}) = f_{ck,prod} / \gamma_c = f_{ck,prod} / 1,4$ (EUROCODE=1,5)

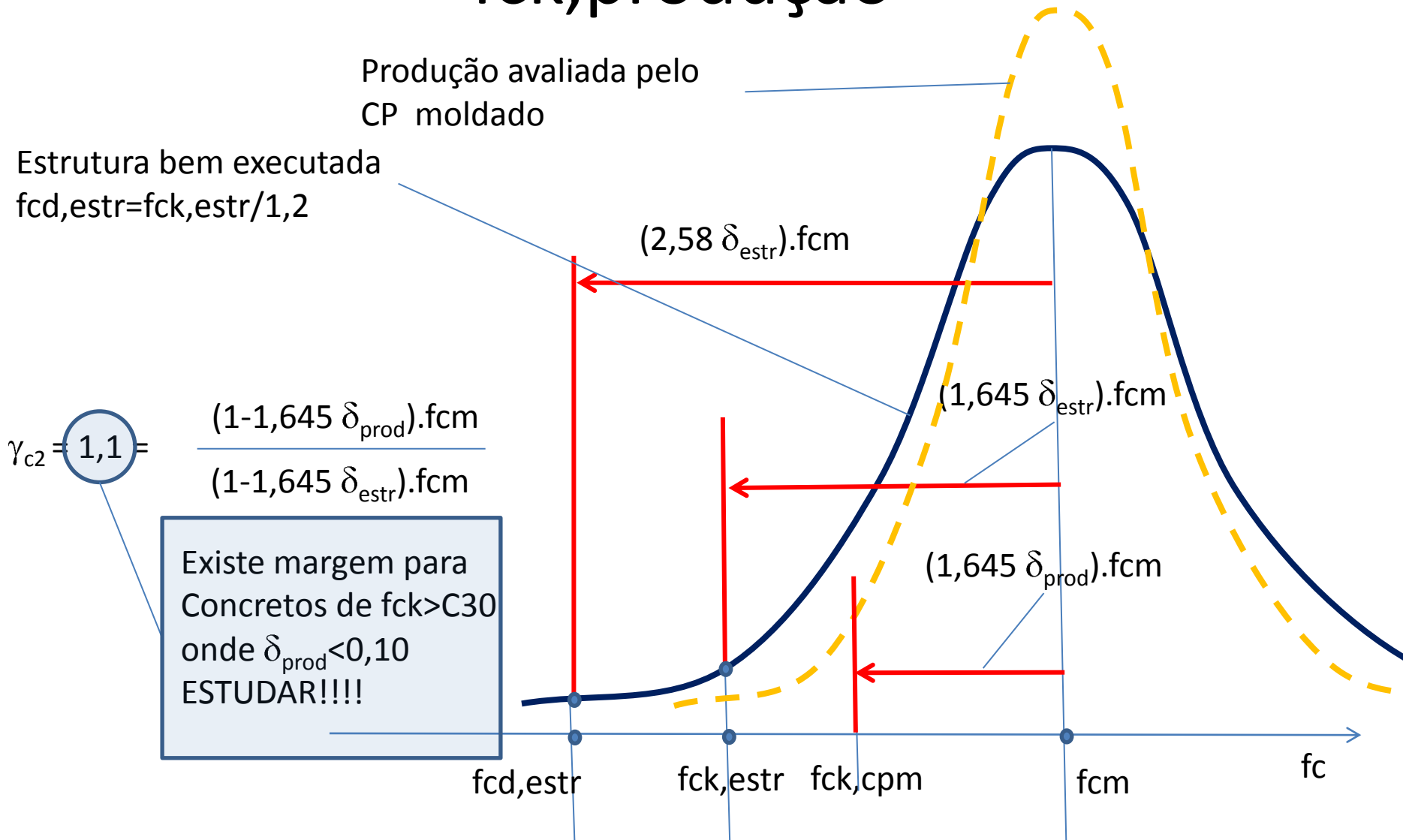
Premissas iniciais

1. Coeficiente de variação da resistência do concreto na produção $\delta_{prod} = 10\%$
2. Coeficiente de variação da resistência do concreto na estrutura $\delta_{estr} = 15\%$ (EUROCODE = 15%)
3. Probabilidade assumida $p(R < f_{cd}) = 0,5\%$
4. De 2 e 3 decorre o valor $\gamma_{c1} = 1,20$ (EUROCODE=1,24)
5. Coeficiente minoração devido a diferenças entre a variabilidade na estrutura e a da produção avaliada pelo CP moldado com $\gamma_{c2} = 1,1$ (diferença entre 1 e 2)
6. Coeficiente minoração devido a diferenças de resistência em regiões defeituosas $\gamma_{c3} = 1,06$ (EUROCODE=1,1)
7. $f_{cd,estr} = f_{ck,prod} / (\gamma_{c1} \gamma_{c2} \gamma_{c3}) = f_{ck,prod} / \gamma_c = f_{ck,prod} / 1,4$ (EUROCODE=1,5)

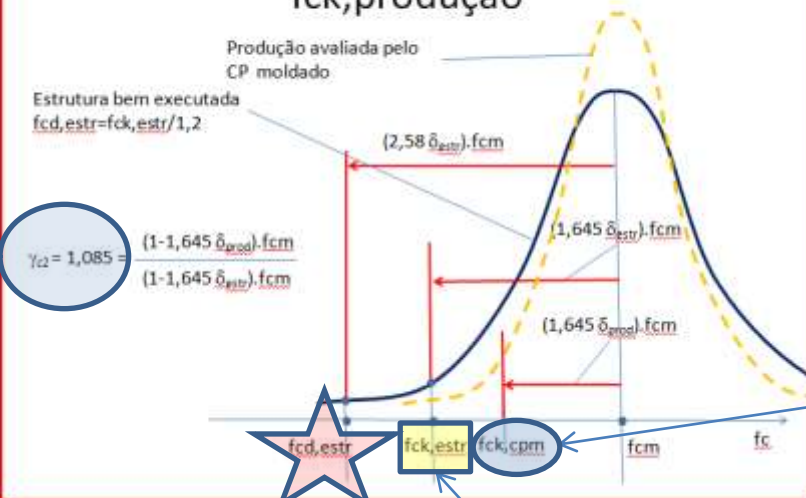
Representação Gráfica da Segurança (parcela da resistência)



Necessita-se relacionar $f_{ck,estr}$ com o $f_{ck,produção}$



Necessita-se relacionar $f_{ck,estr}$ com o $f_{ck,produção}$



Como a segurança é preservada:

1. Avalio a resistência característica da produção através do CP moldado, $f_{ck,cpm}$, de forma que este represente o quantil 5% do concreto produzido.

2. Divido esta resistência (1.) de $\gamma_{c2} = 1,1$ para transformá-la em f_{ck} da estrutura bem executada (EUROCODE=1,1)

3. Aplico $\gamma_{c1} = 1,20$ diminuindo a resistência de forma que esta tenha 0,5% de chance de ser encontrada na estrutura com valor menor do que $f_{cd,estr}$. (EUROCODE=1,24)

4. Aplico o coeficiente $\gamma_{c3} = 1,06$, que procura levar em consideração outros fatores como diferenças geométricas da seção e da posição das armaduras, bicheiras localizadas, porosidades, **situações evidentemente não visíveis** que levariam a estrutura a ser considerada bem executada, sem na verdade o ser completamente. (EUROCODE=1,1)

Controle Parcial

CP1A) É o que amostra uma parte da produção

Aplica-se a Norma NBR-12655 item 6.2.3.1

CP1B) Controle 100% sem cadastro e mapeamento.

Por não existir um cadastro confiável de rastreabilidade das peças efetivamente concretadas e devidamente associadas à betoneira aplica-se :

O estimador de acordo com o da amostragem 100% porém, o menor resultado obtido pela pior betoneira refletirá em todo o concreto aplicado, por falta de cadastramento. (Prof. Fusco – ABECE)

Parte 1

Controle por CP moldado

- Moldar por betonada 2 exemplares e tomar o maior como representativo é bastante razoável tendo em vista os defeitos de moldagem.
- No Controle Parcial, a estatística é feita através dos diversos resultados obtidos das diversas betonas amostradas ->
o que acaba por representar de forma indireta a variabilidade aparente da produção.

Controle Total

Análise da segurança

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. O caminhão betoneira tem variabilidade (desconhecida – ou não controlada de forma sistemática)
2. Se há variabilidade, o valor da resistência característica do concreto de uma betoneira, $f_{ck, bt}$ (referente ao quantil 5% da produção) não pode ser avaliado pelo resultado de uma amostra.
3. Conhecido o $f_{ck, bt}$, qual a sua relação com o f_{ck} da estrutura? Pode-se estabelecer, através do cadastro e mapeamento do concreto de cada betoneira um procedimento confiável de avaliação da resistência de um determinada peça?

Controle Total

Análise da segurança

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. O caminhão betoneira tem variabilidade (desconhecida – ou não controlada de forma sistemática)
2. Se há variabilidade, o valor da resistência característica do concreto de uma betoneira, $f_{ck,bt}$ (referente ao quantil 5% da produção) não pode ser avaliado pelo resultado de uma amostra.
3. Conhecido o $f_{ck,bt}$, qual a sua relação com o f_{ck} da estrutura? Pode-se estabelecer, através do cadastro e mapeamento do concreto de cada betoneira um procedimento confiável de avaliação da resistência de um determinada peça?

1. A Variabilidade do caminhão betoneira

Prof. Fusco – Trabalho Grupo ABECE

“ De acordo com a (NBR-11562 - item 6.3), para aceitar que uma betoneira esteja em condições satisfatórias de funcionamento, das 3 resistências obtidas para seu controle, exige-se que seja :”

$$X_{\max} - X_{\min} \leq 0,15X_0$$

Assumindo que X_{\max} e X_{\min} representem os valores extremos correspondentes aos Quantis 5% e 95 % respectivamente, pode-se adotar que $\delta_{bet}=4,5\%$.

(Prof Fusco adota em seu texto quantis mais extremos 0,135% e 99,87% o que resulta em $\delta_{bet}=2,5\%$).

Evidentemente, estes valores devem ser confirmados por ensaio com procedimento normalizado a serem estabelecidos.

Controle Total

Análise da segurança

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. O caminhão betoneira tem variabilidade (desconhecida – ou não controlada de forma sistemática)
2. Se há variabilidade, o valor da resistência característica do concreto de uma betoneira, $f_{ck,bt}$ (referente ao quantil 5% da produção) não pode ser avaliado pelo resultado de uma amostra.
3. Conhecido o $f_{ck,bt}$, qual a sua relação com o f_{ck} da estrutura? Pode-se estabelecer, através do cadastro e mapeamento do concreto de cada betoneira um procedimento confiável de avaliação da resistência de um determinada peça?

2. Determinação do $f_{ck,bet}$

$$f_{ck,bt} = (1 - 1,645 * 0,045) \cdot X_o$$

$$f_{ck,bt} = 0,93 \cdot X_o$$

X_o é tomado como o maior valor dentre os dois exemplares amostrados.

É admitido que X_o é valor representativo da média das resistências da betoneira, por ter sido amostrado no 3º médio (**esta assunção parece pouco consistente e é uma aproximação não muito confiável, mas a melhor que temos!**)

Controle Total

Análise da segurança

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. O caminhão betoneira tem variabilidade (desconhecida – ou não controlada de forma sistemática)
2. Se há variabilidade, o valor da resistência característica do concreto de uma betoneira, $f_{ck, bt}$ (referente ao quantil 5% da produção) não pode ser avaliado pelo resultado de uma amostra.
3. Conhecido o $f_{ck, bt}$, qual a sua relação com o f_{ck} da estrutura? Pode-se estabelecer, através do cadastro e mapeamento do concreto de cada betoneira um procedimento confiável de avaliação da resistência de um determinada peça?

3. O $f_{ck, bt}$ e sua relação com o f_{ck} da estrutura

$$f_{ck, bt} = (1 - 1,645 * 0,045) \cdot X_o$$

$$f_{ck, bt} = 0,93 \cdot X_o$$

Se admitirmos que a estrutura continua com a mesma variabilidade que tinha antes, pois esta não é afetada pelo tipo de controle adotado,

pode-se entender que o $f_{ck, estr} = f_{ck, bt} / (\gamma_{c2} = 1,1)$ e portanto basta provar que:

$$f_{ck, bt} \geq f_{ck, esp}$$

Isto significa não centrar $f_{cm, bt}$ em $f_{cm, estr}$, o que por si só reflete em um ganho econômico ($\gamma_{c2} = 1,23$)

Controle Total Análise da segurança

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. O caminhão betoneira tem variabilidade (desconhecida – ou não controlada de forma sistemática)
2. Se há variabilidade, o valor da resistência característica do concreto de uma betoneira, $f_{ck, bt}$ (referente ao quantil 5% da produção) não pode ser avaliado pelo resultado de uma amostra.
3. Conhecido o $f_{ck, bt}$, qual a sua relação com o f_{ck} da estrutura? Pode-se estabelecer, através do cadastro e mapeamento do concreto de cada betoneira um procedimento confiável de avaliação da resistência de um determinada peça?

3. O $f_{ck, bt}$ e sua relação com o f_{ck} da estrutura

$$f_{ck, bt} = (1 - 1,645 * 0,045) \cdot X_0$$

$$f_{ck, bt} = 0,93 \cdot X_0$$

Se admitirmos que a estrutura continua com o mesma variabilidade que tinha antes, pois ela não é afetada devido ao controle é total, que refere-se à produção e não a sua aplicação pela obra, pode-se entender que o $f_{ck, estr} = f_{ck, bt} / (\gamma_{c2} = 1,1)$ e portanto basta provar que:

$$f_{ck, bt} \geq f_{ck, esp}$$

Discussão:

Será que não houve um ganho na representação da resistência ao amostrar e cadastrar as peças concretadas com o produto de uma determinada betoneira?

Parece que sim, pois temos maior controle sobre o que foi produzido, porém os desvios executivos continuam existindo da mesma forma. Uma maneira de buscar medir este ganho seria assumir que $\gamma_{c2} \gamma_{c3}$ estejam em parte associados a um aumento da variabilidade do concreto produzido e não a um coeficiente fixo. **Este seria um tema importante para a academia e a comunidade técnica definir.**

No momento, não temos dados para mudar o procedimento e o aconselhável é permanecer como estamos até termos estes trabalhos desenvolvidos.

Parte 2

Procedimento de análise de situação não conforme

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. A NBR-6118 estabelece que f_{ck} é medido aos 28 dias
2. Esta medida teve como objetivo eliminar dúvidas quanto à idade de controle.
3. Se o controle for realizado antes dos 28 dias, permite-se que se estabeleça um relação de crescimento de forma a que a aprovação sob “júdice” do concreto seja estabelecida. Porém, deve-se sempre comprovar que aos 28 dias obteve-se resistência com o valor superior ao especificado em projeto.

O concreto não tem resistência conhecida a menos que convencionemos alguns parâmetros

- O trabalho de Rüsç estabelecido em 1960, demonstrou claramente duas situações distintas, ou seja:
 - Existe crescimento da resistência do concreto com o tempo (ensaio normalizado de carregamento). Esta depende do tipo de cimento, dentre outras.
(Amadurecimento)
 - Existe perda de resistência por carga mantida.(Efeito Rüsç)
 - A velocidade do carregamento afeta a resistência para menos ou para mais.

Parâmetros adotados pela NBR-6118

- Prof. Fusco (Grupo ABCE):

AVALIÇÃO DA SEGURANÇA DE PROJETO - I LEV N - ATAS II BANCOS ODOTE M OLFER AÇNARUGES AD OÇALAVA

odi ehnoc r olav m m è k_c f : A Q S À B E S E T Ô P I H

(ot e j o r p e d o t i e f e s r a P) O M T L U Ê M L O D A T S E = A D R Ô E T A N U R

[] d s = 2 b 2) (b R = R [O T E R O R P E D A N U R E D O A Q D N O C

O T E R C N O C E D S A R U T U R T S E f_c = f_{cd} = k_{do} k_{db} = f_c

$$f_{cd} = k_{do} \cdot k_{db} \cdot f_c$$

$$k_{do} = \frac{1}{\gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3}$$

Parâmetros adotados pela NBR-6118

- Prof. Fusco (Grupo ABECE):

AValiação DA SEGURANÇA PELO MÉTODo PROBABILISTA - NÍVEL I

HIPÓTESE BÁSICA: f_{ck} é um valor conhecido.

RUÍNA TEÓRICA = ESTADO LIMITE ÚLTIMO (Para efeito de projeto)

CONDIÇÃO DE RUÍNA DE PROJETO: $[(R-R_M)^2 / (S^2 + S_d^2)]$

ESTRUTURAS DE CONCRETO: $f_{c,estrutura} = f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$

$f_{cd} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \frac{f_{ck}}{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3}}$

Como é possível verificar a NBR-6118 assume que o concreto tem um potencial de crescimento de resistência de 23% enquanto que na presença de carga mantida perde 28%.

$$\text{Assim: } f_{1c,estr} = k_{MOD} f_{cd,estr}$$

$$k_{MOD} = 1,23 \cdot 0,72 \cdot 0,96 = 0,85$$

O significado disto é que a NBR-6118 assume perdas que de fato se estabelecerão com o passar do tempo (algo em torno de 2,5 anos de idade). Portanto, a resistência adotada no projeto é a que se dará após anos de carregamento, não é a de 28 dias.

No entanto, o valor tomado aos 28 dias é aumentado em 23% para levar em conta o ganho futuro e ao mesmo tempo multiplicado por 0,72 para contemplar as possíveis perdas por carga mantida.

Desta forma, na segurança da estrutura está já computado o crescimento admitido da resistência do concreto e a perda total esperada pelo efeito da carga mantida, tudo relacionado à idade de referência de 28 dias.

Ilustração Gráfica

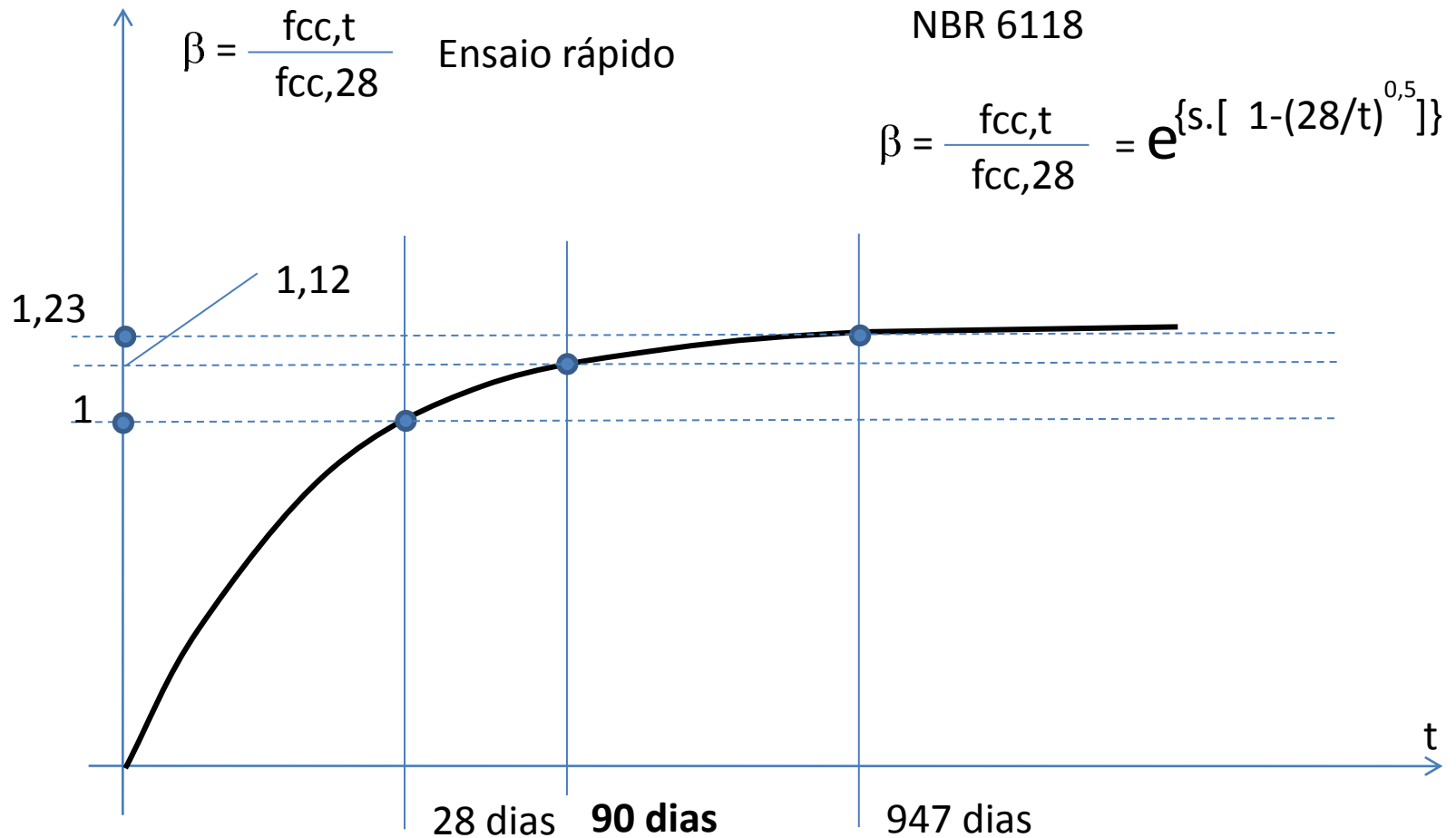
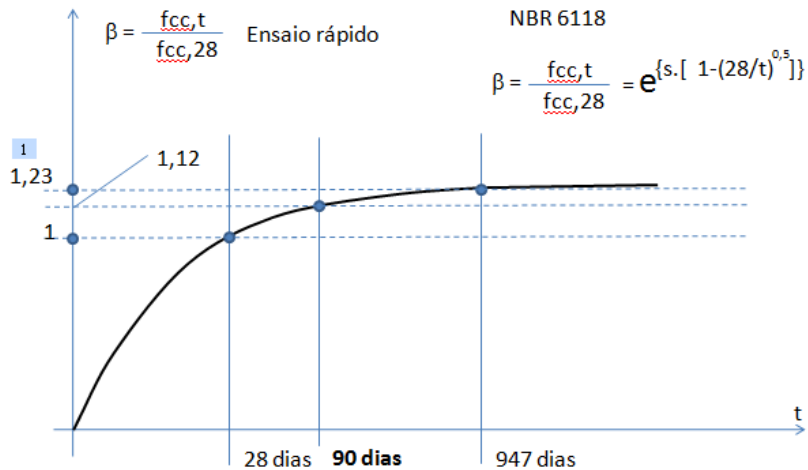


Ilustração Gráfica



Como é possível notar um controle aos 90 dias corresponderia a uma perda substancial de crescimento futuro e o coeficiente Kmod de 0,85 passaria para

$$K_{mod} = 1,23 / 1,12 * 0,72 * 0,96$$

Ou seja, **0,76 ao invés de 0,85 fcd**

Isto demonstra a perda de segurança que este procedimento significaria.

Evidentemente, caso se possa provar que o concreto possui um potencial de ganho maior do que os 230% preconizados (por exemplo, concreto com adições que retardem a pega). Nestes casos, devido ao fato deste ganho ser superior ao valor considerado na segurança é possível lançar mão deste ganho.

Por exemplo: concreto com ganho em 947 dias de 29% (s=0,306), resultaria em um Kmod de $1,29 \cdot 0,72 \cdot 0,96 = 0,89$ com 4,9% de ganho.

Neste caso, seria razoável justificar um $f_{ck,bt}$ mais baixo aos 28 dias.

Por outro lado seria importante verificar a perda do uso do ARI em controles a 28 dias (s=0,15 – crescimento 1,13 – $K_{mod} = 1,13 \cdot 0,72 \cdot 0,96 = 0,78$)

Parte 3

Segurança avaliada por CPs extraídos da estrutura

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. A resistência do CP extraído da estrutura é mais confiável do que a obtida pelo do CP moldado, por contemplar algumas das variabilidades que são incorporadas na aplicação.
2. A possibilidade de uma moldagem defeituosa não cabe neste caso. (Prof. Fusco – ABECE)
3. O processo de extração é fundamental na obtenção de resultados representativos.
4. Existe variabilidade de resistência do concreto aplicado à peça.
5. O processo de broqueamento do CP pode prejudicar a avaliação da resistência.

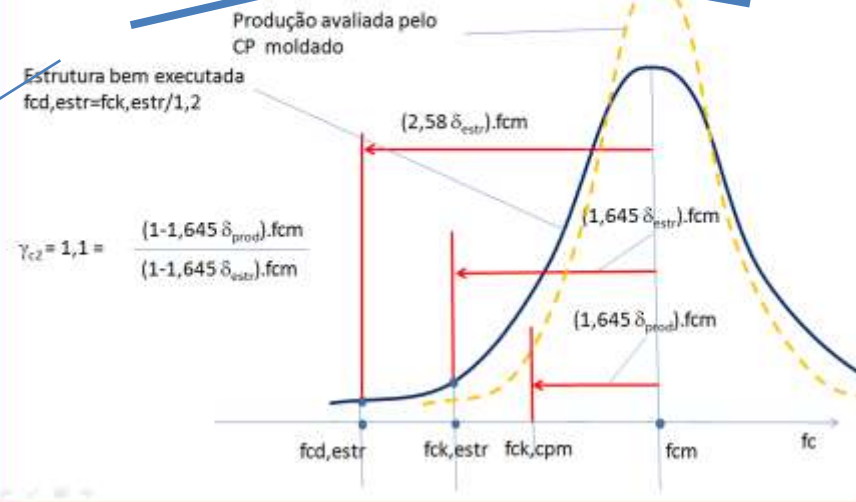
Segurança avaliada por CPs extraídos da estrutura

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. A resistência do CP extraído da estrutura é mais confiável do que a obtida pelo do CP moldado, por contemplar algumas das variabilidades que são incorporadas na aplicação.
2. A possibilidade de uma moldagem defeituosa não cabe neste caso. (Prof. Fusco – ABECE)
3. O processo de extração é fundamental na obtenção de resultados representativos.
4. Existe variabilidade de resistência do concreto aplicado à peça.
5. O processo de broqueamento do CP pode prejudicar a avaliação da resistência.

1A. A resistência obtida pela extração tende a ser mais confiável pois os eventuais desvios ocorridos entre o despejo da betoneira até a aplicação do concreto estarão contemplados.

~~Necessita-se relacionar $f_{ck,estr}$ com o $f_{ck,produção}$~~



Estrutura bem executada:

$$f_{cd,estr} = f_{ck,estr} / 1,2 / 1,06$$

$$f_{cd,estr} = f_{ck,estr} / 1,273$$

4. Aplico o coeficiente $\gamma_{c3} = 1,06$, que procura levar em consideração outros fatores como diferenças na posição das armaduras, bicheiras localizadas, porosidades, situações evidentemente não visíveis que levariam a estrutura a ser considerada bem executada, sem na verdade o ser completamente. (EUROCODE=1,1)

Segurança avaliada por CPs extraídos da estrutura

Algumas afirmações conceituais a serem consideradas:

1. A resistência do CP extraído da estrutura é mais confiável do que a obtida pelo do CP moldado, por contemplar algumas das variabilidades que são incorporadas na aplicação.
2. A possibilidade de uma moldagem defeituosa não cabe neste caso. (Prof. Fusco – ABECE)
3. O processo de extração é fundamental na obtenção de resultados representativos.
4. Existe variabilidade de resistência do concreto aplicado à peça.
5. O processo de broqueamento do CP pode prejudicar a avaliação da resistência.

1B , 3 e 4. Qual a relação entre os valores amostrados e com CP extraídos e a resistência característica da estrutura?

Como o concreto amostrado na estrutura é assumido como o de uma betoneira muito bem caracterizada pela rastreabilidade, a variabilidade da resistência amostrada será assumida como aquela obtida para a betoneira , ou seja, coef. de variação = 4,5%.

$$f_{ck,extr} = (1 - 1,645 \cdot 0,045) \cdot X_{m,extr}$$

$$f_{ck,extr} = 0,93 \cdot X_{m,extr}$$

assumindo $f_{ck,estr} = f_{ck,extr}$

Tendo em vista, $f_{ck, estr} = f_{ck, exp}$

e levando em conta que o padrão de medida, baseado no f_{ck} da produção, é obtido através do $f_{ck, bt} > f_{ck, esp}$, decorre que no processo de segurança, para obter-se $f_{ck, estr}$ o valor de $f_{ck, bt}$ é minorado de $\gamma_{c2} = 1,1$.

No caso, para simplificar o raciocínio, para a aprovação da resistência do concreto, vale a relação:

$$\gamma_{c2} \cdot f_{ck, extr} \geq f_{ck, esp}$$

Devemos, no entanto, verificar se a variabilidade apresentada pela amostra extraída é compatível com as hipóteses assumidas, onde o coef. de variação adotado foi de 4,5%, de forma a preservarmos as reservas de segurança esperadas.

$X_{m, extr}$ = Media dos CPs extraídos de um elemento estrutural, desde que estes sejam originários de uma única betonada.

Sugestão : Procedimento de avaliação do $f_{ck,extr}$

1. Extrair 2 CPs da peça sob suspeição $X_{1,extr} < X_{2,extr}$
2. Avaliar a média dos dois resultados $X_{m,extr}$
3. Determinar $X_{k,extr} = 0,93 X_{m,extr}$
4. Se $X_{k,extr} \leq X_{1,extr}$, valor aprovado e $f_{ck,extr} = X_{k,extr}$
5. Se $X_{k,extr} > X_{1,extr}$, solicitar nova extração
6. Com dados da nova extração : $X_{1,extr} < X_{2,extr} < X_{3,extr}$
7. Avaliar a média dos **dois maiores** resultados $X_{m,extr}$
8. Determinar $X_{k,extr} = 0,93 X_{m,extr}$
9. Se $X_{k,extr} \leq X_{1,extr}$, valor aprovado e $f_{ck,extr} = X_{k,extr}$
10. Se $X_{k,extr} > X_{1,extr}$, Determinar $f_{ck,extr} = 0,93$
Média(X_1, X_2, X_3),extr

Correção dos valores de acordo com a data de ensaio do CP.

Os valores de Xi das extrações devem ser equalizados no multiplicando-se seus valores por tempo da seguinte forma:

Crescimento projetado da data do ensaio até 382 dias

$$K_{\text{mod,efetivo}} = \beta(947, t_{\text{extr}}) \cdot 0,72 \cdot 0,96$$

$$K_{\text{mod,NBR}} = 0,85$$

$$\beta = \frac{f_{cc,t}}{f_{cc,28}} = e^{\{s \cdot [(28/t)^{0,5} - (28/947)^{0,5}]\}}$$

$$\text{Coef. de Correção} = C_K = \frac{K_{\text{mod,efetivo}}}{K_{\text{mod,NBR}}}$$

Normalmente, $C_K \leq 1$

Discussão

- Quanto o processo da extração prejudica o resultado do ensaio do CP extraído?
 - O broqueamento do elemento estrutural microfissura o CP.
 - O cuidado com a extração de maneira a que não incorpore a armadura no CP.
 - O aspecto do CP pode ser muito ilustrativo à tomada de decisão

Discussão

- Necessitamos de dados confiáveis obtidos por ensaios representativos da grandeza destes desvios para uma tomada de decisão correta e segura!

Discussão e proposta

- Por hora, pela lógica apresentada o que temos é :

$$\gamma_{c2} \cdot C_K \cdot f_{ck, extr} = \gamma_{c2} \cdot 0,93 \cdot C_K \cdot X_{m,extr} > f_{ck,esp}$$

- Com uma pesquisa sobre os valores de perda média no processo de extração, se for consenso, a expressão acima ficaria:

$$\gamma_{c,extr} \cdot \gamma_{c2} \cdot C_K \cdot f_{ck, extr} = \gamma_{c,extr} \cdot \gamma_{c2} \cdot 0,93 \cdot C_K \cdot X_{m,extr} > f_{ck,esp}$$

Proposta Prof. Fusco : $X_{m,extr} \geq f_{ck,esp}$ o que equivale a $\gamma_{c,extr} = 1,075$

Pontos para pesquisa

Discussão e proposta

- Por hora, pela lógica apresentada o que temos é :

$$\gamma_{c2} \cdot C_K \cdot f_{ck,extr} = \gamma_{c2} \cdot 0,93 \cdot C_K \cdot X_{m,extr} > f_{ck,esp}$$

- Com uma pesquisa sobre os valores de perda média no processo de extração, se for consenso, a expressão acima ficaria:

$$\gamma_{c,extr} \cdot \gamma_{c2} \cdot C_K \cdot f_{ck,extr} = \gamma_{c,extr} \cdot \gamma_{c2} \cdot 0,93 \cdot C_K \cdot X_{m,extr} > f_{ck,esp}$$

Proposta Prof. Fusco : $X_{m,extr} \geq f_{ck,esp}$ o que equivale a $\gamma_{c,extr} = 1,075$

Obrigado!