

Controle de execução para garantia da segurança e desempenho da estrutura.



Prof. Francisco Paulo Graziano
Pasqua e Graziano Associados / EPUSP



1

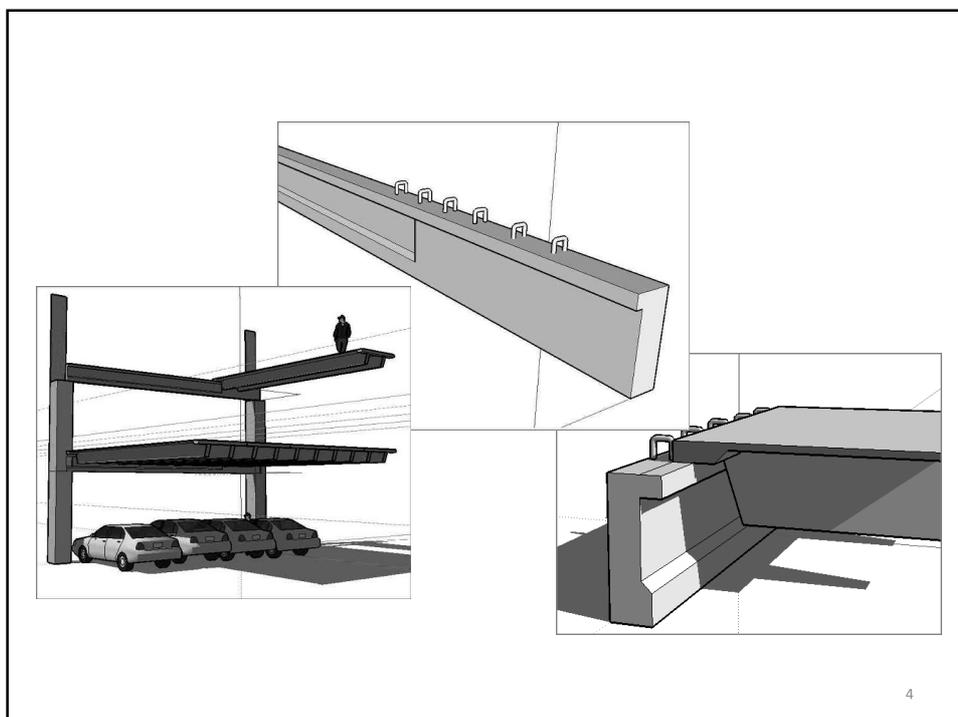
Noções sobre estruturas de concreto

2

O que é uma estrutura de concreto

- Antes de tudo definamos estrutura: como um arranjo espacial, utilizando materiais de resistência confiável, com a finalidade de manter estável uma forma previamente concebida, sujeita a ações bem determinadas.
- A estrutura de concreto é o acima definido utilizando como material resistente o concreto estrutural.
- Exemplos:

Francisco Paulo Graziano

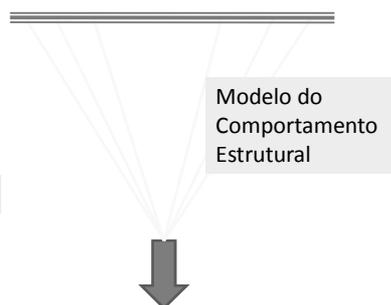
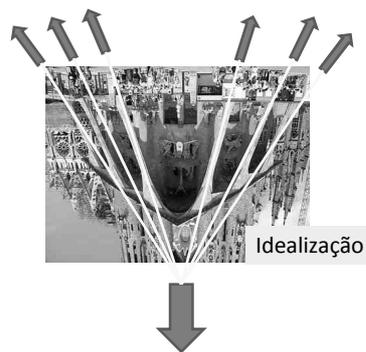


O que é uma estrutura de concreto

- Inicialmente as estruturas eram comparadas a modelos físicos (maquetes) ou modelos conceituais que representavam as funções estruturais de equilíbrio e resistência.



Gaudi



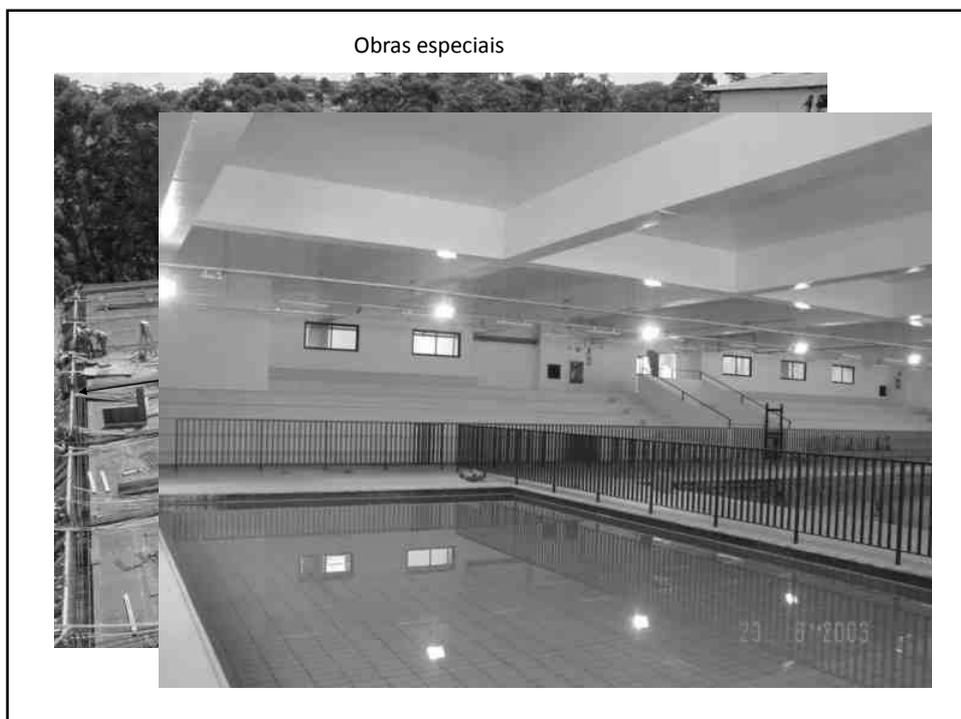
Francisco Paulo Graziano

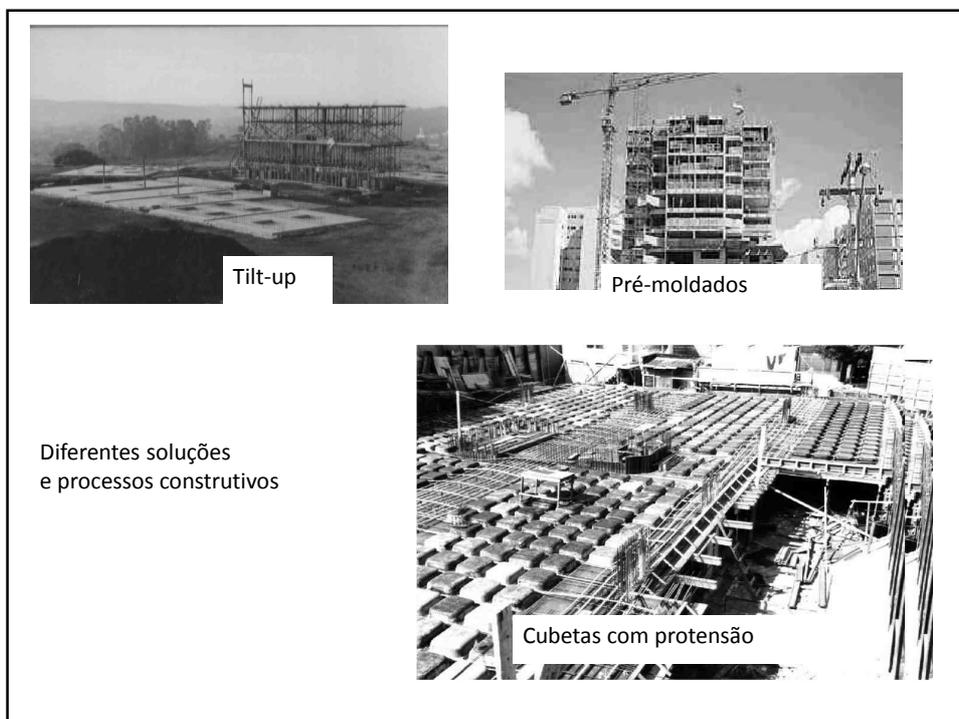
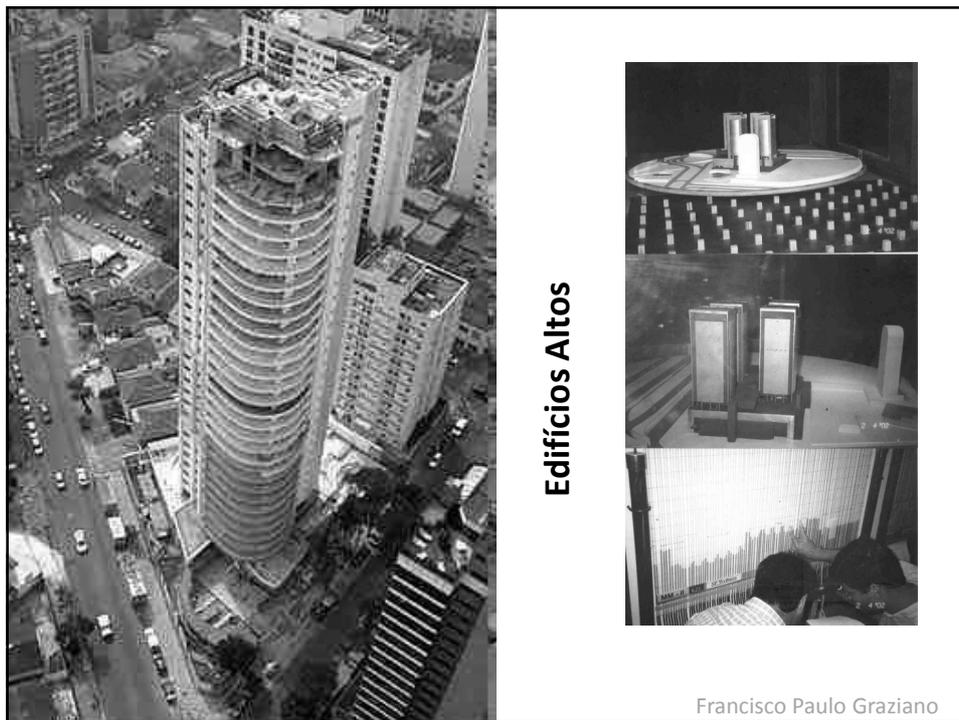


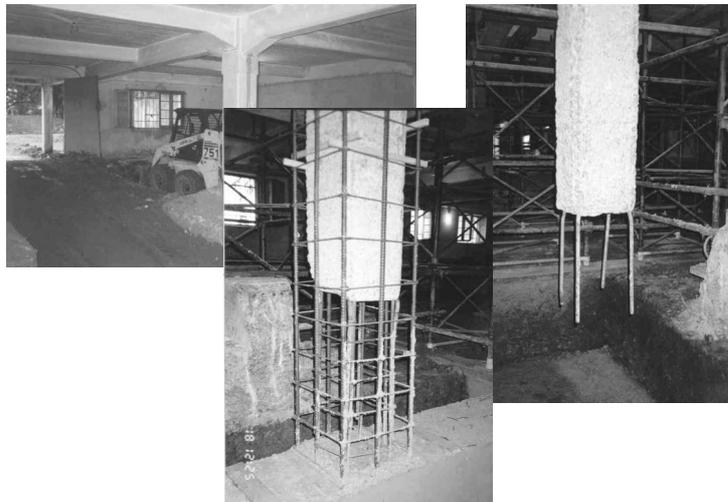
Edif. Em laje plana protendida



Francisco Paulo Graziano



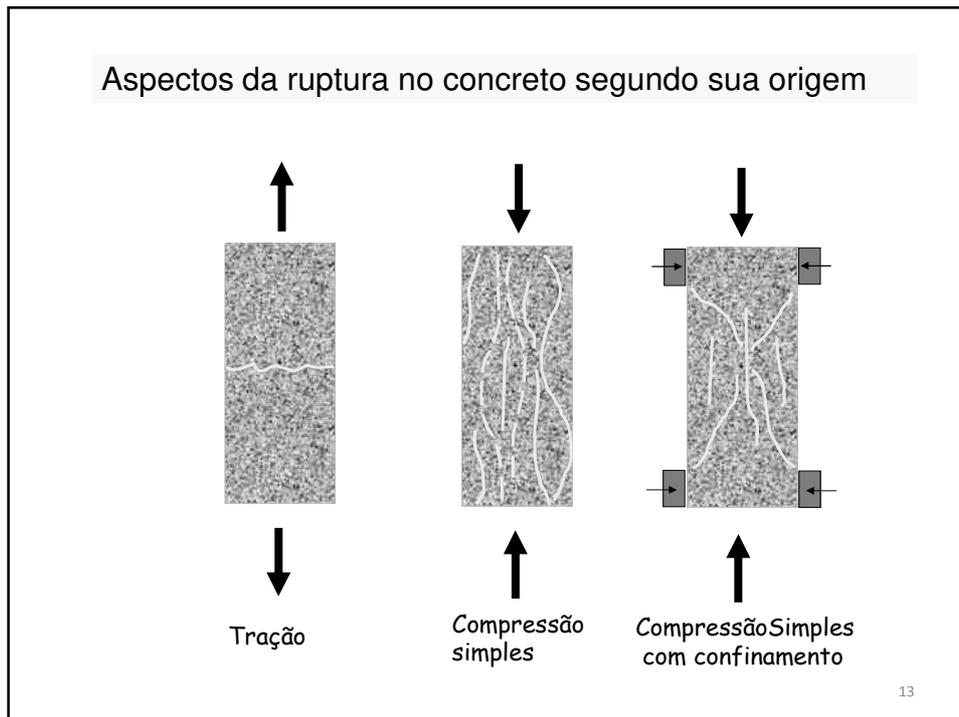




Recuperação e reforço estrutural

Francisco Paulo Graziano

Projeto e execução de estruturas de concreto armado



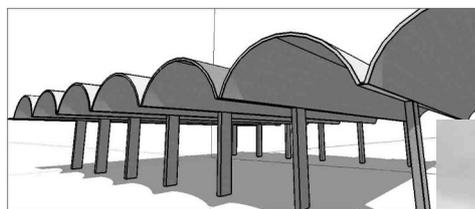
O que é um projeto estrutural

- O projeto estrutural é a evolução de modelos reduzidos através da aplicação dos conhecimentos da Física e da Matemática a modelos conceituais.
- O projeto desde sempre foi uma modelagem uma tentativa de adiantar o comportamento da obra é uma

“Projeção do futuro”

- Hoje as ferramentas digitais nos tem auxiliado muito na elaboração dos projetos, mas continuamos dependendo dos materiais.

O que é um projeto estrutural



*Estudo de viabilidade e montagem
do CEASA –RIO – recuperação trecho
colapsado*



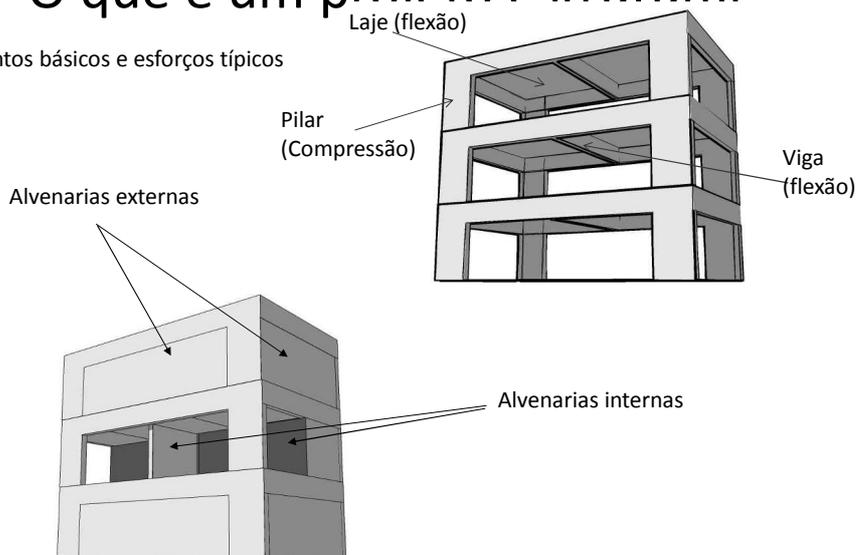
2005



Francisco Paulo Graziano

O que é um projeto estrutural

Elementos básicos e esforços típicos



Francisco Paulo Graziano

O concreto e sua importância

Francisco Paulo Graziano

Qual a importância do concreto

- É o segundo material mais consumido pela humanidade, perdendo só para a água.
- Tem sido utilizado desde o Império Romano, porém, só à partir de 1950 é que de fato a sua formulação teórica tomou a forma que até hoje utilizamos, com o trabalho de Rüsçh, na Alemanha.
- No Brasil, as estruturas de concreto representam mais de 90% das estruturas projetadas e executadas.

Francisco Paulo Graziano

Características do concreto estrutural

- Material muito resistente à compressão e pouco à tração (relação $\sim 1/10$)
- Material durável
- Material de desempenho variável com o traço empregado, ou seja, os resultados dependem da formulação e da produção (até aí tudo bem!), mas ainda é muito dependente de fatores de grande variabilidade (pedra, areia, cimento, adições,..., manipulação humana)

Francisco Paulo Graziano

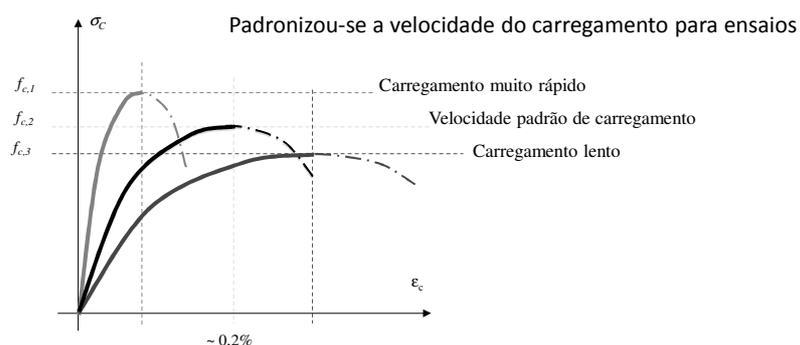
Características do concreto estrutural

- O concreto é um material complexo quanto ao suas características, vejamos a resistência à compressão:
 - Seu comportamento é de resposta não linear, ou seja, não existe uma relação linear entre tensão e deformação.
 - A resistência à compressão do concreto depende de inúmeros fatores, os principais são:
 - 1) Idade do concreto (maturidade)
 - 2) Velocidade de aplicação da carga
 - 3) Umidade do ambiente
 - 4) Temperatura do ambiente
 - 5) Tempo de duração do carregamento
 - 6) Tipo de cimento

Francisco Paulo Graziano

A resistência do concreto

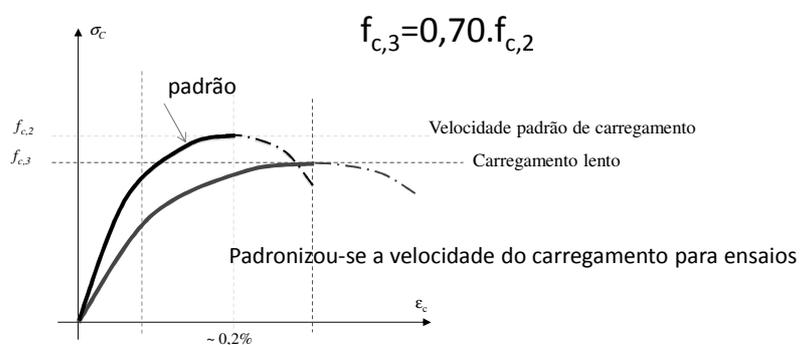
- Com todas as variações apresentadas anteriormente, pode-se dizer que a resistência do concreto é desconhecida, a não ser que todas as condições elencadas sejam conhecidas.



Francisco Paulo Graziano

A resistência do concreto

- A padronização da velocidade do carregamento no ensaio impõe que atribuamos uma correção para carregamentos lentos onde $f_{c,3}$ é menor do que $f_{c,2}$, assim Rüschi, em seu trabalho de pesquisa determinou um coeficiente $K_{mod}=0,70$, para este efeito, tal que,



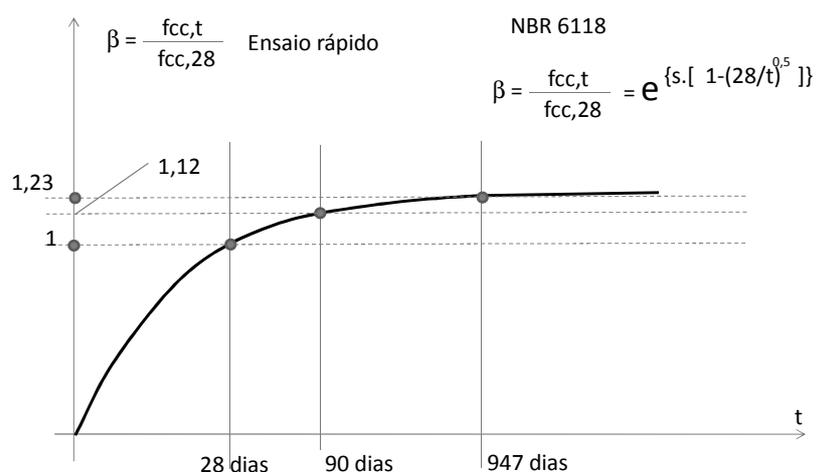
Francisco Paulo Graziano

A resistência do concreto

- Por outro lado a maturidade é representada pelo crescimento da resistência do concreto com o tempo. Isto pode ser identificado se fizermos diversos ensaios padrão para o mesmo concreto em diversas idades.
- Sabe-se que concretos mais velhos apresentam maiores resistências.

A resistência do concreto

Ilustração Gráfica



A resistência do concreto

Assume-se, então, que a resistência do concreto seja, a composição dos dois efeitos, um primeiro, deletério, chamado de $K_{mod}=0,70$ e um segundo, favorável, chamado amadurecimento $\beta=1,23$, relacionado à idade de 28 dias.

O produto dos dois resulta o chamado coeficiente Rüschi=0,85.

Assim, enuncia-se que a resistência de uma estrutura sujeita a cargas quaisquer durante um período longo (>3 anos) de vida é

$$0,85 \cdot f_c, \text{ensaio_padrão_rápido, 28dias.}$$

Importante perceber que foi fixada a idade do concreto em 28 dias, para realizar o ensaio rápido. Se mudarmos o dia do ensaio temos que re-deduzir o coeficiente Rüschi. Assim, idades de controle maiores, coeficientes Rüschi menores, até o limite e 0,70.

A resistência do concreto

Ilustração Gráfica

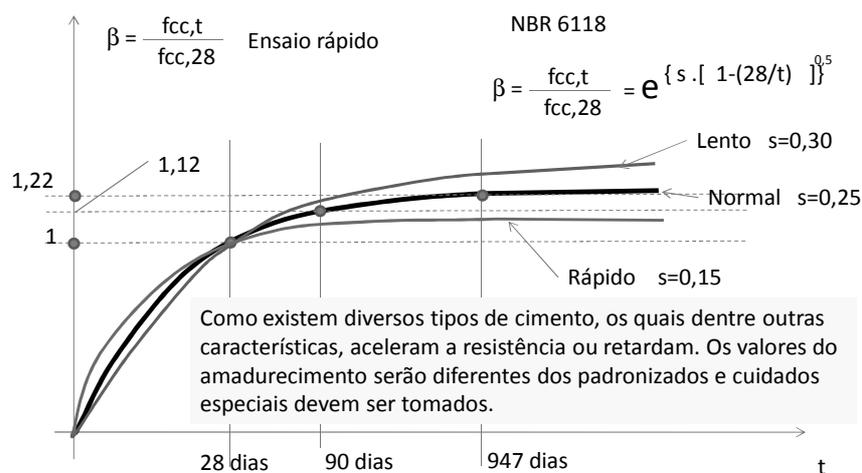
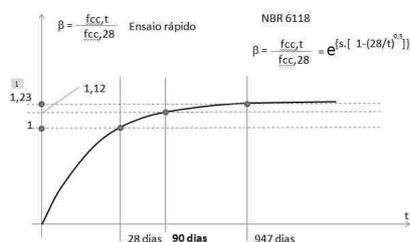


Ilustração Gráfica



A resistência do concreto

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 23% 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 $1,29 * 0,72 * 0,96 = 0,89$ 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 – $K_{mod} = 1,13 * 0,72 * 0,96 = 0,78$)

Francisco Paulo Graziano

A resistência do concreto

- Conclusões :
 - Controle de resistência tem que ser aos 28 dias
 - Cimento de pega rápida (ARI) deve ser utilizado em concretos com controle antes do 28 dias, até 11 dias, de forma a garantir o ganho de resistência esperado de 23%.
 - Por outro lado, concreto produzidos com cimento de pega lenta podem ter controle posterior a 28 dias, desde que se garanta 23% de crescimento pós-data-controle.

Francisco Paulo Graziano

Formulação da Segurança

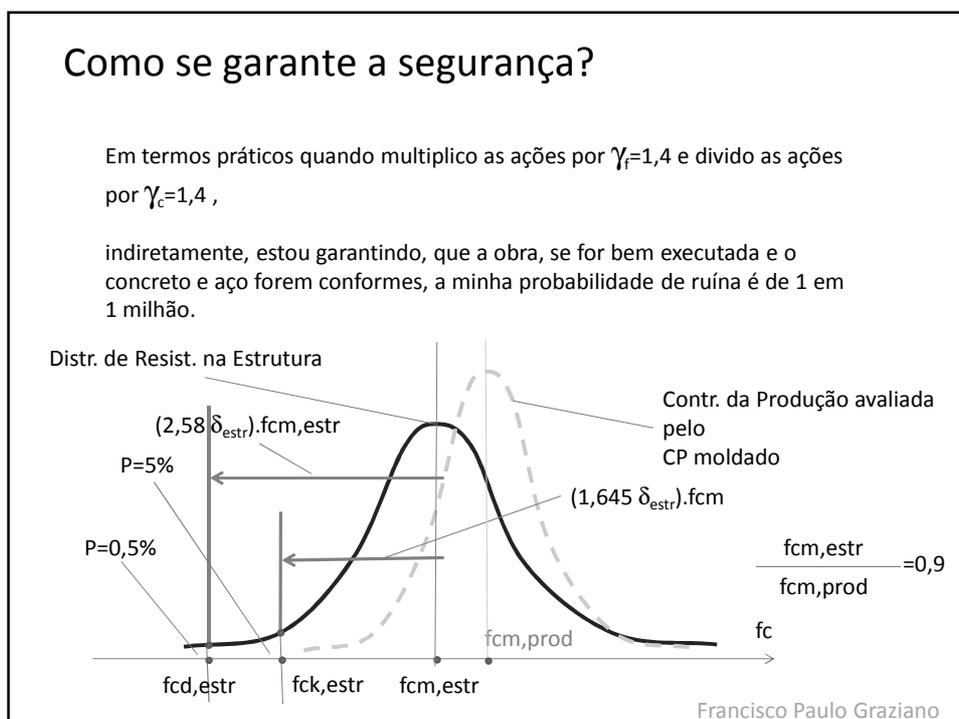
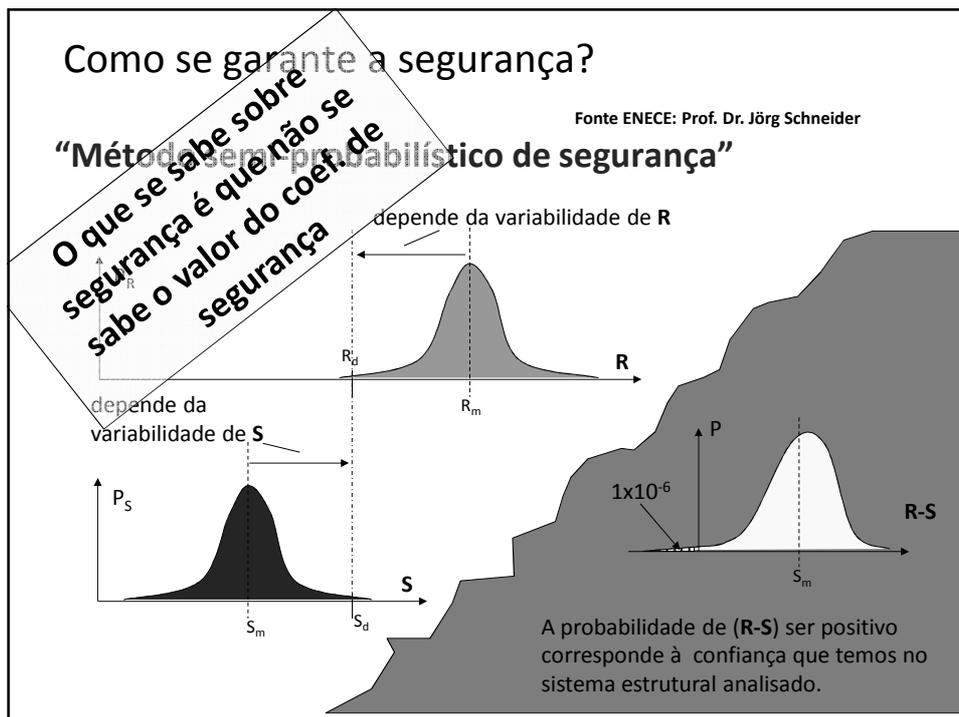
Francisco Paulo Graziano

Como se garante a segurança?

- O que se sabe sobre coeficientes de segurança é que nada sabemos sobre eles!
 - Modernamente, segurança é a medida do grau de confiança que depositamos naquela estrutura
 - Confiabilidade é bem definida na teoria Estatística de controle de qualidade.

**Segurança é confiabilidade
ou probabilidade de sucesso!**

Francisco Paulo Graziano



Não conformidade

Francisco Paulo Graziano

Concreto não conforme é normal?

- O que é não conforme?
 - Ser não conforme é não atender as especificações mínimas exigidas para um concreto, porém, não necessariamente refere-se à resistência à compressão.
- É aceitável que um concreto não atenda as especificações mínimas de resistência?
- Se sim, o que seria aceitável?

Francisco Paulo Graziano

Concreto não conforme é normal?

- Existe uma certa confusão sobre o que é controlar a resistência do concreto, porque na verdade controlamos quando muito a produção de concreto feita pela produção (usina, betoneira da obra, etc.), mas não controlamos objetivamente a resistência da estrutura.
- Admite-se que controlando a produção estamos indiretamente controlando em parte o concreto aplicado na estrutura. Numa hipótese semelhante ao que se aplica ao DNA dos seres vivos. Assim, um cavalo que tem bom DNA de campeão, tem boa chance de ser campeão mas isto não garante que este será mesmo.

Francisco Paulo Graziano

Concreto não conforme é normal?

- Para melhorar as chances de campeão do meu cavalo de bom DNA, devo alimentá-lo, cuidá-lo e treiná-lo bem.
- Da mesma forma um concreto bem produzido, com baixa variabilidade (DNA), se for bem aplicado pela obra, com vibração adequada e cura adequadas, tende a dar uma boa estrutura de concreto.
- O contrário, ou seja, concreto mal produzido (DNA ruim), mesmo que bem aplicado, não dará uma boa estrutura.
- Então concreto bom, é o que apresenta baixa variabilidade e resistência média adequada.

Concreto não conforme é normal?

- Imaginemos uma usina que tenha 40 caminhões betoneira de 12 m³ e que façam 3 viagens por dia cada um.
- Ao final do dia a produção da usina será de 1.440m³ de concreto.
- Define-se que fck é a resistência que caracteriza-se pelo quantil 5% da distribuição de freqüências, ou seja a chance de ocorrer resistências menores do que fck é de 5%.

Francisco Paulo Graziano

Concreto não conforme é normal?

- Assim poderíamos considerar que 5% \times 1.440=72 m³ de concreto abaixo da resistência fck, seria normal. Mas para a obra que recebeu este concreto poderá significar a perda de todos os pilares em mais de 1.000m² de laje.
- Para a obra não é normal pois 100% dos pilares de um andar ficaram comprometidos.
- Por este raciocínio, se pode entender que a usina não pode aplicar o critério de controle da obra para produzir concreto, ela tem que ser muito mais rigorosa.
- Além disto, é preciso verificar com que resistência o fck não foi atendido! (0,95 fck; 0,9fck; 0,8fck; 0,7fck;...)

Francisco Paulo Graziano

Concreto não conforme é normal?

- Notar que a seguinte tabela expressa a realidade probabilística:

fc/fck	Probabilidade
1,00	5,00%
0,95	2,48%
0,90	1,13%
0,85	0,47%
0,80	0,18%
0,75	0,06%
0,70	0,02%
0,65	0,01%
0,60	0,00%
0,55	0,00%
0,50	0,00%
0,45	0,00%

← = fcd (probabilidade de ruína do dôbro da estipulada)

Francisco Paulo Graziano

Porque existe concreto não conforme?

- Se aumentarmos em 12% o valor médio da resistência de produção não existirá, na prática, concreto não conforme entregue à obra.
- Portanto, o problema é mais de calibragem e controle, excetuando-se descontrolado no fornecimento dos insumos do concreto.

Francisco Paulo Graziano

Consequências para a estrutura que recebe um concreto não conforme

- Risco de ruína da estrutura
- Excesso de deformabilidade das peças fletidas
- Aumento da deformação lenta por excesso de tensão relativa.
- Diminuição do tempo de vida útil (Compacidade menor do concreto , A/C (alto), f_c abaixo do especificado)

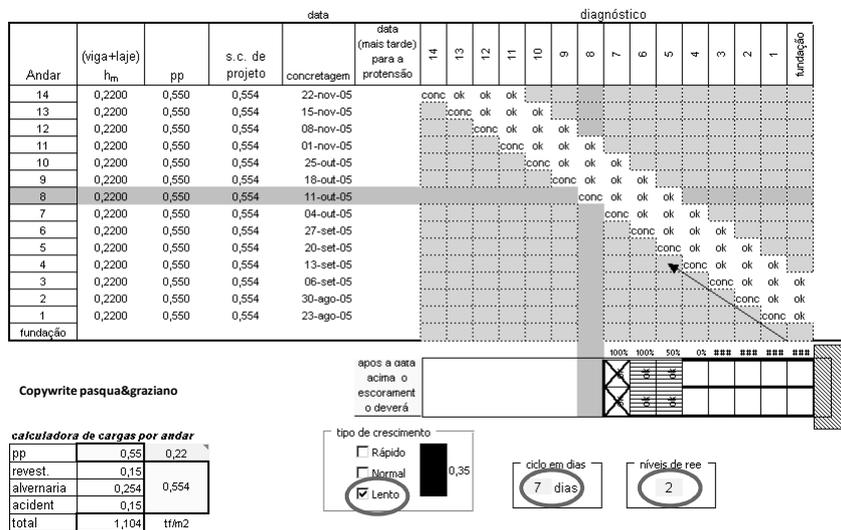
Francisco Paulo Graziano

Consequências além da
resistência

Francisco Paulo Graziano

Re-escoramento e ciclo executivo

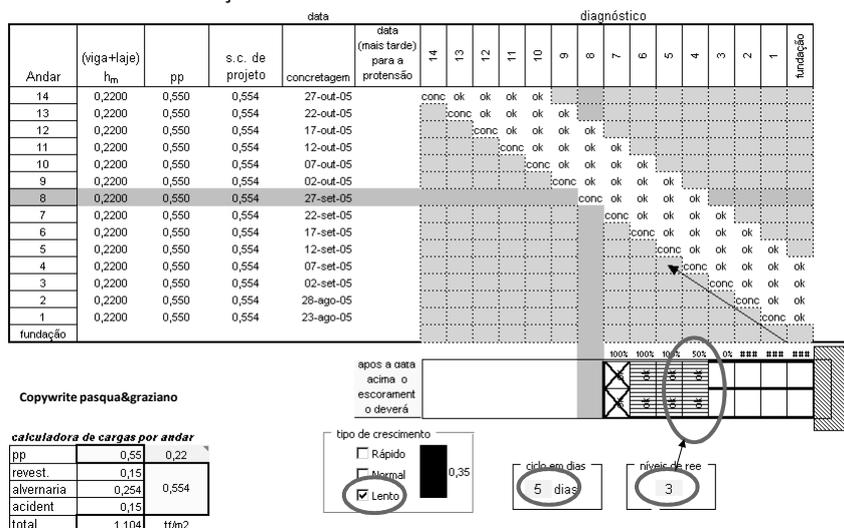
Simulação de um ciclo de 7 dias com concreto de pega lenta e 2 níveis de re-escoramento - situação conforme



Francisco Paulo Graziano

Re-escoramento e ciclo executivo

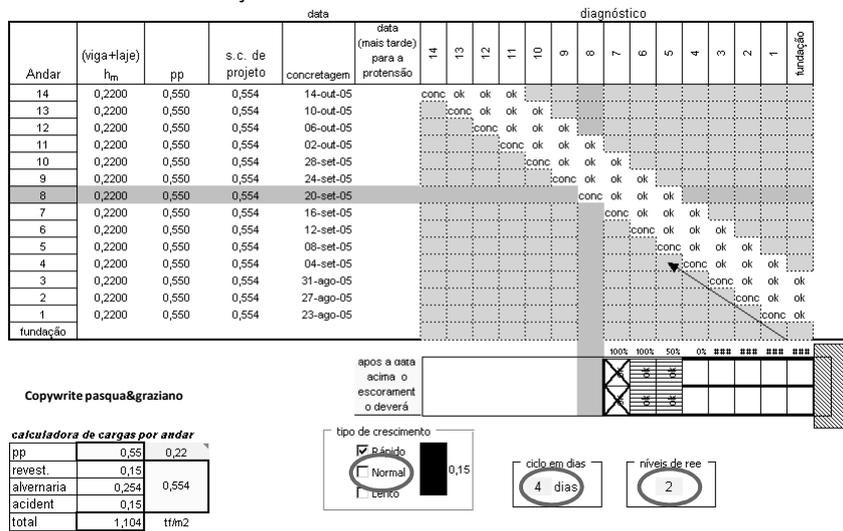
Simulação de um ciclo de 5 dias com concreto de pega lenta e 3 níveis de re-escoramento - situação conforme



Francisco Paulo Graziano

Re-escoramento e ciclo executivo

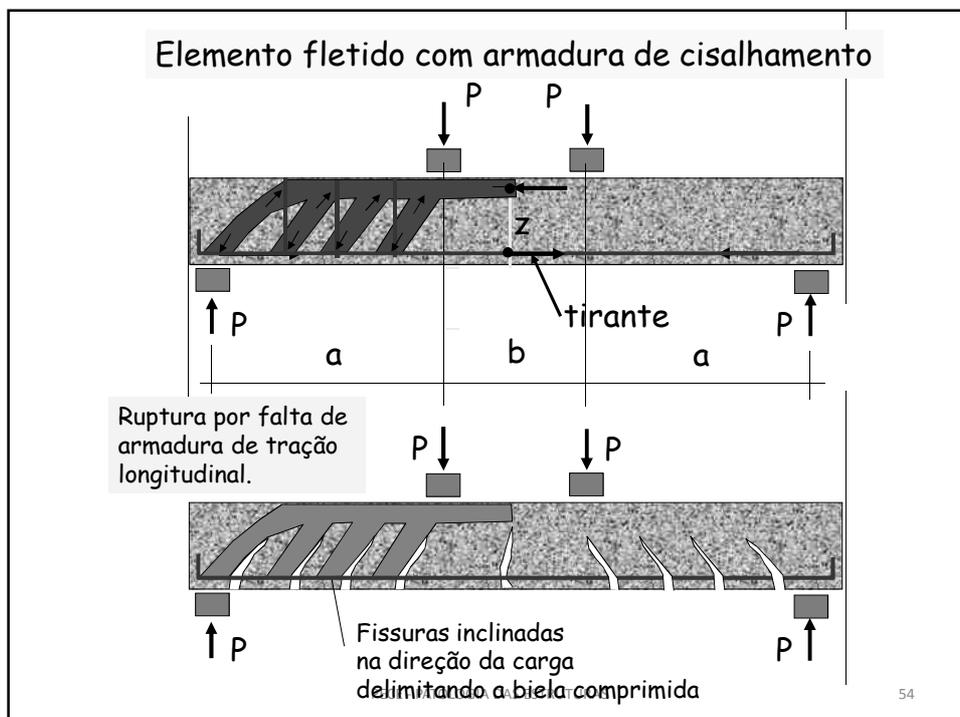
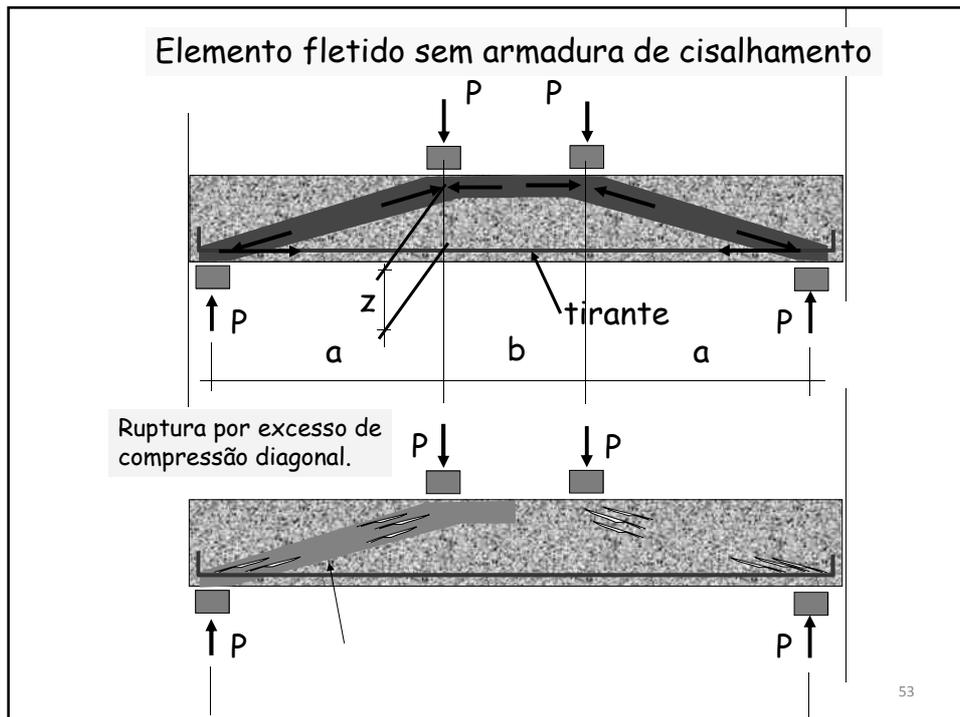
Simulação de um ciclo de 4 dias com concreto de pega rápida e 2 níveis de re-escoramento - situação conforme



Francisco Paulo Graziano

Alguns “causos” de obra e de como se compromete a segurança

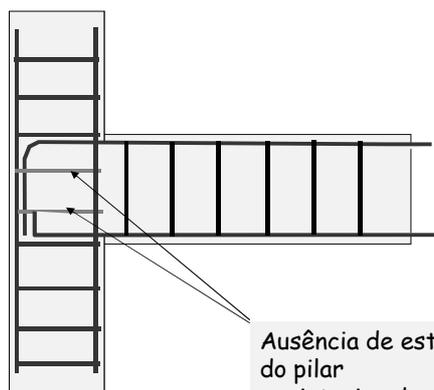
Francisco Paulo Graziano



Falta de estribo no pilar na região da viga

55

Caso típico de pilares de edifícios com execução não conforme



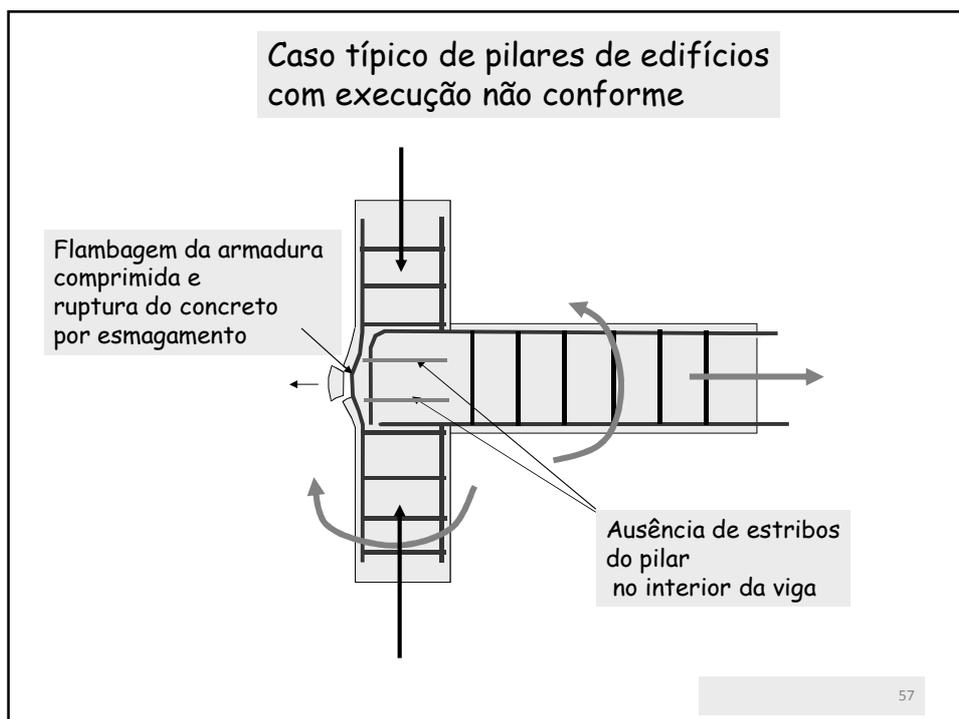
Ausência de estribos do pilar no interior da viga

MAIO DE 2002

PECE - PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

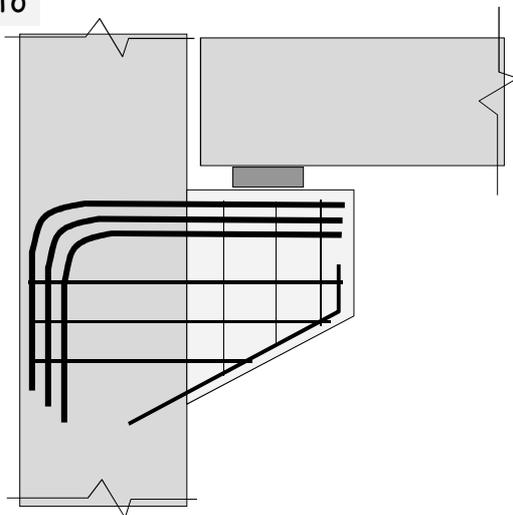
56

56

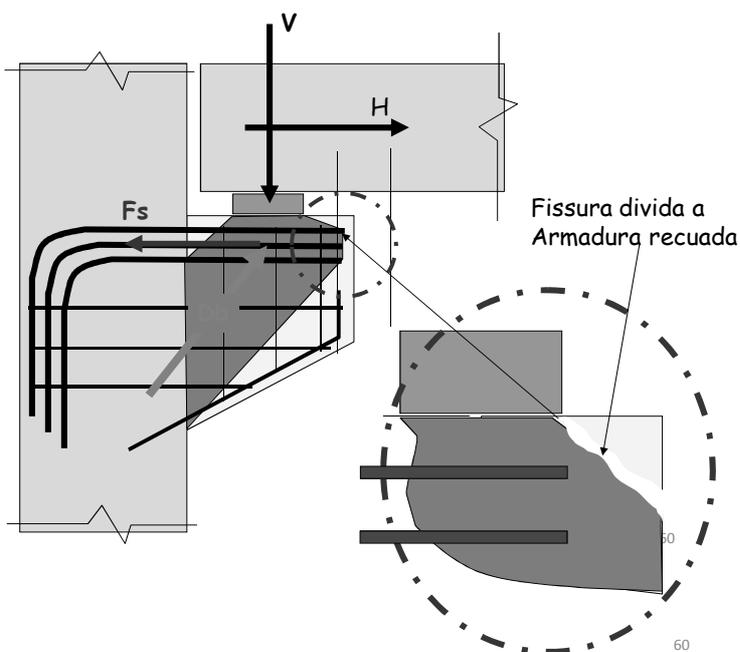


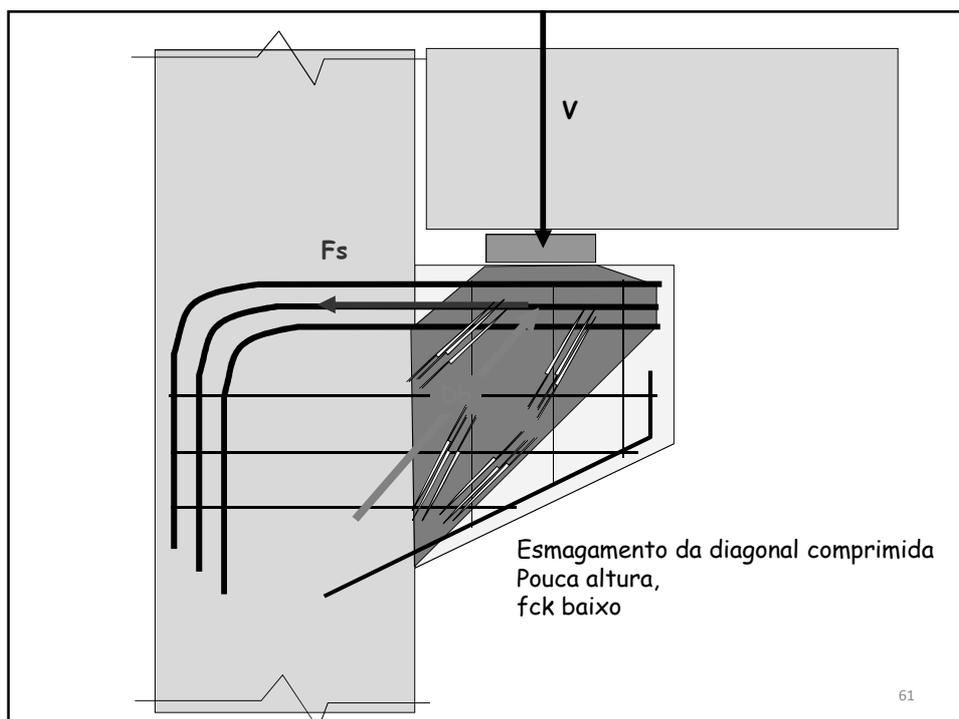
Consoles travados ou com armadura insuficiente ou com armadura posicionada errada

Consolo curto



59

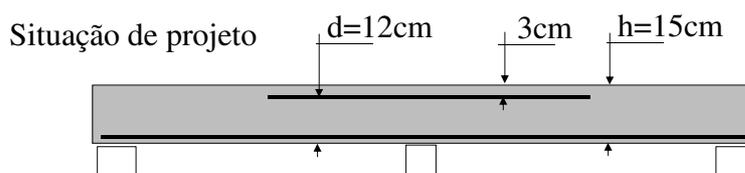




Armadura negativa em lajes
Descuido no posicionamento
Falta de elemento de fixação
da armadura

Sensibilidade das Lajes

- Sensibilidade com a posição das armaduras negativas

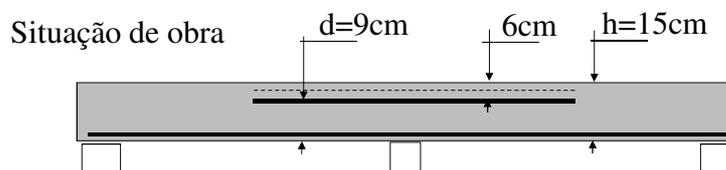


A capacidade da laje de resistir à flexão é proporcional a d^2 ou seja $12^2 = 144\text{cm}^2$

63

Sensibilidade das Lajes

- Sensibilidade com a posição das armaduras negativas



Capacidade da laje de resistir à flexão = $9^2 = 81$

Perda de 44 % na capacidade resistente da seção

64

Noções de Confiabilidade

- As normas brasileiras desde 1970 adotam o conceito semi-probabilístico de segurança.
- As resistências dos materiais é controlada de maneira estatística (controle da produção dos insumos concreto e aço)
- Por limitação prática assume-se um certo nível de qualidade de execução e são calibrados os coeficientes de ponderação (segurança) que majoram as ações (cargas e solicitações) e minoram as resistências, sempre tendo em vista a garantia da confiabilidade.
- Portanto, o conceito de segurança estabelecido é o de confiabilidade, onde o foco é manter uma baixa probabilidade de ruína.

Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

- Desta foram a NBR-6118 estabelece os seguintes coeficientes de ponderação:
- Para o concreto dividimos a resistência por 1,4.
- Já para o aço dividimos a resistência por 1,15.
- E as ações (cargas, esforços) são aumentadas multiplicando-as por 1,4.

Noções de Confiabilidade

- Desta forma podemos dizer, de maneira simplificada, que existe um coeficiente global de segurança para o concreto de $1,4 \times 1,4 = 1,96$ e um outro para o aço de $1,4 \times 1,15 = 1,61$.

- Normalmente, devido a problemas executivos de diversas origens somos questionados se não existe folga para absorver desvios de resistência, de geometria ou de carregamento e a tendência, neste momento, é se pensar se estes coeficientes não são “exagerados” e se não cabe algum desaforo!

Será?...

Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

- As normas internacionais e os comitês que estudam segurança e risco, assumem que as estruturas civis devem ter uma baixa probabilidade de ruína, da ordem de $1/10^4$ a $1/10^6$, por motivos óbvios (proteger a vida).

- A obtenção dos coeficientes (1,4 – 1,15 – 1,4) de ponderação são calibrados para que uma obra bem projetada e bem executada atinja este nível de confiabilidade.

- A pergunta que cabe é quanto da confiabilidade se perde quando reduzimos os coeficientes de ponderação?

Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

•Com este objetivo de tentar responder esta questão construímos um programa que combina as diversas combinações entre resistência e solitação, assumido um bom nível de execução e de projeto estrutural.

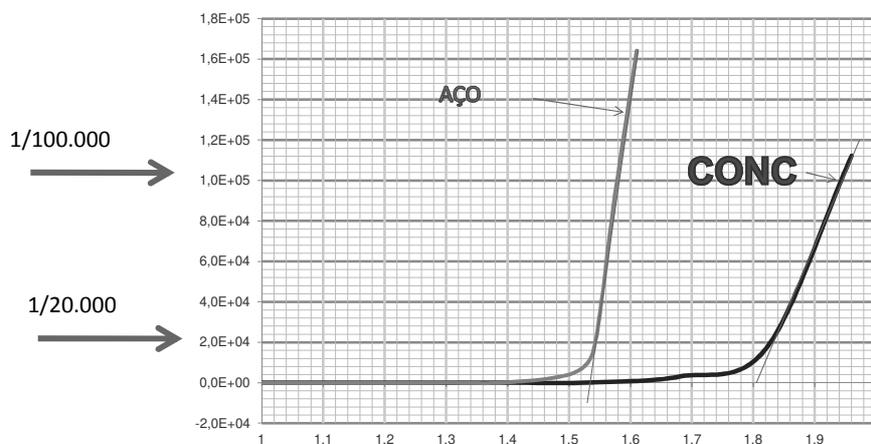
•Verificamos que para os coeficientes adotados pela NBR-6118 nossa probabilidade de ruína é da ordem de

9×10^{-6} ou 1/112.000 (para o concreto)

6×10^{-6} ou 1/164.000 (para o aço)

Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

Probabilidade⁻¹ de colapso e o produto $\gamma_m \cdot \gamma_f$ 

Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

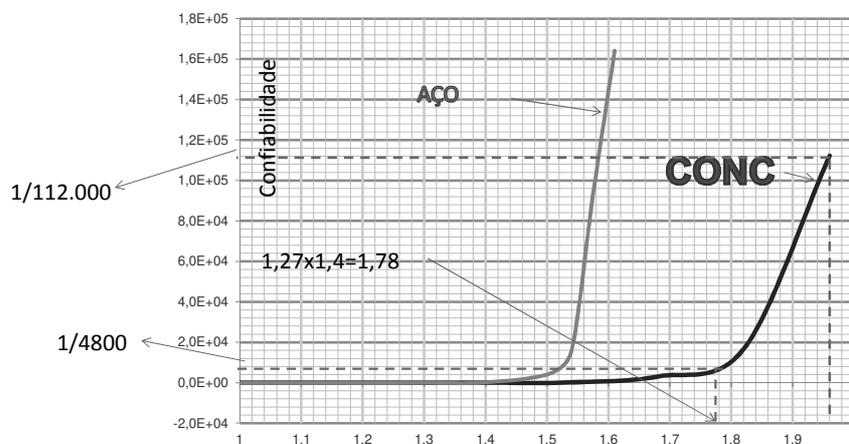
Agora podemos responder...

- O que significa por exemplo baixar o coeficiente de minoração do concreto de 1,4 para 1,27 (correspondente a 10% de redução no coeficiente)?
- Resulta em aumentar a probabilidade de ruína de 1/112.000 para 1/4.800, ou seja, aumentar a probabilidade de ruptura em 23 vezes!
- A sensibilidade da segurança não caminha de forma linear com os coeficientes de ponderação!

Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

1/prob. de colapso e o produto $\gamma_m \cdot \gamma_f$



Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

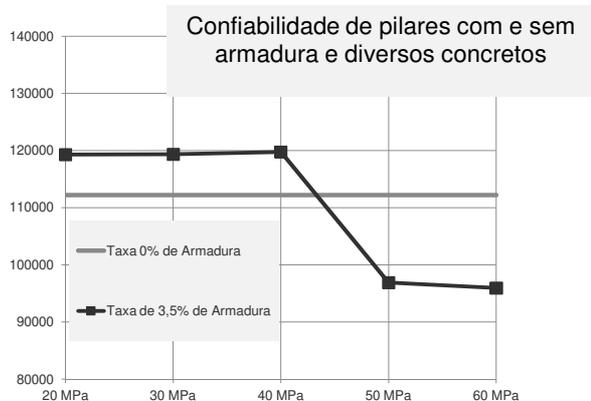
- Este exemplo poderia ser utilizado para os casos onde a resistência do concreto não resulte em no f_{ck} especificado em projeto para um pilar.
- Este f_c pode ter resultado baixo por adição irresponsável de água ao concreto, por um adensamento inadequado na aplicação ou por falha no fornecimento do concreto.

Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

Pilares de concreto armado sem esbeltes ($\lambda < 35$)

Mas existem outros fatores complicadores



Francisco Paulo Graziano

Noções de Confiabilidade

Necessidade de seguir as tolerâncias executivas previstas

A Norma de execução estabelece limites para os desvios executivos de forma que os coeficientes de ponderação continuem válidos para garantir a confiabilidade

Francisco Paulo Graziano

Norma de Execução

Tolerância dimensional na execução

Exemplos

Tabela 3 — Tolerâncias dimensionais para o comprimento de elementos estruturais lineares

Dimensão (ℓ) m	Tolerância (t) mm
$\ell \leq 3$	± 5
$3 < \ell \leq 5$	± 10
$5 < \ell \leq 15$	± 15
$\ell > 15$	± 20

NOTA A tolerância dimensional de elementos lineares justapostos deve ser considerada sobre a dimensão total.

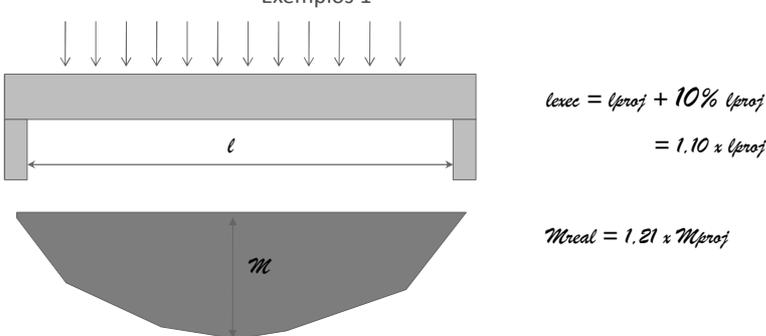


Francisco Paulo Graziano

Norma de Execução

Caso de uma viga cujo vão aumentou 10% na execução

Exemplos 1

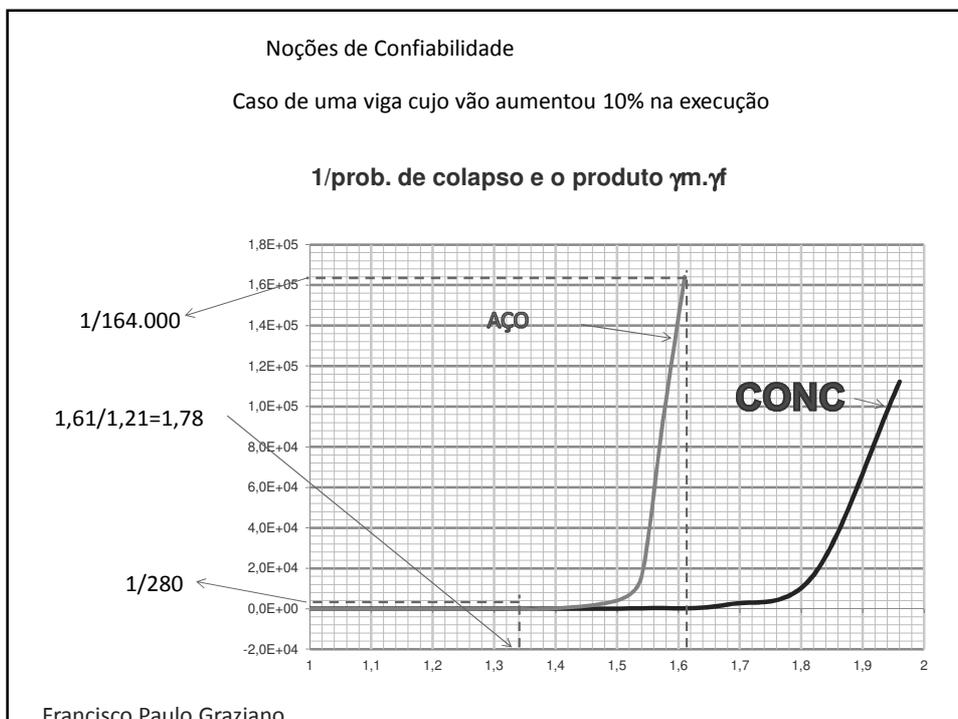


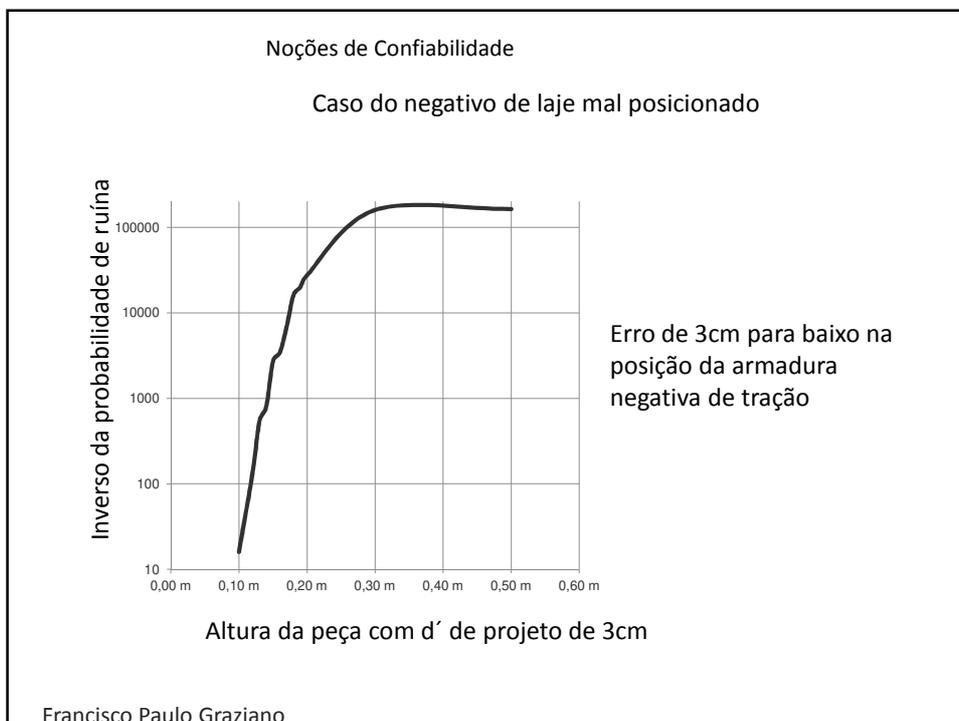
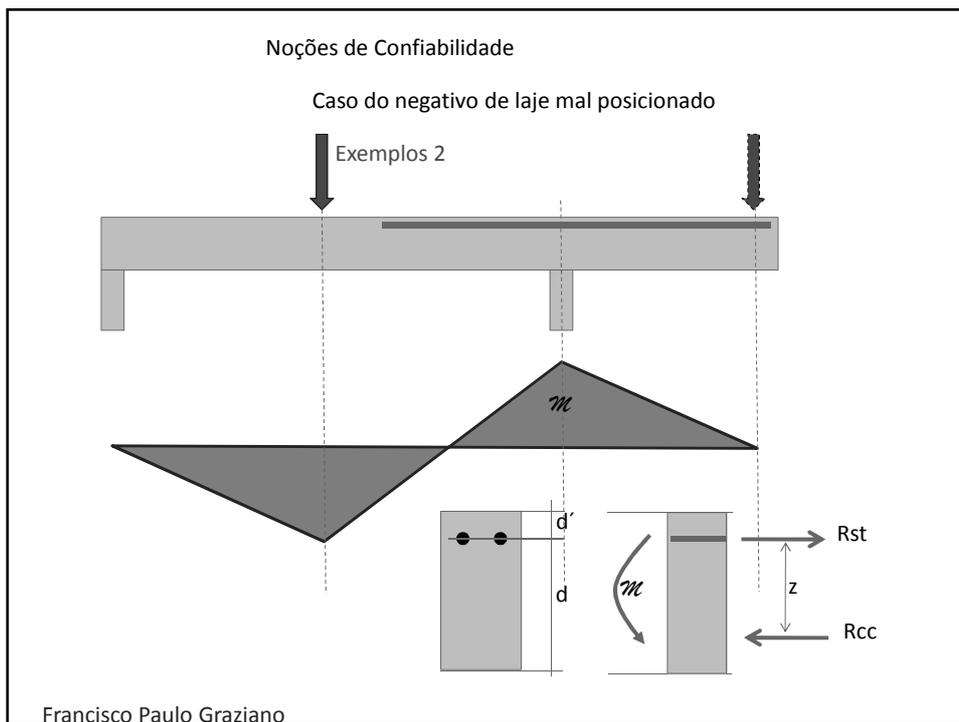
$l_{exec} = l_{proj} + 10\% l_{proj}$
 $= 1.10 \times l_{proj}$

$M_{real} = 1.21 \times M_{proj}$

Se não houver correção do projeto haverá uma diminuição do γ_f de 1,4 para 1,4/1,21, ou seja: 1,16 ,causando uma perda de confiabilidade de 587 vezes para o aço, evidenciando que poderá haver escoamento do aço.

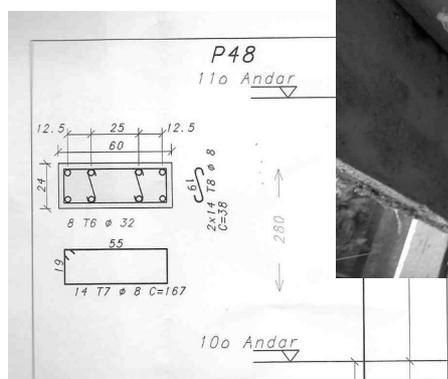
Francisco Paulo Graziano





Continuando a Galeria de Horrores

Francisco Paulo Graziano



Francisco Paulo Graziano

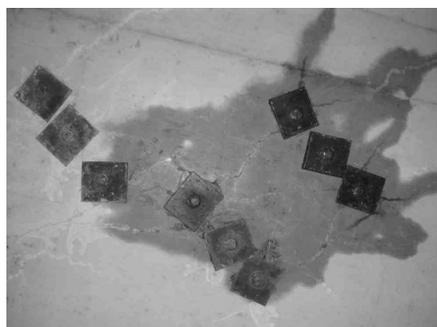


Furo em viga

Francisco Paulo Graziano



Chumbador de fixação da grua



Francisco Paulo Graziano



Gerber é com aparelho de apoio livre!

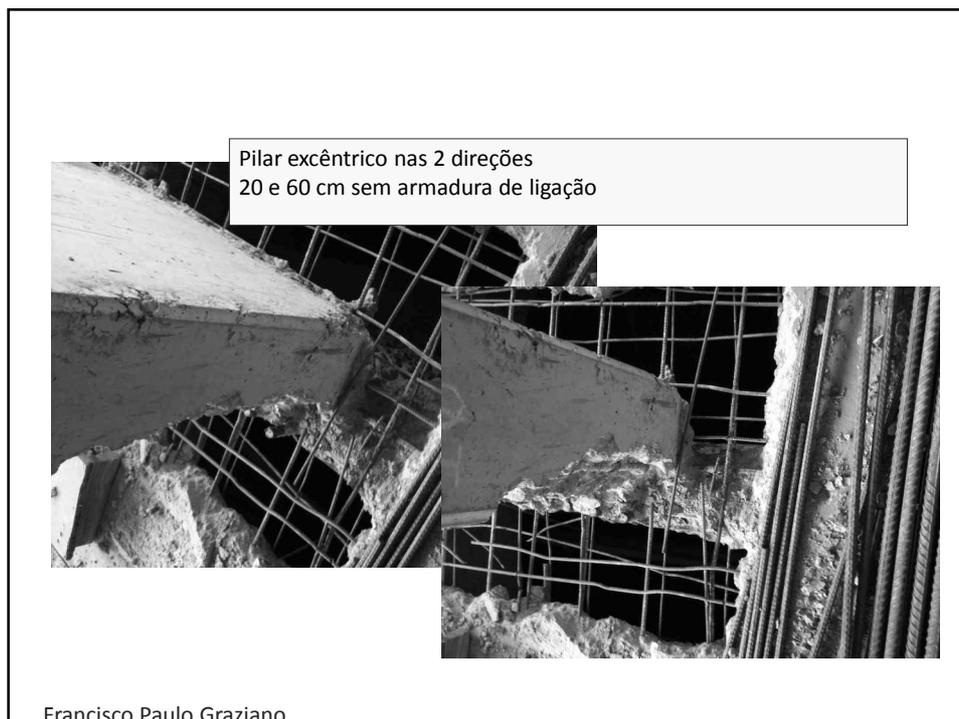


Francisco Paulo Graziano

Erro de projeto / compatibilização



Francisco Paulo Graziano



Conclusões

Como a segurança da obra é obtida?

1. Com um bom projeto.
2. Com engenheiro de obra estudando o projeto e executando corretamente a obra.
3. Com dedicação da equipe de trabalho.
4. Com fidelidade geométrica e execução correta dos elementos estruturais.
5. Com qualidade dos materiais, concreto e do aço.

Francisco Paulo Graziano

obrigado

Francisco Paulo Graziano

Características da Empresa

- Execução de obras de terceiros
- Projetos desenvolvidos com ou **sem** a coordenação técnica da Método
- Rapidez na execução

92

Assuntos a serem discutidos

1. O projeto estrutural, mesmo que fornecido pelo cliente, deve ser auditado?
2. O que é importante ser auditado.

93

1) O projeto estrutural, mesmo que fornecido pelo cliente, deve ser auditado?

- a. A responsabilidade de construir envolve o projeto que é uma atividade meio da construção.
- b. As normas técnicas assumiram através do Código de Proteção ao Consumidor uma “força de lei”.
- c. O texto das normas esta, em algumas situações, sujeito ao nível de entendimento e especialização do profissional que a utiliza (norma não é manual ou livro texto).

94

1) O projeto estrutural, mesmo que fornecido pelo cliente, deve ser auditado?

- d. O modelo Brasileiro de formação e controle de profissionais de engenharia não exige prova de especialização e conhecimento para o exercício da profissão.
- e. Existe no mercado de projetos muita heterogeneidade no entendimento dos fenômenos que envolvem as estruturas.
- f. A engenharia executiva passou os últimos 20 anos focada em custo e prazo sem alimentar ou valorizar os aspectos relacionados ao conhecimento técnico do processo de construir.

95

1) O projeto estrutural, mesmo que fornecido pelo cliente, deve ser auditado?

- g. O acesso a softwares de projeto trouxe agilidade e possibilidade de realizar projetos muito mais complexos em prazos antes impossíveis.
- h. Os softwares induzem ao profissional uma falsa sensação de domínio da tecnologia e de banalização dos problemas técnicos envolvidos.
- i. A visão do contratante de colocar valor no custo e prazo contaminou este mercado de projeto, que pressionado, terceiriza, entrega sem rever o que automaticamente foi gerado pelo software.

96

1) O projeto estrutural, mesmo que fornecido pelo cliente, deve ser auditado?

a. A responsabilidade de construir envolve o projeto que é uma atividade meio da construção.

b. As normas técnicas assumiram através do Código de Proteção ao Consumidor uma "força de lei".

c. O texto das normas está, em algumas situações, sujeito ao nível de entendimento e especialização do profissional que a utiliza (norma não é manual ou livro texto).

1) O projeto estrutural, mesmo que fornecido pelo cliente, deve ser auditado?

É imprescindível haver algum processo de auditoria do projeto estrutural.

Maior ou menor de acordo com o risco e complexidade.

1) O projeto estrutural, mesmo que fornecido pelo cliente, deve ser auditado?

d. O modelo Brasileiro de formação e controle de profissionais de engenharia não exige prova de especialização e conhecimento para o exercício da profissão.

e. Existe no mercado de projetos muita heterogeneidade no entendimento dos fenômenos que envolvem as estruturas.

f. A engenharia executiva passou os últimos 20 anos focada em custo e prazo sem alimentar ou valorizar os aspectos relacionados ao conhecimento técnico do processo de construir.

1) O projeto estrutural, mesmo que fornecido pelo cliente, deve ser auditado?

g. O acesso a softwares de projeto trouxe agilidade e possibilidade de realizar projetos muito mais complexos em prazos antes impossíveis.

h. Os softwares induzem ao profissional uma falsa sensação de domínio da tecnologia e de banalização dos problemas técnicos envolvidos.

i. A visão do contratante de colocar valor no custo e prazo contaminou este mercado de projeto, que pressionado, terceiriza, entrega sem rever o que automaticamente foi gerado pelo software.

97

2) O que é importante ser auditado.

Estabelecendo de uma curva ABC de prioridades por assunto:

- a. Elementos que sejam vitais à estabilidade global do edifício
- b. Durabilidade
- c. Exigências que devido às características do edifício, o cliente e os organismos fiscalizadores apresentem prioridade como exigência para aprovação.

98

2) O que é importante ser auditado.

- Estabelecendo categorias de edificações e características:

Shopping / Centro comercial/ 3 andares

1

Grandes vãos
Protensão
Pré-moldados

Edifício comercial – Triple A

2

Grandes vãos
Protensão
Pré-moldados
Estabilidade Global
Res. ao fogo

Edifício residenciais altos

3

Estabilidade Global
Deformabilidade por ação gravitacional
Durabilidade das fachadas

99

	Shopping / Centro comercial/ 3 andares 1 Grandes vãos Protensão Pré-moldados	Edifício comercial – Triple A 2 Grandes vãos Protensão Pré-moldados Estabilidade Global Res. ao fogo	Edifício residenciais altos 3 Estabilidade Global Deformabilidade por ação gravitacional Durabilidade das fachadas
a. Elementos que sejam vitais à estabilidade global do edifício	1) Verificar capacidade das lajes com vãos acima de 4m - verificar protensão 2) Verificar cargas úreis adotadas no projeto bem como a previsão de ampliações e mezaninos 3) No uso de pré-moldados buscar a consolidação com armaduras superior e inferior de forma a garantir a estabilidade global 4) Atenção com empuxos de terra desequilibrados	1) Verificar capacidade das lajes com vãos acima de 4m - verificar protensão 2) Estabelecer critérios de projeto que contemplem: i) processo construtivo; ii) reescoramento; iii) tolerâncias construtivas 3) No uso de pré-moldados buscar a consolidação com armaduras superior e inferior de forma a garantir a estabilidade global 4) Controle sobre coeficientes de estabilidade global e túnel de vento	1) Verificar a capacidade das lajes com vãos acima de 4m 2) Estabelecer critérios de projeto que contemplem: i) processo construtivo; ii) reescoramento; iii) tolerâncias construtivas 3) Garantir a estabilidade global e ductilidade com o respeito aos esforços obidos nas simulações de vento 4) Controle sobre coeficientes de estabilidade global e túnel de vento
b. Durabilidade	1) Verificar deformabilidade das lajes com vãos acima de 4m 2) Verificar cargas úreis adotadas no projeto bem como a previsão de ampliações e mezaninos 3) No uso de pré-moldados buscar a consolidação com armaduras superior e inferior de forma a garantir baixa fissuração e deformabilidade 4) Respeitar cobrimentos e categorias de A/C de acordo com o uso e macro ambiente	1) Verificar deformabilidade das lajes com vãos acima de 4m 2) Critério de deformabilidade axial de pilares - fluência 3) No uso de pré-moldados buscar a consolidação com armaduras superior e inferior de forma a garantir baixa fissuração e deformabilidade 4) Respeitar cobrimentos e categorias de A/C de acordo com o uso e macro ambiente	1) Verificar deformabilidade das lajes com vãos acima de 4m 2) Critério de deformabilidade axial de pilares - fluência e compatibilidade com as vedações 3) Restringir o uso de plastificações na determinação dos detalhes de armadura 4) Respeitar cobrimentos e categorias de A/C de acordo com o uso e macro ambiente
c. Exigências que devido às características do edifício, do cliente e dos organismos fiscalizadores	1) Vibração das lajes de grande vão 2) Verificação quanto à resist. ao fogo	1) Verificação quanto à resist. ao fogo 2) controle da deformação por ações dinâmicas e conforto do usuário	1) Verificação quanto à resist. ao fogo 2) controle da deformação por ações dinâmicas e conforto do usuário

100

	1 Shopping / Centro comercial/ 3 andares Grandes vãos Protensão Pré-moldados	2 Edifício comercial – Triple A Grandes vãos Protensão Pré-moldados Estabilidade Global Res. ao fogo	3 Edifício residenciais altos Estabilidade Global Deformabilidade por ação gravitacional Durabilidade das fachadas
a. Elementos que sejam vitais à estabilidade global do edifício	1) Verificar capacidade das lajes com vãos acima de 4m - verificar protensão	1) Verificar capacidade das lajes com vãos acima de 4m - verificar protensão	1) Verificar capacidade das lajes com vãos acima de 4m
	2) Verificar cargas úteis adotadas no projeto bem como a previsão de ampliações e mezaninos	2) Estabelecer critérios de projeto que contemplem: i) processo construtivo; ii) reescoramento; iii) tolerâncias construtivas	2) Estabelecer critérios de projeto que contemplem: i) processo construtivo; ii) reescoramento; iii) tolerâncias construtivas
	3) No uso de pré-moldados buscar a consolidação com armaduras superior e inferior de forma a garantir a estabilidade global	3) No uso de pré-moldados buscar a consolidação com armaduras superior e inferior de forma a garantir a estabilidade global	3) Garantir a estabilidade global e ductilidade com o respeito aos esforços obtidos nas simulações de vento
	4) Atenção com empuxos de terra desequilibrados	4) Controle sobre coeficientes de estabilidade global e túnel de vento	4) Controle sobre coeficientes de estabilidade global e túnel de vento

101

	1 Shopping / Centro comercial/ 3 andares Grandes vãos Protensão Pré-moldados	2 Edifício comercial – Triple A Grandes vãos Protensão Pré-moldados Estabilidade Global Res. ao fogo	3 Edifício residenciais altos Estabilidade Global Deformabilidade por ação gravitacional Durabilidade das fachadas
b. Durabilidade	1) Verificar deformabilidade das lajes com vãos acima de 4m	1) Verificar deformabilidade das lajes com vãos acima de 4m	1) Verificar deformabilidade das lajes com vãos acima de 4m
	2) Verificar cargas úteis adotadas no projeto bem como a previsão de ampliações e mezaninos	2) Critério de deformabilidade axial de pilares - fluência	2) Critério de deformabilidade axial de pilares - fluência e compatibilidade com as vedações
	3) No uso de pré-moldados buscar a consolidação com armaduras superior e inferior de forma a garantir baixa fissuração e deformabilidade	3) No uso de pré-moldados buscar a consolidação com armaduras superior e inferior de forma a garantir baixa fissuração e deformabilidade	4) Restringir o uso de plastificações na determinação dos detalhes de armadura
	4) Respeitar cobrimentos e categorias de A/C de acordo com o uso e macro ambiente	4) Respeitar cobrimentos e categorias de A/C de acordo com o uso e macro ambiente	4) Respeitar cobrimentos e categorias de A/C de acordo com o uso e macro ambiente

102

	Shopping / Centro comercial/ 3 andares ① Grandes vãos Protensão Pré-moldados	Edifício comercial – Triple A ② Grandes vãos Protensão Pré-moldados Estabilidade Global Res. ao fogo	Edifício residenciais altos ③ Estabilidade Global Deformabilidade por ação gravitacional Durabilidade das fachadas
a. Exigências que devido às características do edifício, do cliente e dos organismos fiscalizadores	1) Vibração das lajes de grande vão 2) Verificação quanto à resist. ao fogo	1) Verificação quanto à resist. ao fogo 2) controle da deformação por ações dinâmicas e conforto do usuário	1) Verificação quanto à resist. ao fogo 2) controle da deformação por ações dinâmicas e conforto do usuário

103

Assuntos abordados na tabela de riscos de projeto e que valem a pena focar

1. Riscos potenciais que podem ser detectados com alguns procedimentos simples
2. Interação fundações x estrutura
3. Estabilidade global
4. Deformabilidade
5. Durabilidade
6. Resistência ao fogo
7. Qualidade e conformidade no fornecimento dos materiais estruturais

1) Riscos potenciais que podem ser detectados com alguns procedimentos simples

- a. Espessuras médias e taxas de armadura esperadas
- b. Características das cargas nas fundações apresentadas em projeto
- c. Postura profissional

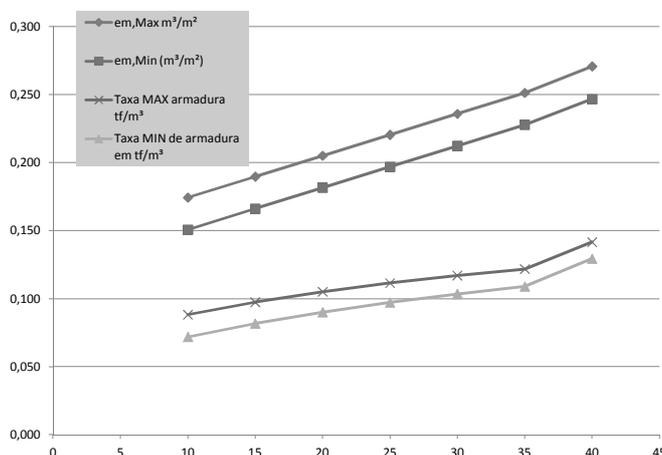
105

a) Espessuras médias e taxas de armadura esperadas

- A espessura média é definida como o volume total de um andar ou setor da obra dividida pela área inscrita na figura definida pelos limites da fachada externa.
- A espessura média de um edifício depende de diversos fatores como:
 - Vão da laje e da viga
 - Piso a piso da edificação
 - Altura total da edificação
 - Esbelteza da edificação
 - Cargas úteis consideradas

106

Exemplo de uma tabela para vãos médios de 4m



107

b) Características das cargas nas fundações apresentadas em projeto

- Devem conter :
 - Esforços devidos a carga gravitacional:
Fz, Fx, Fy, Mx, Mz
 - Esforços devido ao vento em pelo menos duas direções: Fz, Fx, Fy, Mx, My
 - Esforços devido aos empuxos de terra (se houver):
Fz, Fx, Fy, Mx, My

X,Y,Z são as direções dos 3 eixos ortogonais de referência

108

c) Postura profissional

- O profissional de projeto estrutural deve ter uma postura pró-ativa de acolher os desafios propostos, porém, com responsabilidade e ponderando riscos e custos de cada decisão.
- Existem limites físicos e de viabilidade técnica e econômica que devem ser respeitados. Muitos destes retratados em texto de norma. Cabe ao engenheiro estrutural esclarecer o cliente sobre estas limitações.

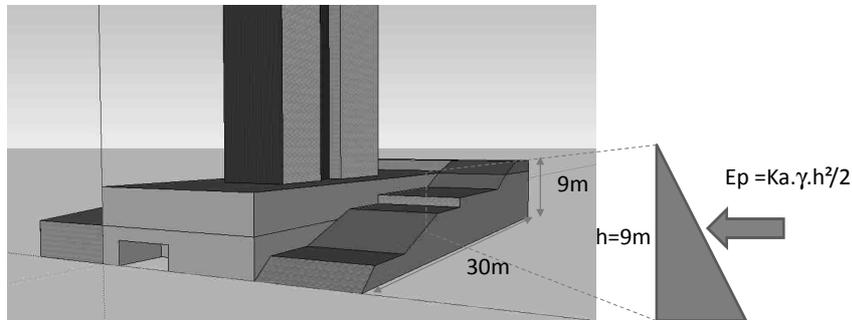
109

2) Interação fundações x estrutura

- a. Empuxos de terra sobre a estrutura
- b. Recalques das fundações
- c. Excentricidades executivas das fundações

110

a) Empuxos de terra sobre a estrutura



Exemplo: $K_a=0,3$ $\gamma=1,8\text{t/m}^3$ $h=\text{altura do empuxo de terra}=9\text{ m}$

$$E_p = 0,3 \cdot 1,8 \cdot 9^2 / 2 = 21,87 \text{ tf/m}$$

Supondo uma extensão de 30m, teremos : 656,10 tf de empuxo horizontal.
Para que tenhamos uma boa situação estrutural de equilíbrio deveremos ter pelo menos 4x mais carga vertical no edifício que irá absorver o empuxo, ou seja, 2625 tf, correspondendo, aproximadamente : 5300 m² de área de laje.

111

b) Recalques das fundações

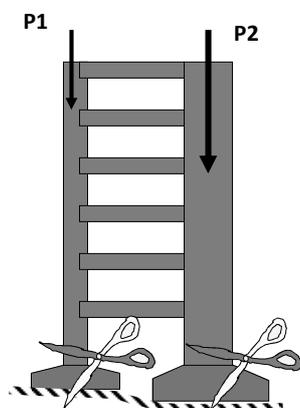
- Não existe reação sem deformação!
- Portanto, não existe reação na fundação se recalque (deslocamento vertical da fundação)
- Os recalques “malignos” são os diferenciais!

Vejamos a animação

112

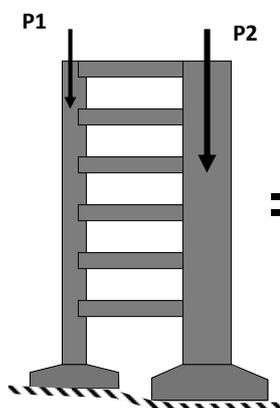
Exemplo do cálculo de um edifício

b) Recalques das fundações

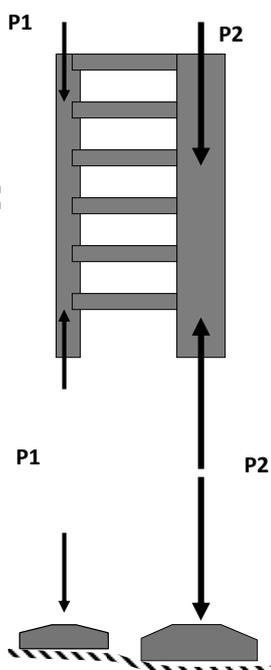


Admite-se que se possa estabelecer uma análise estanque do edifício sem que o comportamento das fundações e suas consequências sobre o edifício sejam levadas em consideração.

Assim, tudo se passa como se cortássemos a união do edifício com as fundações e neste local introduzíssemos vínculos de infinita rigidez.



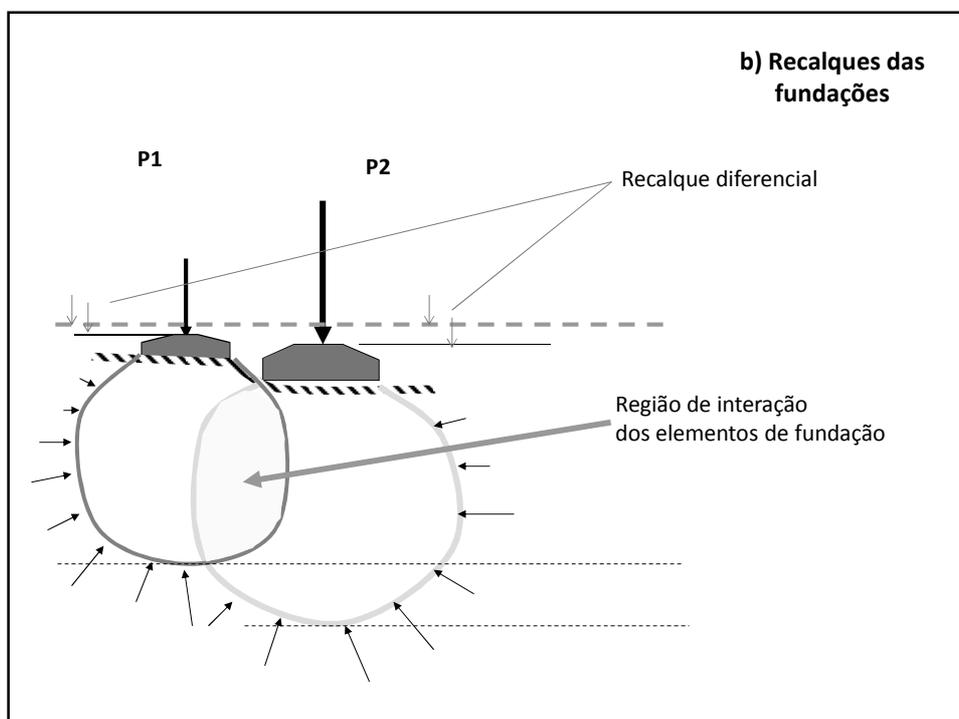
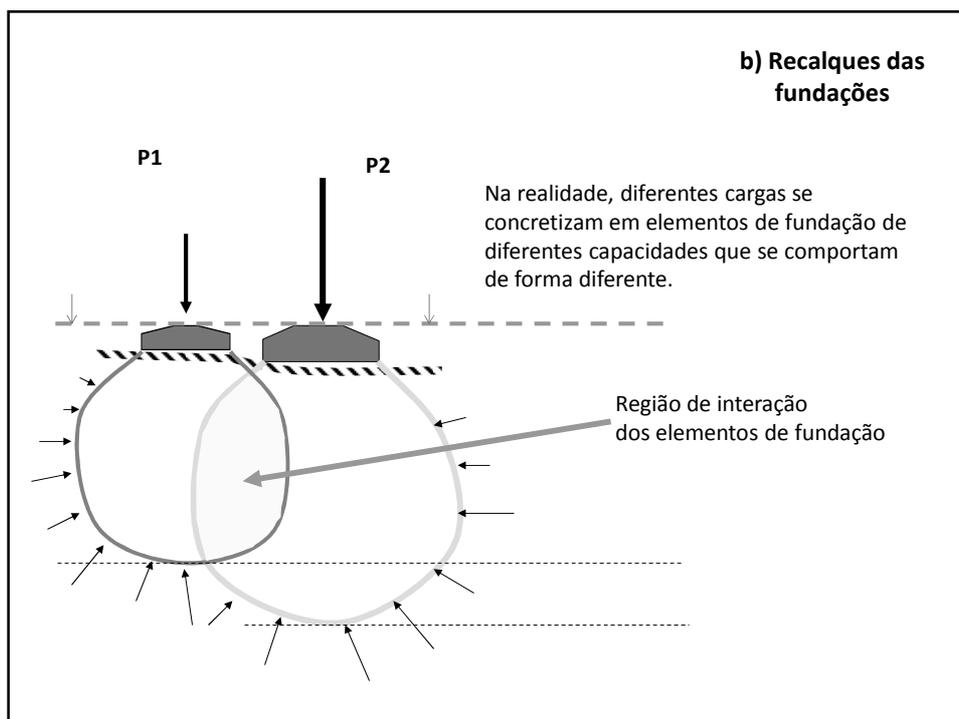
=

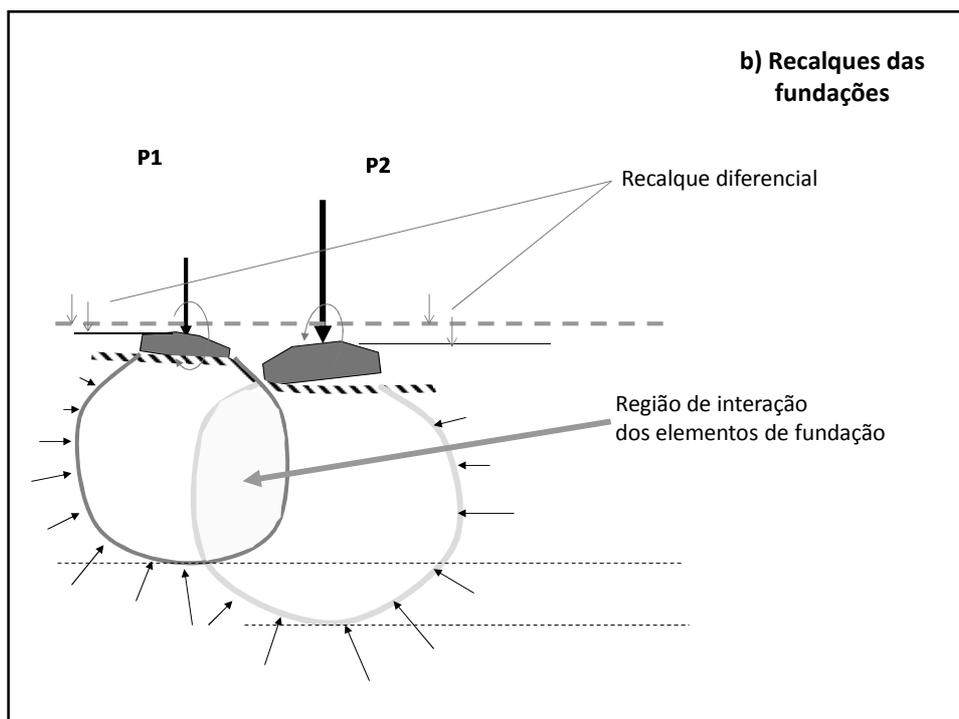


b) Recalques das fundações

+

CÁLCULO UNIDIRECIONAL





b) Recalques das fundações

Os recalques diferenciais introduzem esforços normalmente não previstos nos dimensionamentos das estruturas. Prejudicam o desempenho de pilares, vigas e das próprias fundações.

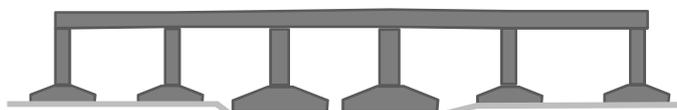
Causas possíveis

1. Diferentes soluções de fundação na mesma região sem junta de dilatação e sem a devida consideração do comportamento diferencial;
2. Cargas em pilares vizinhos com tensão de trabalho diferentes;
3. Solo de comportamento heterogêneo devido a fluxo de água que carrega finos;
4. Reservatório ou estrutura rígida unindo pilares na fundação;
5. Processo construtivo.

118

b) Recalques das fundações

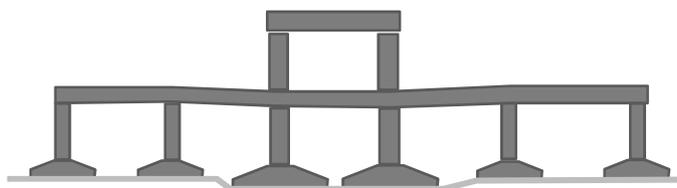
Imaginemos um caso de edifício onde, não existindo juntas de dilatação, a estrutura da torre e a da periferia são executadas conjuntamente.



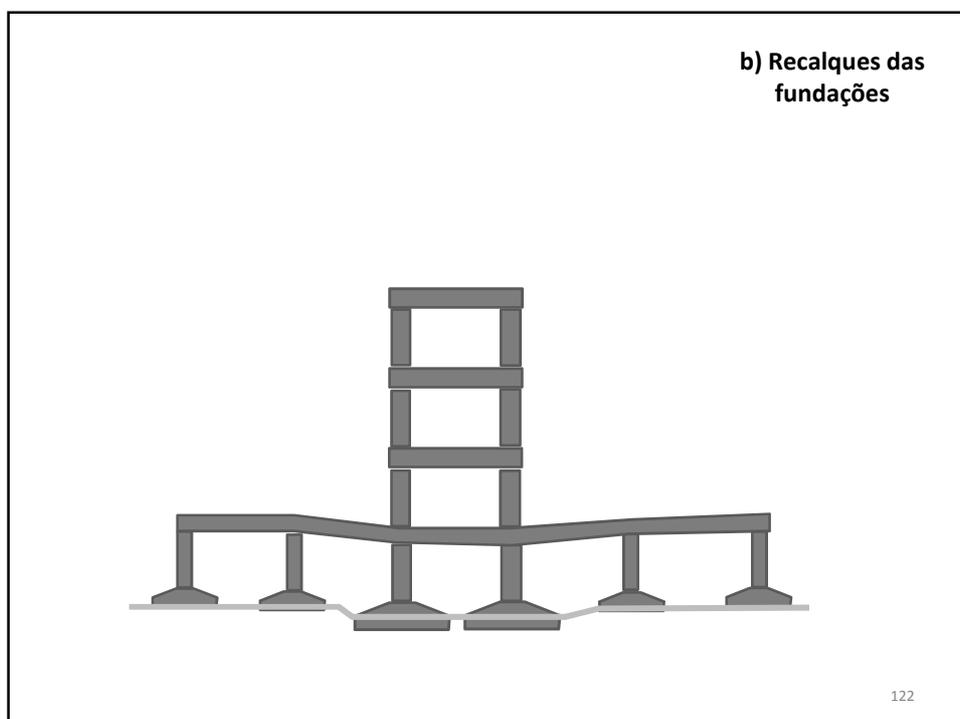
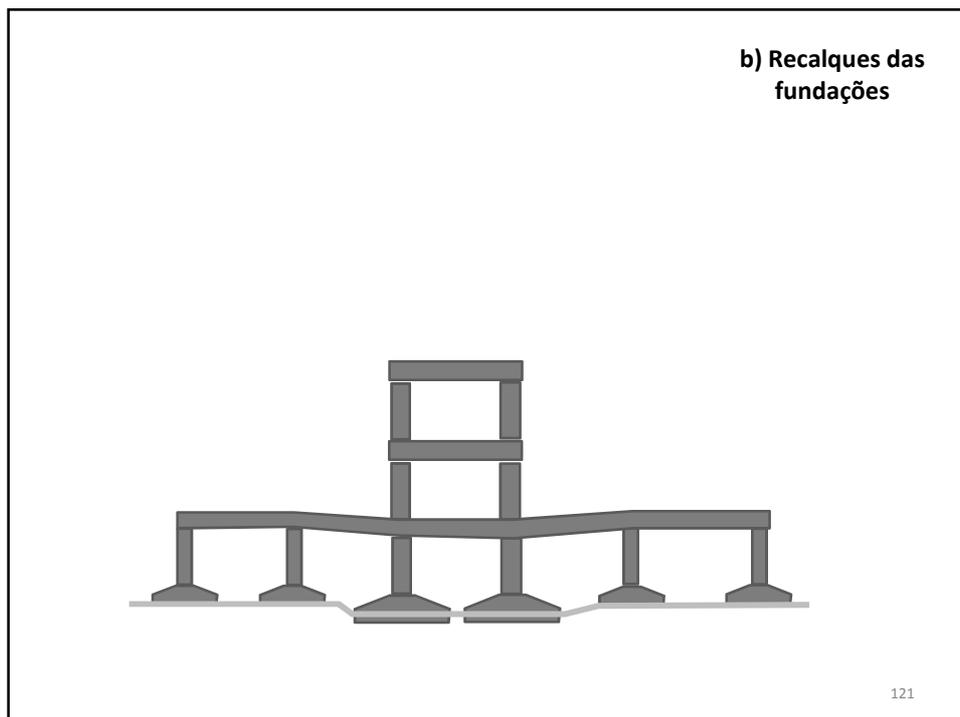
119

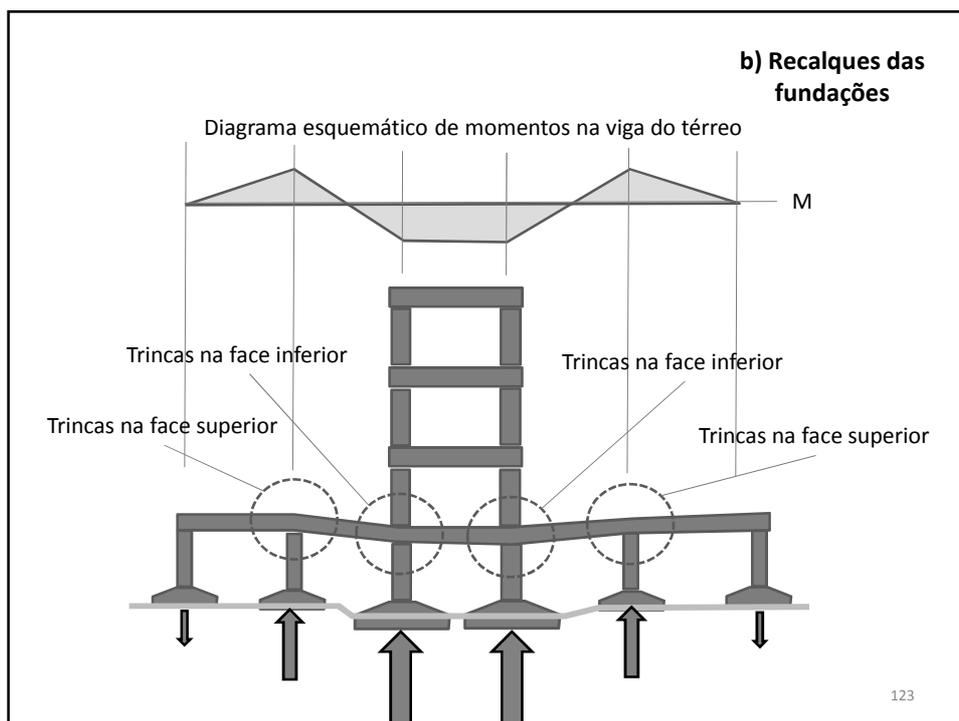
b) Recalques das fundações

Ao executar-se os andares subsequentes da torre a carga sobre os pilares da torre aumentam e o solo reage deformando (recalcando) enquanto os demais pilares da periferia não estariam sujeitos a alteração de carga. Note-se que o recalque diferencial entre torre e periferia ocorre flexionando a estrutura do térreo.



120



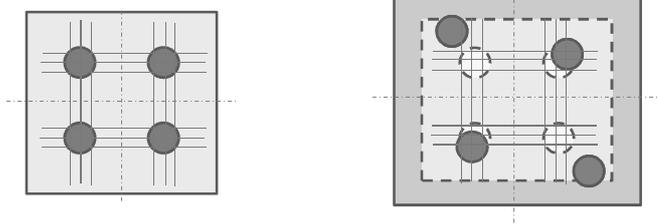


c) Excentricidades executivas das fundações

- Os procedimentos de execução de fundações permite que existam imprecisões. No entanto, excentricidades, acima das estabelecidas como toleráveis, estão fora da capacidade padrão das estruturas e devem ser verificadas pelos especialistas de fundações e de estruturas, cada um na sua área de concentração.

c) Excentricidades executivas das fundações

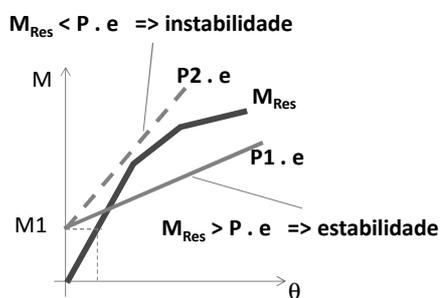
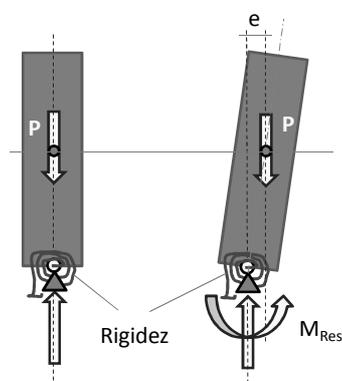
- Cuidado! Eventualmente a verificação libera a fundação, porém, não libera a estrutura do bloco ou de algum elemento estrutural (e o inverso é possível também).



125

3. Estabilidade global de edifícios.

A estabilidade de edifícios depende da rigidez do mesmo ao tombamento e da grandeza da carga gravitacional



126

4. Deformabilidade

Noções sobre deformabilidade

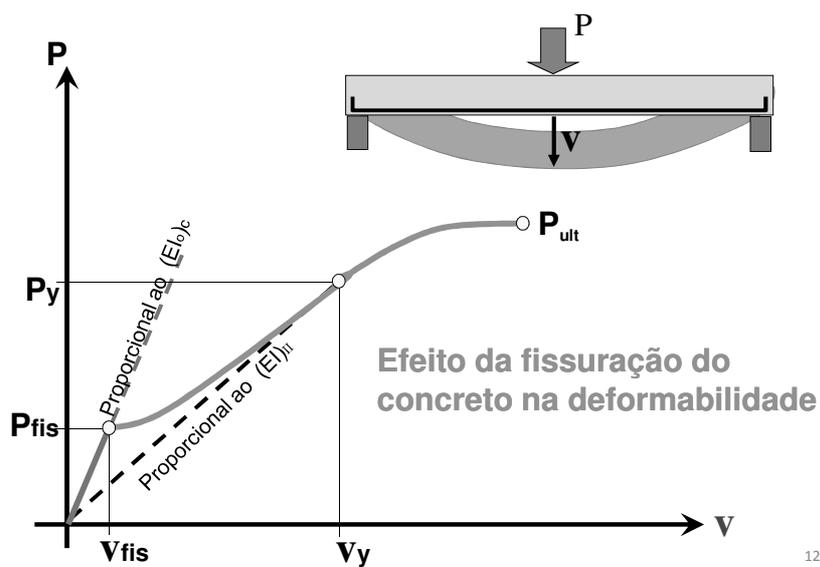
Para que qualquer estrutura funcione, é necessário que esta se deforme, portanto, deformação não é privilégio das estruturas de concreto.

O que ocorre nas estruturas de concreto armado é que para funcionarem economicamente e adequadamente à flexão, o aço presente no seu interior, deve ser solicitado à tração. Portanto concreto deve fissurar por tração o que, em outras palavras, quer dizer que o concreto deverá romper à tração para que todo o potencial de resistência do aço seja desenvolvido e aproveitado.

127

127

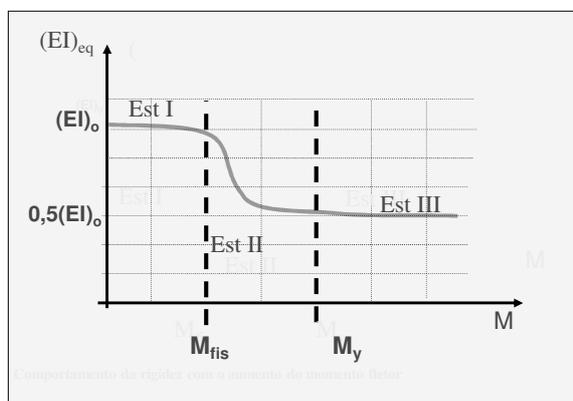
4. Deformabilidade



128

128

Perda da rigidez da peça com o aumento da carga

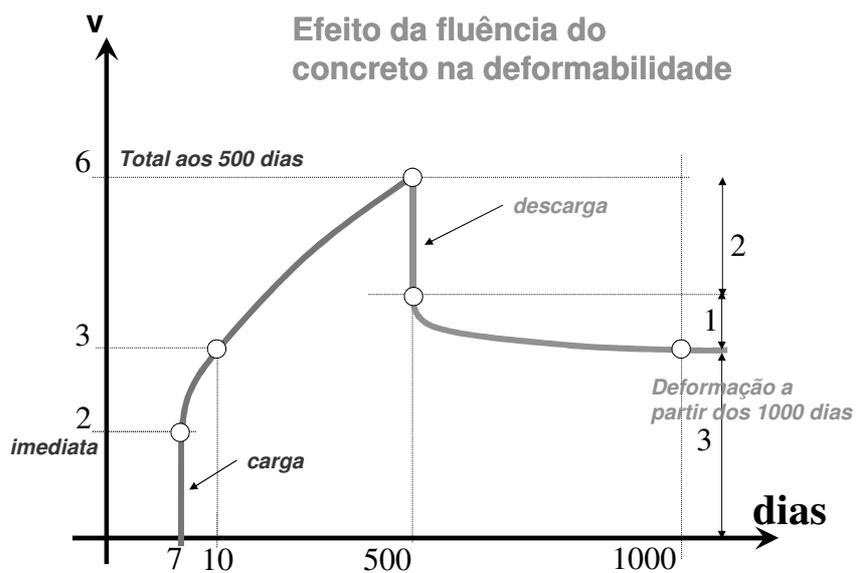


Comportamento da rigidez com o aumento do momento fletor

Comportamento da rigidez com o aumento do momento fletor

129

Efeito da fluência do concreto na deformabilidade



130

Valores máximos usuais de def. por Fluência e Retração rev. NBR-6118-2003

AMBIENTE	UMIDADE	Coef. fluência			Ecs retração x 10 ⁴			Abatimentos (cm)
		0 a 4	5 a 9	10 a 15	0 a 4	5 a 9	10 a 15	
NA ÁGUA	~100%	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	
AMBIENTE MUITO ÚMIDO	90%	1,0	1,3	1,6	-1,0	-1,0	-1,0	
AO AR LIVRE	70%	1,5	2,0	2,5	-2,5	-3,2	-4,0	
AMBIENTE SECO	40%	2,3	3,0	3,8	-4,0	-5,2	-6,5	

131

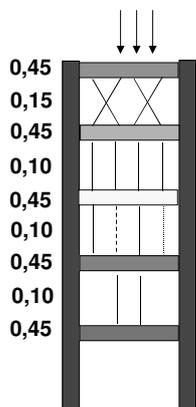
Fatores que influenciam na deformabilidade

- Tipo de cimento: de endurecimento- Lento, Normal e Rápido
- Tempo de manutenção da carga
- Nível de fissuração da peça
- Temperatura ambiente
- Umidade do ar que envolve a peça
- Espessura da peça
- Amadurecimento do concreto na data do carregamento

4 dentre 7 fatores, dependem das condições de cura !

132

A importância do plano de reescoramento na deformabilidade - ciclo 5 dias

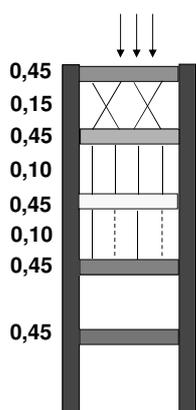


Idades	fcj/fck	P,atu	P,res	P,trans	%escor
0	0	0,60	0,00	0,60	100
5	0,71	0,55	0,60	0,55	100
10	0,84	0,55	0,71	0,39	50
15	0,91	0,55	0,76	0,21	50
20	0,95	0,45	0,80	0,00	0

Obs. Compatibilizar deslocamentos entre pavimentos

133

A importância do plano de reescoramento na deformabilidade - ciclo 7 dias



Idades	fcj/fck	P,atu	P,res	P,trans	%escor
0	0	0,60	0,00	0,60	100
7	0,77	0,55	0,65	0,50	100
14	0,90	0,55	0,76	0,29	50
21	0,96	0,55	0,87	0,00	0
28	1,00	0,45	0,80		

134

A importância do plano de reescoramento na deformabilidade se dá na medida que a peça de concreto armado fissura quando solicitada e, no caso de esta estar ainda jovem, muito mais devido a sua baixa resistência nestas idades iniciais.

Desta forma, pode-se dizer que o ritmo de execução da obra pode comprometer o desempenho desta quanto a sua deformabilidade futura

135

5.Durabilidade

Item 9 da NBR-6118

9 Diretrizes para durabilidade das estruturas de concreto

9.1 Exigências de durabilidade

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante sua vida útil, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo.

Durabilidade

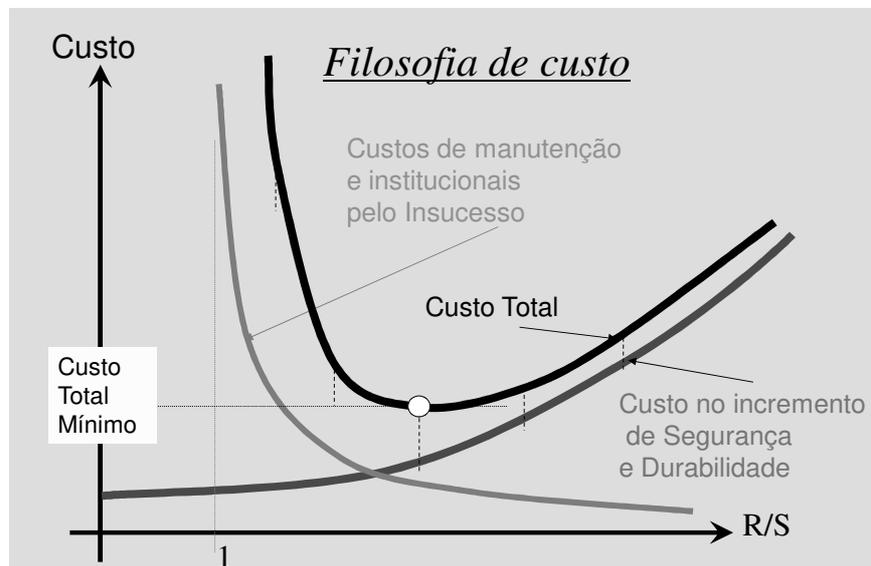
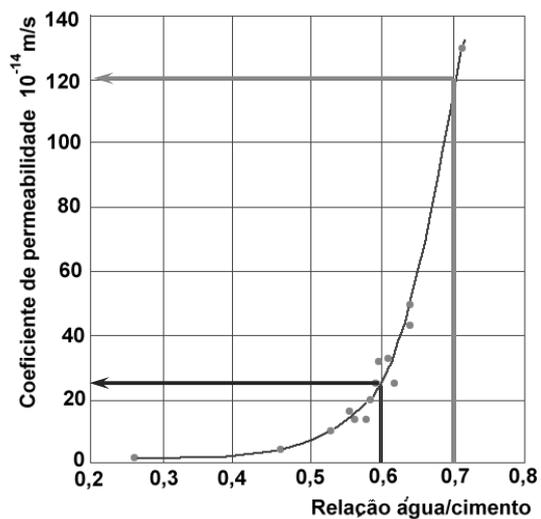


Tabela 11 - Classes de agressividade ambiental
NBR 6118

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
I	fraca	insignificante
II	média	pequeno
III	forte	grande
IV	muito forte	elevado

Durabilidade segundo a NBR-6118

Importância da permeabilidade



139

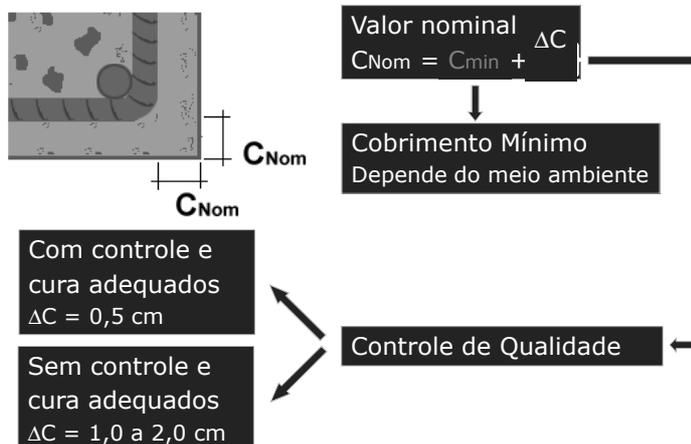
Tabela 13 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto – NBR-6118

Concreto	Classe de agressividade (ver tabela 11)				
	Tipo	I	II	III	IV
relação água/cimento em massa	CA	≤0,65	≤0,60	≤0,55	≤0,45
	CP	≤0,60	≤0,55	≤0,50	≤0,45
Classes de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS
 1 CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado
 2 CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido

140

Durabilidade segundo a nova NB1



141

Tabela 14 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal

C _{nom} (mm)	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		C _{nom}			
		I	II	III	IV ³⁾
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga / pilar	25	30	40	55
Concreto protendido¹⁾	Todos	30	35	45	55

1) Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

2) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos, e outros tantos, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelo item 10.4.6. respeitado um cobrimento nominal $\geq 15\text{mm}$.

142

6. Resistência ao fogo

Tabela 1 – Temperatura dos gases em função do tempo da ASTM E-119 [2].

Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	20
5	538
10	704
15	760
20	795
25	821
30	843
35	862
40	878
45	892
50	905
55	916
60	927
65	937
70	946
75	955
80	963
85	971
90	978
120	1010
240	1093
480	1260

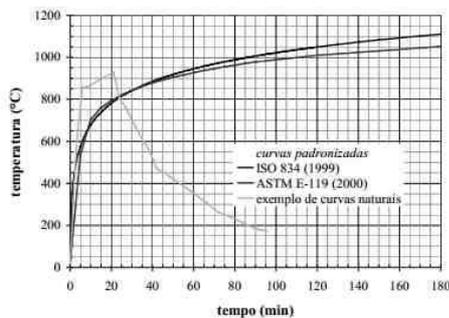


Figura 1 – Curvas temperatura-tempo padronizadas pelas principais normas internacionais e a forma típica das curvas naturais [39, 42].

143

Queda da resistência e da rigidez do concreto com a Temperatura

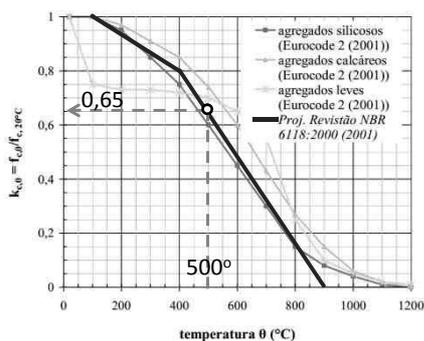


Figura 2 – Fator de redução da resistência do concreto à compressão, em função da temperatura.

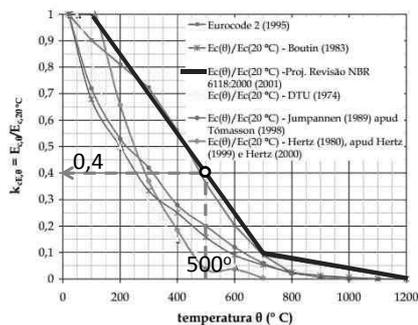


Figura 3 – Fator de redução do módulo de elasticidade do concreto, em função da temperatura.

144

Queda da resistência e da rigidez do aço com a Temperatura

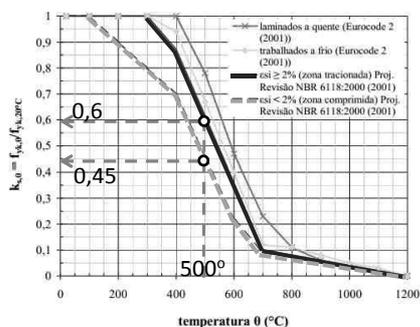


Figura 4 – Fator de redução da resistência do aço das armaduras, em função da temperatura.

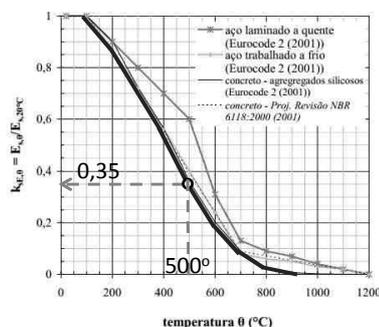


Figura 5 – Fator de redução do módulo de elasticidade do aço das armaduras, em função da temperatura.

145

A capacidade resistente de uma peça de concreto armado fica comprometida quando sujeita ao fogo devido à perda de capacidade do concreto e do aço perante às altas temperaturas do ambiente em que estão imersas.

O concreto tem inércia térmica maior do que o aço, o que lhe permite proteger o aço e a si próprio, desta maneira, retardar o efeito de queda de resistência da peça de concreto armado quando sujeita ao fogo.

Evidentemente, a propagação do calor dentro da peça se dará tendo como variáveis as faces sujeitas ao fogo, a umidade do concreto e o tipo de agregado.

146

Noções sobre estruturas

Francisco Paulo Graziano