



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado Escolha do tipo de reforço

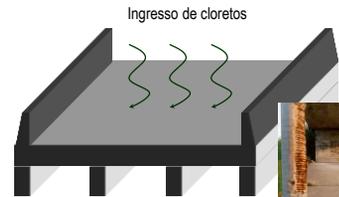
Leila Cristina Meneghetti Valverdes  
Abril, 2016

### Quando se deve recuperar/reforçar?

- Deficiências devido a degradação do material



Secagem - molhagem



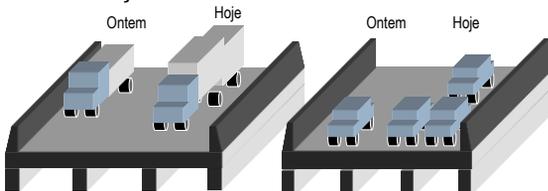
Resultado final



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

### Quando se deve recuperar/reforçar?

- Mudança de uso



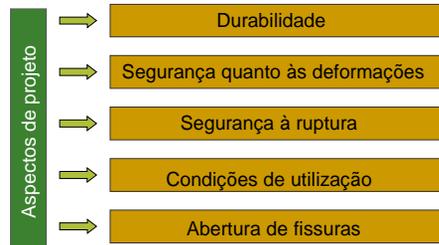
Atualização do carregamento  
em normas e código

Aumento do volume de  
tráfego



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

### Dimensionamento do elemento de reforço/recuperação



## Dimensionamento do elemento de reforço/recuperação

### ■ Coeficientes de segurança

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R \left( \frac{f_k}{\gamma_m} \right) \geq \frac{1}{\gamma_{Sd}} S(S_k \times \gamma_f) = S_d$$

$\gamma_{Sd}$  = Incertezas relativas às solicitações (modelo de análise)

$\gamma_{Rd}$  = Incertezas do modelo de resistência previstos

$\gamma_m$  = Incertezas relativas aos materiais

$\gamma_f$  = Incertezas relativas às ações



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Coeficientes de segurança - CEB

### ■ Concreto projetado - $\gamma'_c / \gamma_c$ , onde $\gamma_c=1,5$

Nível de controle de qualidade	Acessibilidade	
	Normal	Baixa
Alto	1,2	1,3
Médio	1,3	1,4

### ■ Aço para as armaduras novas quando se prevê soldagem - $\gamma'_s / \gamma_s = 1,2$ , onde $\gamma_s=1,15$

## Técnicas de recuperação/reforço de estruturas de concreto armado

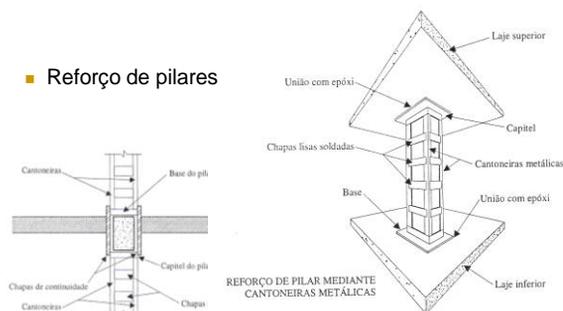
- Perfis metálicos
- Concreto armado
- Concreto projetado
- Chapa de aço colada com resina epoxídica
- Polímeros reforçados com fibras
- Protensão exterior



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

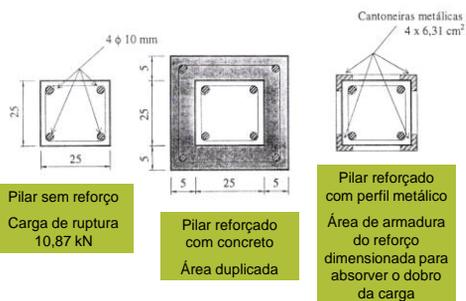
## Perfis metálicos

### ■ Reforço de pilares



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Comparação de técnicas de reforço

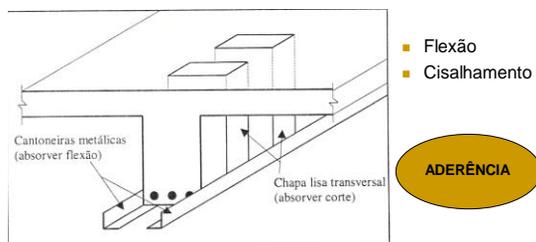


## Perfis metálicos – reforço de pilares

Condição do pilar	Série de pilares						Média (kN)
	1	2	3	4	5	6	
Sem reforço (I)	8,06	8,74	8,71	7,81	7,42	8,02	8,22
Concreto (II)	15,86	14,72	13,27	13,27	14,41	13,20	14,12
Reforço de aço (III)	14,53	13,20	12,44	10,54	12,70	10,67	12,35
II/I	1,84	1,68	1,52	1,70	1,94	1,64	1,72
III/I	1,70	1,51	1,43	1,35	1,71	1,33	1,50

## Perfis metálicos

### Reforço de vigas



## Concreto convencional

- Rapidez na execução
- Baixo custo
- Conhecimento do comportamento dos materiais empregados

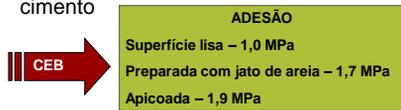
VANTAGENS

- Necessidade de fôrmas
- Aumento da seção transversal

DESADVANTAGENS

### Concreto convencional

- União concreto novo ao velho
  - Remoção das partes soltas da superfície do concreto velho
  - Preparação da superfície através de apicoamento e jateamento com areia
  - Utilização de resinas epoxídicas
  - Uso de camadas de argamassa ou pasta de cimento

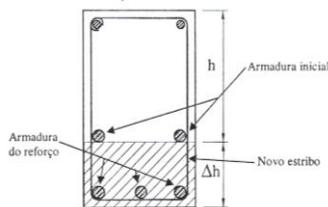


### Concreto convencional: Procedimento de recuperação

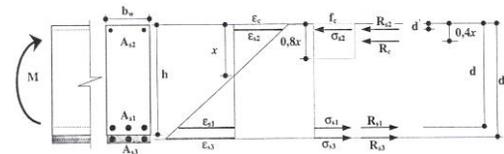
- Limpeza - retirada do material degradado e pulverulento
- Colocação de novos estribos: inteiros; passando pela alma da viga; soldados nos estribos existentes (redução de ± 50% da tensão)
- Colocação da armadura longitudinal
- Colocação da fôrma
- Concretagem
- Cura (± 7 dias)

### Concreto convencional: Reforço de vigas

- Flexão
- Cisalhamento



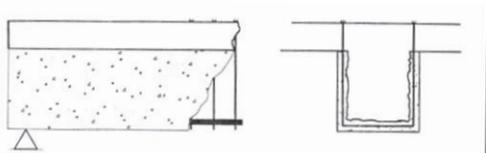
### Concreto convencional: Dimensionamento à flexão



$$M_R = R_{s1}d + R_{s3}d_{s3} - 0,32b_w f_c x^2 - R_{s2}d'$$

$$M_R = \sigma_{s1}A_{s1}d + \sigma_{s3}A_{s3}d_{s3} - 0,32b_w f_c x^2 - \sigma_{s2}A_{s2}d'$$

## Concreto convencional: Dimensionamento ao esforço cortante



$$V_{dim} = V_{tot} - V_{exist}$$

$$\bar{f}_{yd} = \frac{1}{2} f_{yd}$$

$V_{dim}$  = esforço cortante dos estribos adicionais

$V_{tot}$  = esforço cortante total a ser resistido pela viga

$V_{exist}$  = esforço cortante resistido pela viga danificada

## Concreto convencional: Reforço de pilares

- É mais problemática do que o reforço em vigas e lajes
- A espessura mínima da capa de concreto deve ser igual a 6cm (normalmente adota-se > 10cm e utiliza-se agregado graúdo com  $d_{max} \leq 20mm$ )



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Concreto projetado

- É um processo contínuo de aplicação do concreto sob pressão.
- Sistema adequado em reparações de grandes superfícies

Baixa relação a/c - 0,35 a 0,40

Resistência à compressão - 20MPa a 35MPa

Boa aderência entre o concreto projetado e a superfície sobre a qual é lançado

Agregado graúdo -  $d_{max} \leq 10mm$

Perda devido a força do impacto: Paredes verticais - 15% a 30%;  
Tetos - 25% a 30%; Pisos - 5% a 15%



Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Concreto projetado: Aplicações

- Estruturas atingidas por incêndio
- Estruturas expostas à ação de águas agressivas
- Concretagem de paredes verticais e inclinadas
- Concretagem em locais de difícil acesso
- Revestimentos de canais e taludes
- Capeamento protetor e de reforço em estruturas metálicas



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Chapas de aço coladas com resina epoxídica

- Rapidez na execução
- Não utiliza materiais molhados
- Ausência de vibração e baixo nível de ruído
- Não necessita instalações auxiliares importantes
- Acréscimo da seção é muito pequeno

### VANTAGENS

## Chapas de aço coladas com resina epoxídica

- Qualidade do adesivo
- Preparação da superfície
  - Concreto
  - Aço
- Execução do reforço

### Sucesso da técnica

## Chapas de aço coladas com resina epoxídica

- Tixotropia
- Grande resistência mecânica: tração, compressão e cisalhamento
- Excelente aderência entre o concreto e aço
- Possui retração praticamente desprezível
- Atentar para as propriedades de tempo de uso (*open time e pot life*)

### Resina

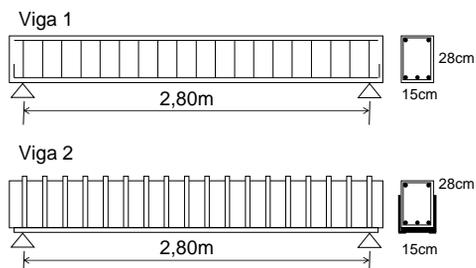
## Chapas de aço coladas com resina epoxídica

- Propriedades do epóxi endurecido
  - Resistência à tração: 30 a 90 MPa
  - Resistência à compressão: 120 a 210 MPa
  - Módulo de deformação: 1500 a 30.000 MPa
  - Retração menor do que a do aço
  - Alongamento na ruptura: 2 a 5%



As resinas de base epóxi são sensíveis ao calor. Em temperaturas de 70°C a 80°C suas características resistentes começam a ficar prejudicadas.

## Ensaio realizado no Instituto Eduardo Torroja (Madri) – Prof. Cánovas

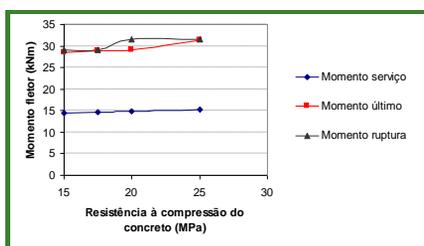


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Influência do tratamento superficial

Tratamento superficial		Momento último (kNm)	Flecha (mm) p/ 19kN
Concreto	Aço		
Jato de areia	Jato de areia	29,4	9,9
Jato de areia	Jato de areia com resina de base epóxi	26,0	10,1
Apicoamento	Jato de areia	28,6	9,8
Apicoamento	Esmerilhadeira	28,7	9,8

## Influência da resistência do substrato de concreto



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Influência do tipo de adesivo epoxídico

Adesivo	M. Serviço (kNm)	M. Último (kNm)	M. Ruptura (kNm)
A	14,8	29,7	31,5
B	14,8	29,7	31,7
C	14,8	29,7	30,1

## Influência da espessura do adesivo

Espessura adesivo (mm)	M. Serviço (kNm)	M. Último (kNm)	M. Ruptura (kNm)
0,7	14,8	29,7	31,5
1,0	14,8	29,7	32,0
2,0	14,8	29,7	31,2
3,0	14,8	29,9	32,3
5,0	15,8	30,0	31,9

## Influência da espessura da chapa de aço

Espessura da chapa (mm)	Tensões de Tração (MPa)		M. Ruptura (kNm)
	M=26kNm	M=29kNm	
3	316	316	31,5
5	197	208	33,9
8	120	131	33,9

|| IMPORTANTE

Com o aumento da espessura da chapa não se consegue um aumento significativo na capacidade de carga, devido às limitações da resistência ao cisalhamento do concreto e da tensão de aderência da chapa com o concreto

## Considerações

- **Modo de ruptura**
  - **Vigas com chapa de 3mm** – após o escoamento da armadura de tração e da chapa de reforço, a ruptura ocorreu por esmagamento do concreto na região central
  - **Vigas com chapas de 5mm e 8mm** – a ruptura ocorreu por arrancamento da chapa de aço nas extremidades do material de reforço, devido ao esforço de cisalhamento. As tensões de tração na chapa não atingiram o limite elástico e houve pouco acréscimo no momento de ruptura.

## Comportamento das vigas reforçadas sob carga de longa duração – fluência

Viga	Flechas (mm)		
	1 hora	365 dias	550 dias
Adesivo A e=0,7mm	5,51	9,13	9,22
Adesivo B e=0,7mm	5,60	10,01	10,37
Adesivo C e=0,7mm	5,61	11,06	11,65
Adesivo A e=2mm	5,52	9,76	9,91
Adesivo A e=3mm	5,50	9,99	10,17
Adesivo B e=3mm	5,62	11,31	11,48
Adesivo C e=3mm	5,60	12,82	Ruptura 420 dias

## Recomendações do CEB

$$Mu_{adic} \leq \frac{1}{2} Mu_{exist}$$

$$e_{chapa} \leq 3mm$$

$$e_{re \sin a} < 1,5mm$$



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

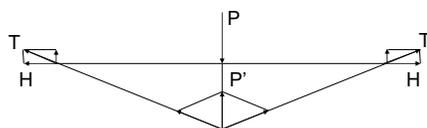
## Protensão Exterior

- Não necessita descarregar a estrutura
- Introduzir no elemento estrutural tensões limites dos materiais que o constituem
- Falhas de projeto, acidentes, aumento da capacidade portante etc
- O dimensionamento deve seguir as normas de concreto armado e protendido



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

## Exemplo de flexocompressão



Componentes horizontais - pós-tensão e vão adjacentes

Efeitos de segunda ordem – flambagem

Detalhamento rigoroso – dispositivos de desvio e conectores



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica