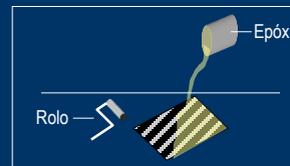


Reforço estrutural com polímeros reforçados com fibras colados externamente

Material de apoio a disseminação do uso de FRP disponível em SIMTReC - Centre for Structural Innovation and Monitoring Technologies (antigo ISIS Canada) <http://simtrec.ca/about-us/>

1 Wet lay-up

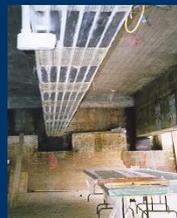
Usado com mantas/tecidos flexíveis
Reforço saturado com resina epoxídica
Aplicar na superfície do concreto



Resina age como adesivo e como MATRIZ

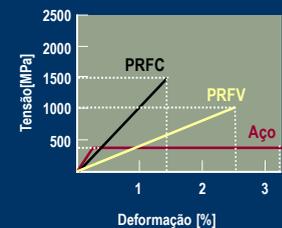
2 Pre-curados

Usados com placas rígidas pré-curadas
Aplicar o adesivo no PRF
e na superfície do concreto
Não é tão adequado para determinadas formas estruturais

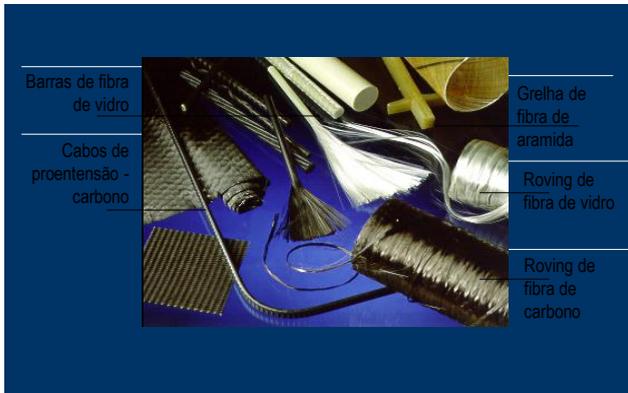


Resina age como adesivo e MATRIZ

- Propriedades do PRF (versus aço):
 - Comportamento linear elástico até a falha
 - Sem escoamento
 - Alta resistência última
 - Baixa deformação na falha



Produtos a base de fibras sintéticas



Comparativo das propriedades do compósito final

Material	Resistência última	Mod. elasticidade	Deformação
PRF vidro	517-1207 MPa	30-55 GPa	2-4,5 %
PRF carbono	1200-2410 MPa	147-165 GPa	1-1,5 %
PRF aramida	1200-2068 MPa	50-74 GPa	2-2,6 %
Aço	483-690 MPa	200 GPa	> 1 %

Recuperação
PRF

Avaliação da estrutura existente



Parte: 3

Superfície do concreto

- Aspecto importante do sucesso do reforço: \implies Condições do substrato
- Concreto deve transferir as cargas para o adesivo através da tensão de aderência
- As falhas da superfície devem ser corrigidas

Recuperação
PRF

Reforço de vigas ou lajes em uma direção



Parte: 4

Reforço à flexão

Hipóteses

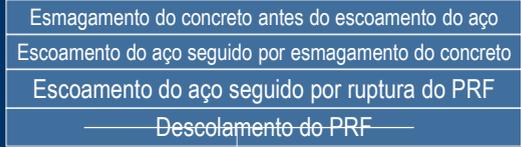
- Ruptura do PRF
- Esmagamento do concreto
- ❶ Falhas
 - ❷ Seções planas permanecem planas
 - ❸ Aderência perfeita entre aço/concreto e PRF/concreto
 - ❹ Ancoragem adequada
 - ❺ PRF é linear elástico até a falha
 - ❻ Curva tensão x deformação do concreto é parabólica, despreza-se o concreto na região tracionada
 - ❼ As deformações iniciais no PRF são desprezíveis

Fatores de resistência

Material	Ponte	Construção
Aço	$\phi_s = 0.90$	$\phi_s = 0.85$
Concreto	$\phi_c = 0.75$	$\phi_c = 0.6$
PRF	Carbono Vidro	$\phi_{frp} = 0.75$ $\phi_{frp} = 0.50$

Modos de ruptura

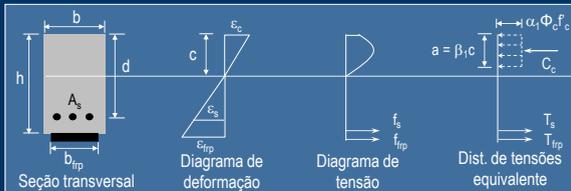
- Quatro modos de ruptura potenciais



Descolamento é prevenido com mecanismos de ancoragem adicional
Adotar modo de falha \implies Análise \implies Checar modo de falha

*** Adotar deformações iniciais no reforço igual a zero ***

Dimensionamento



- Equilíbrio de forças na seção

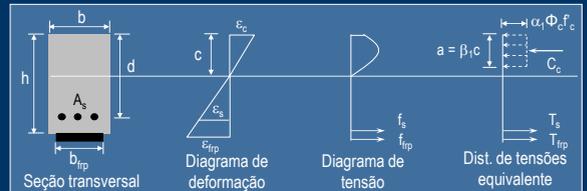
$$T_s + T_{frp} = C_c \quad Eq. 4-1$$

$$T_s = \phi_s A_s f_s$$

$$T_{frp} = \phi_{frp} A_{frp} E_{frp} \epsilon_{frp}$$

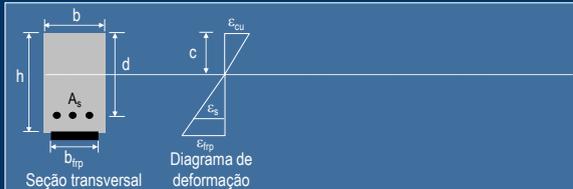
$$C_c = \phi_c \alpha_1 f_c \beta_1 b c$$

Dimensionamento



- Aplicar as equações de compatibilidade das deformações para encontrar a posição da linha neutra, c
- Capacidade resistente da seção:

$$M_r = T_s \left[d - \frac{a}{2} \right] + T_{frp} \left[h - \frac{a}{2} \right] \quad Eq. 4-5$$

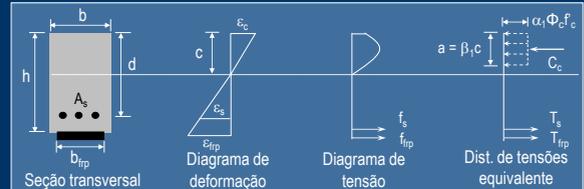


Passo 1: Verificar modo de falha

Adotar que a seção falha por esmagamento do concreto antes do escoamento do aço $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$

Então: $\epsilon_{frp} = \epsilon_{cu} (h-c)/c$ Eq. 4-6

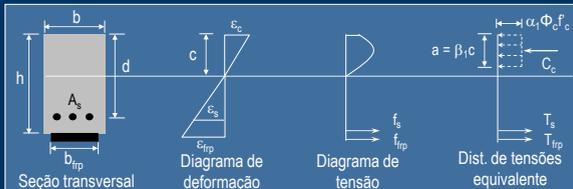
$\epsilon_s = \epsilon_{cu} (d-c)/c$ Eq. 4-7



Passo 2: Determinar os fatores das tensões de compressão do concreto

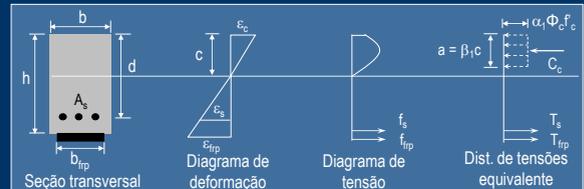
$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015f'_c > 0.67$ Eq. 4-8

$\beta_1 = 0.97 - 0.0025f'_c > 0.67$ Eq. 4-9



Passo 3: Determinar a profundidade do eixo neutro

$\phi_s A_s f_s + \phi_{frp} A_{frp} E_{frp} \epsilon_{frp} = \phi_c \alpha_1 f'_c \beta_1 b c$ Eq. 4-10



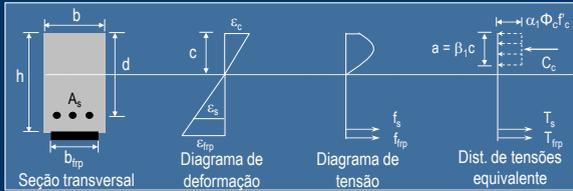
Passo 4: Checar se o modo de falha está correto

$\epsilon_{frp} = \epsilon_{cu} (h-c)/c > \epsilon_{frpu}$ Eq. 4-11

Se verdadeiro, passo 6

Se falso, passo 5

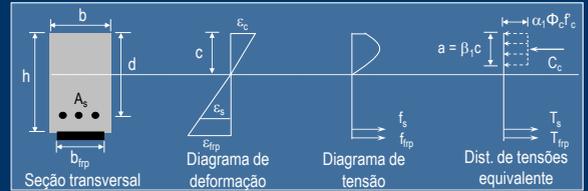
Procedimento de análise



Passo 5: Calcular o momento resistente

$$M_r = \phi_s A_s f_y \left[d - \frac{a}{2} \right] + \phi_{trp} A_{trp} E_{trp} \epsilon_{trp} \left[h - \frac{a}{2} \right] \quad \text{Eq. 4-12}$$

Procedimento de análise



Passo 5: Calcular o momento resistente

Checar se a deformação de escoamento do aço garante a deformabilidade necessária

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu}(d-c)/c \stackrel{?}{>} \epsilon_y$$

Se sim, OK

Se não, reduzir a quantidade de PRF e recalcular

Procedimento de análise



Passo 6: Adotar modo de falha diferente

Assumir que falha ocorrerá por ruptura do PRF

Então

$$\epsilon_{trp} = \epsilon_{trpu}$$

$$\epsilon_c < \epsilon_{cu}$$

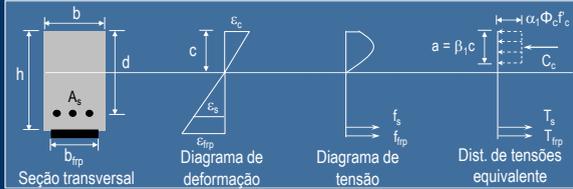
Procedimento de análise



Passo 7: Determinar a profundidade do eixo neutro

$$\phi_s A_s f_y + \phi_{trp} A_{trp} E_{trp} \epsilon_{trpu} = \phi_c \alpha_1 f_c \beta_1 b c \quad \text{Eq. 4-15}$$

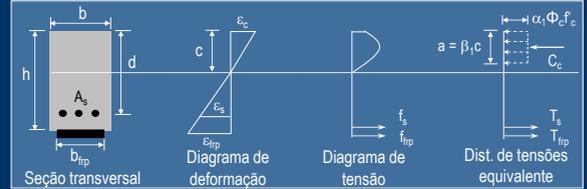
Procedimento de análise



Passo 8: Checar se o modo de falha está correto

$$\begin{aligned} \epsilon_c &< \epsilon_{cu} \\ \epsilon_{trpu} c / (h-c) &< \epsilon_{cu} \end{aligned}$$

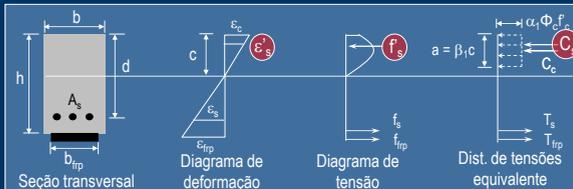
Procedimento e análise



Passo 9: Calcular o momento resistente

$$M_r = \phi_s A_s f_y \left[d - \frac{a}{2} \right] + \phi_{trp} A_{trp} E_{trp} \epsilon_{trpu} \left[h - \frac{a}{2} \right] \quad \text{Eq. 4-17}$$

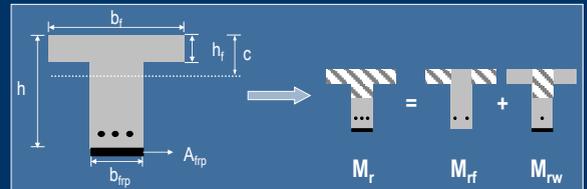
Com aço na compressão



• Procedimento de análise similar

Adicionar a resultante de compressão

Viga "T"



• Procedimento de análise similar

Eixo neutro da mesa: tratar como uma seção retangular

Eixo neutro na alma: tratar como uma seção "T"

Exemplos de aplicação



Exemplos de aplicação



Exemplos de aplicação



Exemplos de aplicação

