

# Reforço ao cisalhamento com FRP

Recomendações ACI 440

# Contribuição do CFRP para resistência ao cisalhamento

$$V_{fd} = \phi \psi_f \frac{A_{fv} f_{fe} d_f}{s_f} (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

$\phi = 0,85$  coeficiente de segurança

$\psi_f$  coeficiente que minora a resistência ao corte devido ao FRP, depende da configuração geométrica do sistema de reforço

$\alpha$  ângulo que a orientação do reforço faz com o eixo da viga

$s_f$  afastamento entre as faixas de CFRP

$A_{fv}$  área efetiva de CFRP para resistir ao esforço cortante

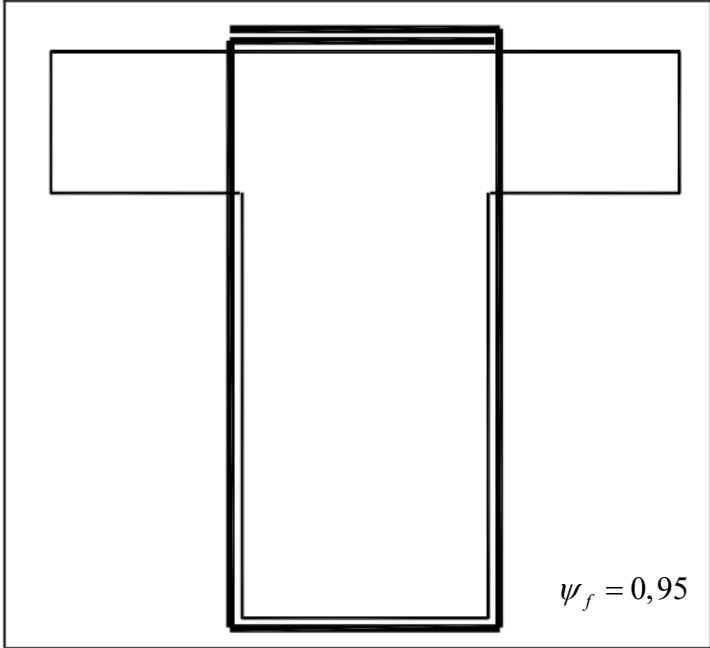
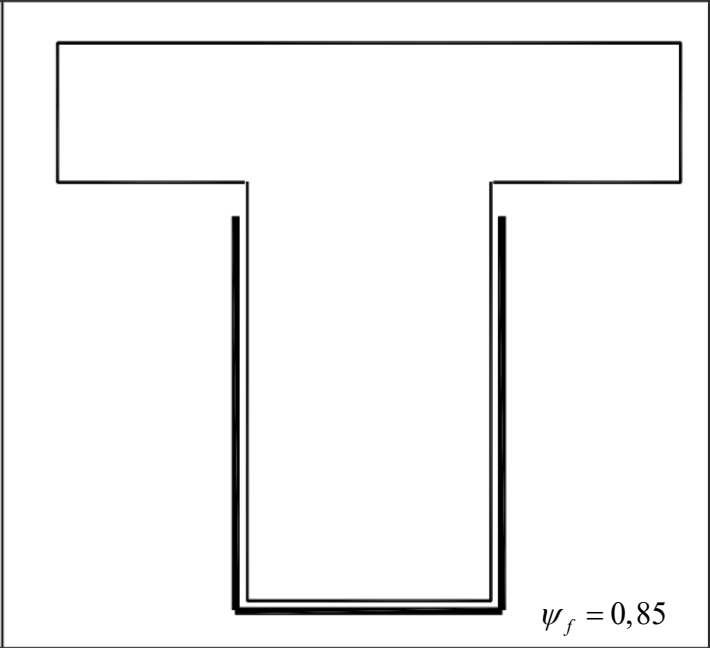
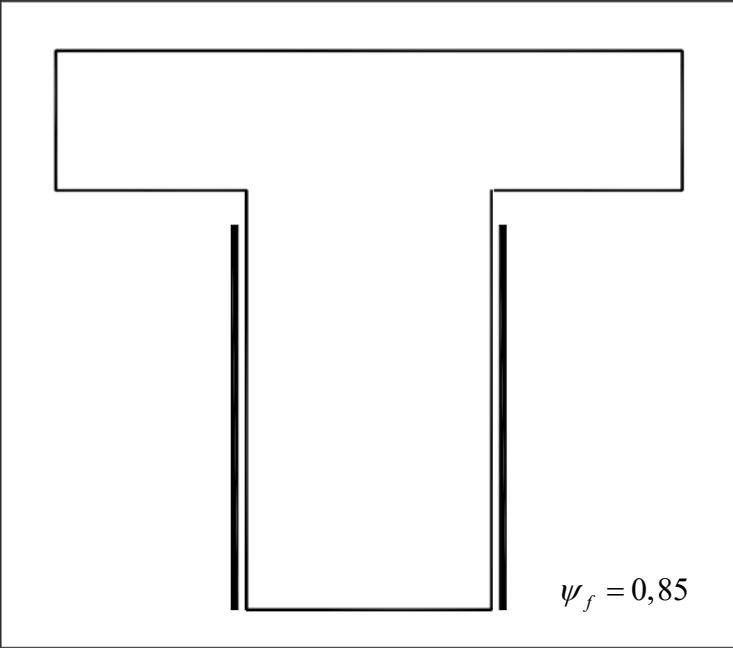
$$A_{fv} = 2nt_f w_f$$

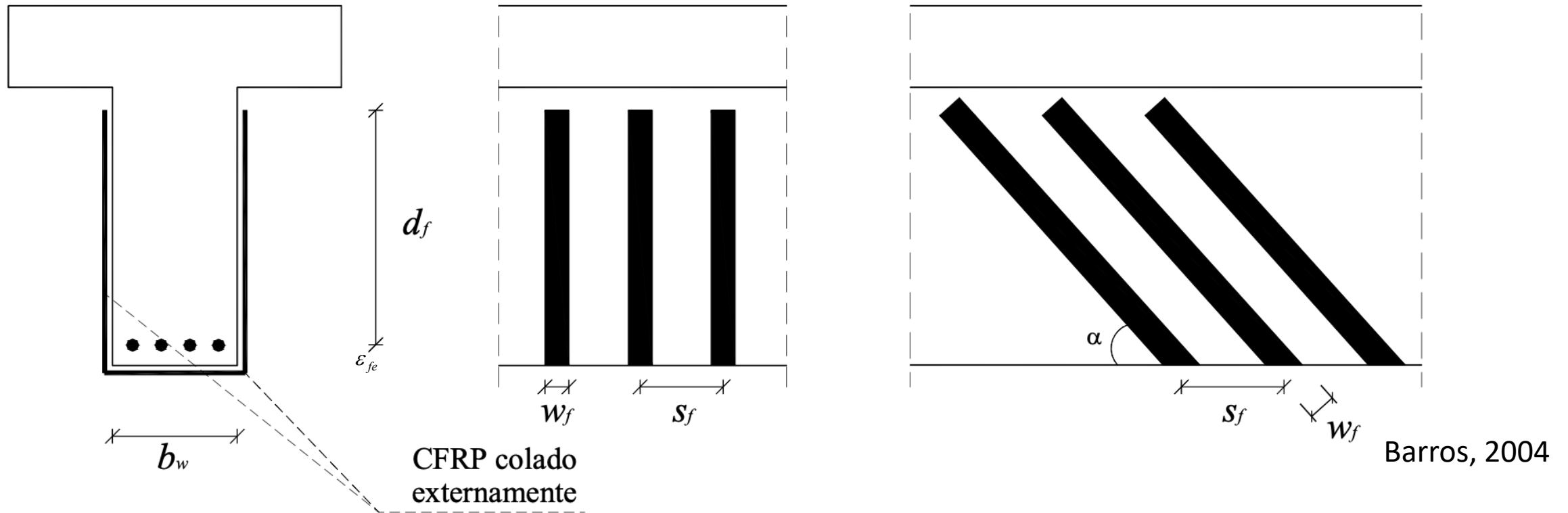
$n$  número de camadas

$t_f$  espessura do reforço CFRP

$w_f$  largura do reforço CFRP

# Possíveis arranjos do reforço com CFRP

 <p><math>\psi_f = 0,95</math></p>	 <p><math>\psi_f = 0,85</math></p>	 <p><math>\psi_f = 0,85</math></p>
a) envolvimento da secção	b) em forma de U	c) colagem nas duas faces laterais



A tensão efetiva no reforço é dada pelo produto obtido do módulo de elasticidade do compósito,  $E_f$ , pela deformação longitudinal efetiva no CFRP  $\varepsilon_{fe}$

a) Elementos reforçados com envolvimento total    b) Elementos reforçados em U ou colagem lateral

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75\varepsilon_{fu}$$

$$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{fu} \leq 0,004$$

$k_v$  é um fator de redução para prevenir rupturas prematuras

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \leq 0,75$$

$$L_e = \frac{23300}{(n \times t_f \times E_f)^{0,85}}$$

$$k_1 = \left( \frac{f_{ck}}{27} \right)^{2/3}$$

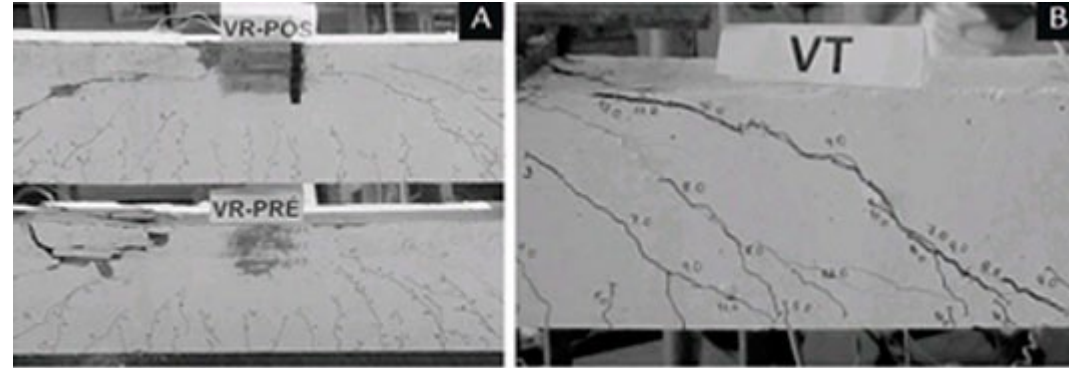


Figura 5 - Detalhe das vigas VR-PÓS, VR-PRÉ e VT após ruptura

$$k_2 = \begin{cases} \left( \frac{d_f - 2L_e}{d_f} \right) \rightarrow \text{Reforço nas faces laterais} \\ \left( \frac{d_f - L_e}{d_f} \right) \rightarrow \text{Reforço em forma de U} \end{cases}$$

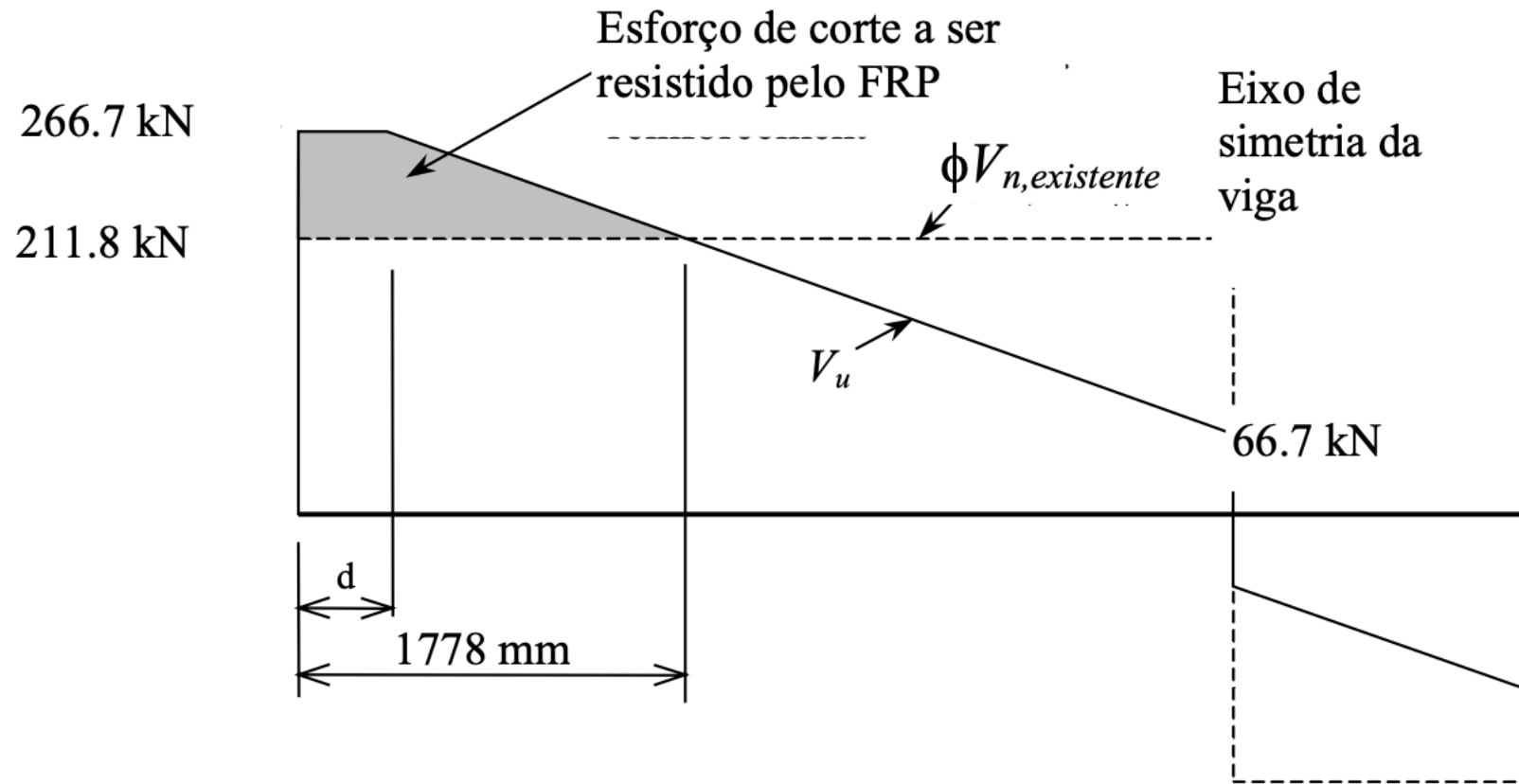
$f_{ck}$  é o valor característico da resistência do concreto (MPa)

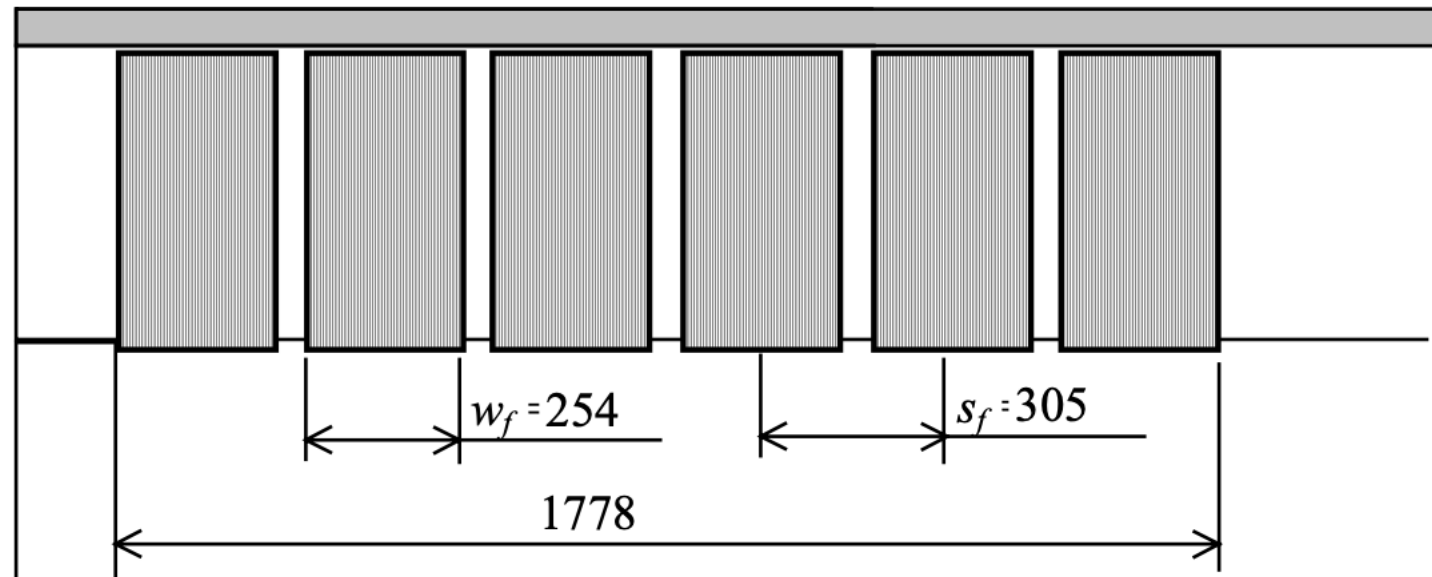
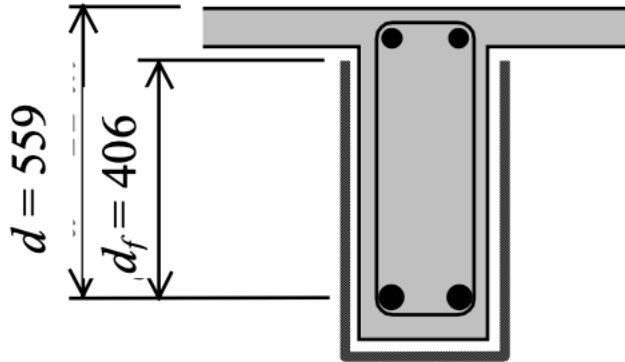
$d_f$  é a altura útil do reforço de CFRP

$L_e$  é o comprimento de colagem efetivo de CFRP

# Exercício reforço ao esforço cortante com CFRP

Considere-se uma viga de seção T em concreto armado com resistência característica à compressão igual a 21MPa, localizada no interior do edifício. Devido ao aumento da sobrecarga, essa viga tem de ser reforçada ao corte, sendo, no entanto, suficiente a armadura longitudinal. A contribuição do concreto para a resistência ao corte é  $V_c = 162kN$ , enquanto os estribos contribuem com uma resistência  $V_{sw} = 87,2kN$ . Assim, a resistência total da viga existente é  $\phi V_{n,existente} = 0,85 \times (162 + 87,2) = 211,8kN$ . O valor de cálculo do esforço de corte para o novo carregamento, à distância  $d$  do apoio, é  $V_u = 266,7kN$ . A Figura abaixo representa o diagrama de corte e a zona onde é necessário aplicar o reforço.





Barros, 2004

### Configuração do reforço


$d$	559 mm
$d_f$	406 mm
Largura de cada faixa, $w_f$	254 mm
Distância média entre faixas, $s_f$	305 mm
Comprimento da zona de reforço	1778 mm

### Propriedades do FRP (fabricante)

Espessura da camada, $t_f$	0,1651 mm
Resistência última à tração, $f_{fu}^*$	3792 N/mm <sup>2</sup>
Deformação na ruptura, $\varepsilon_{fu}^*$	0,01667 mm/mm
Módulo de elasticidade, $E_f$	227527 N/mm <sup>2</sup>



# 1. Determinação dos valores de cálculo das propriedades do FRP

$C_E = 0,95$   Para a viga reforçada está localizada no interior da edificação

$$f_{fu} = C_E \times f_{fu}^*$$

$$f_{fu} = 0,95 \times 3792 = 3602 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \times \varepsilon_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = 0,95 \times 0,017 = 0,016$$

## 2. Cálculo da deformação efetiva no FRP (faixas U)

$$L_e = \frac{23300}{(n \times t_f \times E_f)^{0,85}}$$

$$L_e = \frac{23300}{[(1)(0,1651 \text{ mm})(227527 \text{ N/mm}^2)^2]^{0,85}} = 51,8 \text{ mm}$$

$$k_1 = \left(\frac{f_{ck}}{27}\right)^{2/3}$$

$$k_1 = \left(\frac{21 \text{ N/mm}^2}{27}\right)^{2/3} = 0,84$$

$$k_2 = \left(\frac{d_f - L_e}{d_f}\right)$$

$$k_2 = \left(\frac{406 \text{ mm} - 51,8 \text{ mm}}{406 \text{ mm}}\right) = 0,872$$

$\kappa_v$

Fator redutor da resistência de aderência FRP em faixas U

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \leq 0,75$$

$$\kappa_v = \frac{0,84 \times 0,872 \times (51,8 \text{ mm})}{11900 \times 0,01667} = \underline{\underline{0,191}} \leq 0,75$$

$$\varepsilon_{fe} = \kappa_v \varepsilon_{fu} \leq 0,004$$

$$\varepsilon_{fe} = 0,191 \times (0,01667) = \underline{\underline{0,0032}} \leq 0,004$$

### 3. Cálculo da contribuição do FRP na resistência ao corte

$$A_{fv} = 2nt_f w_f$$

$$A_{fv} = 2 \times 1 \times (0,1651 \text{ mm}) \times (254 \text{ mm}) = 83,87 \text{ mm}^2$$

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f$$

$$f_{fe} = 0,0032 \times (227527 \text{ N/mm}^2) = 728 \text{ N/mm}^2$$

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f}$$

$$V_f = \frac{(83,87 \text{ mm}^2) \times (728 \text{ N/mm}^2) \times 1 \times (406 \text{ mm})}{(305 \text{ mm})} = 81276 \text{ N}$$

## 4. Cálculo da resistência ao corte da seção

$$\phi V_n = \phi(V_C + V_{sw} + \psi_f V_f)$$

$$\phi V_n = 0,85[162 + 87,2 + (0,85) \times (81,3)]$$

$$\phi V_n = 270,6 \text{ kN} > V_u = 266,7 \text{ kN}$$

A viga reforçada resiste aos novos esforços de corte!