

**Exemplo 1.16:**

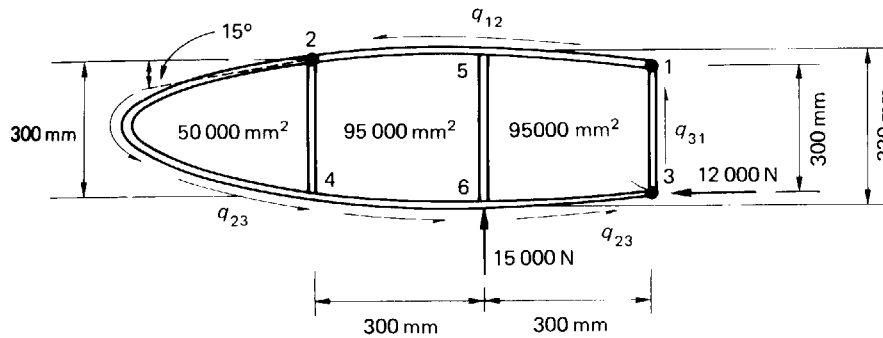
Calcular os fluxos de corte nos painéis da alma e as cargas axiais nas mesas da nervura da asa mostrada na *figura 1.32*. Assumir que a alma da nervura suporta apenas o corte e que a resistência da asa aos momentos flectores é devida inteiramente às três mesas 1, 2 e 3.

Uma vez que os momentos flectores da asa são resistidos pelas abas 1, 2 e 3 os fluxos de corte que se desenvolvem na pele da asa são constantes entre as abas das longarinas. Usando o método descrito na *secção 1.4.1* para uma secção de asa com três “booms” tem-se, resolvendo a força horizontalmente,

$$600q_{12} - 600q_{23} = 12000 \text{ N} \quad (\text{i})$$

Resolvendo verticalmente

$$300q_{31} - 300q_{23} = 15000 \text{ N} \quad (\text{ii})$$



**Figura 1.32** Nervura da asa do *exemplo 1.16*.

Tirando momentos em torno da mesa 3

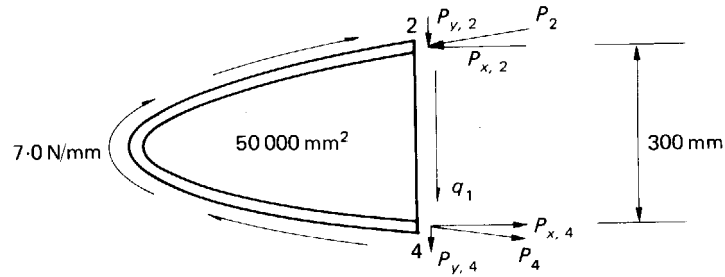
$$2 \times (50000 + 95000)q_{23} + 2 \times 95000q_{12} = -15000 \times 300 \text{ Nmm} \quad (\text{iii})$$

A solução das *equações (i), (ii) e (iii)* é

$$q_{12} = 13,0 \text{ N/mm}, \quad q_{23} = -7,0 \text{ N/mm}, \quad q_{31} = 43,0 \text{ N/mm}$$

Considere-se agora a porção do nariz da nervura mostrada na *figura 1.32-1* e suponha-se que o fluxo de corte na alma imediatamente à esquerda do reforço 24 é  $q_1$ . A força de corte total vertical  $S_{y,1}$  nesta secção é dada por

$$S_{y,1} = 7,0 \times 300 = 2100 \text{ N}$$



**Figura 1.32-1** Equilíbrio na porção do nariz da nervura.

As componentes horizontais das cargas da mesa da nervura resistem os momentos flectores nesta secção. Assim

$$P_{x,4} = P_{x,2} = \frac{2 \times 50000 \times 7,0}{300} = 2333,3 \text{ N}$$

A componente vertical correspondente é então

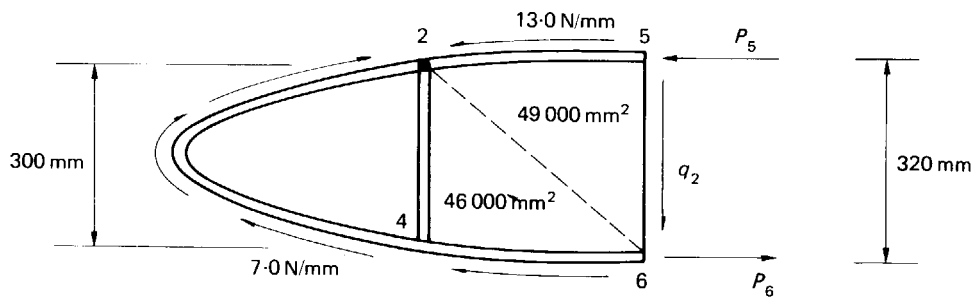
$$P_{y,4} = P_{y,2} = 2333,3 \tan 15^\circ = 625,2 \text{ N}$$

Assim, a força de corte suportada pela alma é  $2100 - 2 \times 625,2 = 849,6 \text{ N}$ . Então

$$q_1 = \frac{849,6}{300} = 2,8 \text{ N/mm}$$

As cargas axiais nas mesas da nervura nesta secção são dadas por

$$P_2 = P_4 = (2333,3^2 + 625,2^2)^{\frac{1}{2}} = 2415,6 \text{ N}$$



**Figura 6.50** Equilíbrio da nervura imediatamente à frente do reforço 56.

As cargas na mesa da nervura e os fluxos de corte no painel da alma na secção vertical imediatamente à esquerda do reforço 56 são determinados considerando o diagrama do corpo livre mostrado na *figura 1.32-2*. Nesta secção, as mesas da nervura têm inclinação nula por isso as cargas nas mesas  $P_5$  e  $P_6$  são determinadas diretamente do valor do momento fletor nesta secção. Assim,

$$P_5 = P_6 = 2 \times [(50000 + 46000) \times 7,0 - 49000 \times 13,0] / 320 = 218,8 \text{ N}$$

A força de corte nesta secção é resistida na totalidade pela alma. Assim,

$$320q_2 = 7,0 \times 300 + 7,0 \times 10 - 13,0 \times 10 = 2040 \text{ N}$$

o que dá

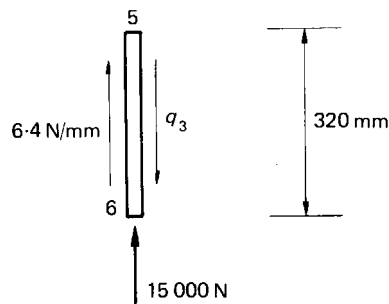
$$q_2 = 6,4 \text{ N/mm}$$

O fluxo de corte imediatamente à direita do reforço 56 é obtido facilmente considerando o equilíbrio vertical do reforço 56 como mostra a *figura 1.32-2*. Então

$$320q_3 = 6,4 \times 320 + 15000$$

o que dá

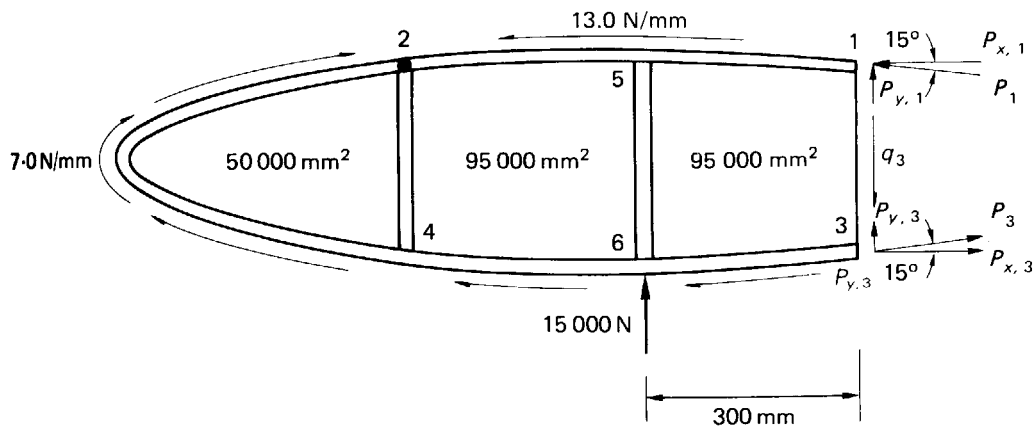
$$q_3 = 53,3 \text{ N/mm}$$



**Figura 1.32-2** Equilíbrio do reforço 56.

Finalmente, vão considerar-se as cargas nas mesas da nervura e o fluxo de corte na alma na secção imediatamente em frente do reforço 31. Da *figura 1.32-3*, de onde se tiram momentos em torno do ponto 3, tem-se

$$M_3 = 2 \times [(50000 + 95000) \times 7,0 - 95000 \times 13,0] + 15000 \times 300 = 4,06 \times 10^6 \text{ Nmm}$$



**Figura 1.32-2** Equilíbrio na nervura em frente do reforço 31.

As componentes horizontais das cargas nas mesas nesta secção são então

$$P_{x,1} = P_{x,3} = \frac{4,06 \times 10^6}{300} = 13533,3 \text{ N}$$

e as componentes verticais são

$$P_{y,1} = P_{y,3} = 13533,3 \operatorname{tg} 15^\circ = 3626,2 \text{ N}$$

Então

$$P_1 = P_3 = (13533,3^2 + 3626,2^2)^{\frac{1}{2}} = 14010,7 \text{ N}$$

A força de corte total nesta secção é  $15000 + 300 \times 7,0 = 17100 \text{ N}$ . Então, a força de corte resistida pela alma é  $17000 - 2 \times 3626,2 = 9847,6 \text{ N}$  de forma que o fluxo de corte  $q_3$  na alma nesta secção é

$$q_3 = \frac{9847,6}{300} = 32,8 \text{ N/mm}$$