

## 2 Treliça de Morsch

### 2.1. Histórico

Quando é aplicado um carregamento a uma viga de concreto armado, desenvolvem-se campos de tensões de tração, os tirantes, e campos de tensões de compressão, as bielas. Após a fissuração, em uma viga bi-apoiada, essa configuração forma uma treliça com banzo superior comprimido constituído pelo concreto; banzo inferior tracionado constituído pela armadura inferior; as diagonais tracionadas por armadura colocada com inclinação arbitrária  $\alpha$ , e as diagonais comprimidas constituídas pelas bielas de concreto.

Por volta de 1900, W. Ritter e E. Morsch (Morsch, 1948) [22,23] propuseram, para a determinação da armadura de cisalhamento necessária ao equilíbrio de uma viga de concreto armado, uma teoria em que o mecanismo resistente da viga no estágio II (fissurada) pudesse ser associado ao de uma treliça, conforme descrito acima.

O modelo proposto por Morsch não foi inicialmente bem aceito, mas com o desenvolvimento das técnicas de ensaio de estruturas, constatou-se que ele poderia ser empregado, desde que fossem as feitas correções adequadas. A teoria teve, então, reconhecimento mundial, e mesmo que muita coisa tenha mudado desde então (as resistências do concreto e do aço aumentaram, a aderência obtida com aços corrugados levou ao desuso as barras lisas etc.), os princípios apresentados por Morsch continuam válidos e ainda hoje são a base do cálculo ao cisalhamento dos mais importantes códigos de projeto estrutural. A grande vantagem é que embora sendo simples, o modelo conduz a resultados satisfatórios para a quantidade da armadura transversal no estado-limite último.

## 2.2. Funcionamento Básico e Elementos Constituintes

Uma viga esbelta simplesmente apoiada de concreto, com armadura longitudinal e transversal, terá próxima à ruptura, sob flexão simples, o aspecto mostrado na *Fig. 2.1* [15]. Ela apresenta fissuras inclinadas na zona em que o cisalhamento é predominante (principalmente próximo aos apoios, onde a força cortante é maior) e, entre elas, elementos de concreto comprimidos (bielas comprimidas).

A partir da configuração da viga na ruptura, Morsch idealizou um mecanismo resistente assemelhando a viga a uma treliça, de banzos paralelos, em que os elementos resistentes são as armaduras longitudinais, as armaduras transversais e o concreto comprimido (nas bielas e na região da borda superior), cujas interseções formam os nós da treliça.

O conceito de bielas de compressão é importante, pois mostra como o aço e o concreto se unem para transferir cargas, e também como o concreto comprimido trabalha e tem participação importante na resistência ao cisalhamento de peças fletidas.

Considera-se que a inclinação ( $\alpha$ ) da armadura de cisalhamento está entre  $45^\circ$  (na direção das tensões principais de tração) e  $90^\circ$ , e os elementos de concreto comprimido estão inicialmente inclinados a  $45^\circ$ .

## 2.3. Treliça Generalizada de Morsch

Com o desenvolvimento e o crescimento das pesquisas experimentais, verificou-se que o cálculo por meio da treliça de Morsch conduz a uma armadura transversal exagerada, ou seja, a tensão real atuante na armadura é menor que a obtida pela treliça. Essa diferença pode ser atribuída principalmente aos seguintes fatores:

1. a treliça é hiperestática (os nós não podem ser considerados como articulações perfeitas);
2. nas regiões mais solicitadas pela força cortante, a inclinação das fissuras, e, portanto, das bielas, é menor que os  $45^\circ$  admitidos por Morsch;

3. parte do esforço cortante é absorvido na zona do banzo de concreto comprimido (devido à flexão);
4. os banzos não são paralelos (o banzo comprimido – é inclinado);
5. as bielas de concreto estão parcialmente engastadas na ligação com o banzo comprimido, e, assim, são submetidas à flexo-compressão, aliviando os montantes ou diagonais tracionadas;
6. as bielas são mais rígidas que os montantes ou diagonais tracionadas, e absorvem uma parcela maior do esforço cortante do que aquela determinada pela treliça clássica;
7. a quantidade (taxa) de armadura longitudinal influi no esforço da armadura transversal.

Todos esses fatores fazem com que a tensão na armadura transversal seja menor que as obtidas com o esquema da teoria clássica de Mörsch, e devendo ser considerado em seu dimensionamento. Entretanto é fácil perceber que introduzi-los no cálculo da treliça levaria a dificuldades matemáticas consideráveis, então a solução foi adotar modelos simplificados com base em ensaios que corrigem a armadura calculada pela teoria clássica, resultando no que se chama de *Treliça de Mörsch Generalizada*.

A correção é feita introduzindo nas expressões para cálculo da armadura transversal, fatores corretivos que conferem maior precisão ao cálculo, com a intenção principal de diminuir o consumo de aço da armadura de cisalhamento e, conseqüentemente, o custo da estrutura. Assim, de forma geral, tem-se:

$$\mu_{\alpha,G} = \mu_{\alpha} \cdot \eta$$

em que:

$\mu_{\alpha}$  → taxa de armadura transversal determinada segundo a teoria clássica de Mörsch;

$\mu_{\alpha,G}$  → taxa de armadura transversal corrigida (treliça generalizada);

$\eta$  → fator de correção, que é menor que 1, baseado em ensaios.

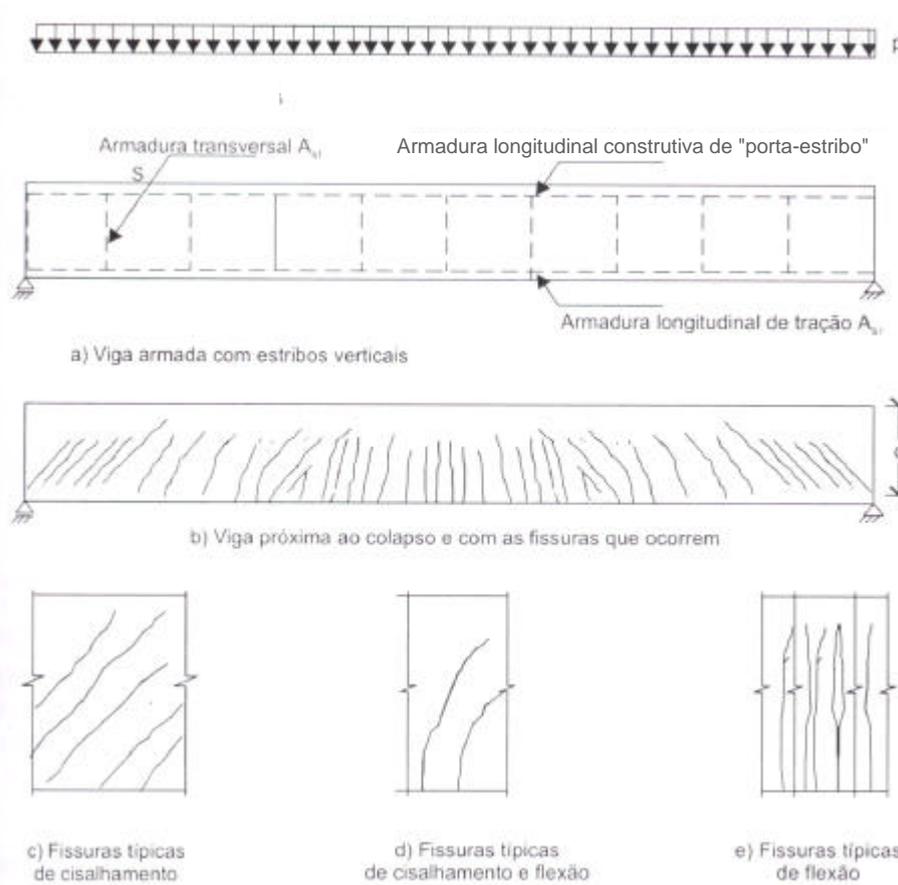


Figura 2.1 - Viga na iminência da ruptura e os tipos de fissura que podem ocorrer [15]

Experiências mostram, entretanto, que o ângulo de inclinação das bielas é menor que  $45^\circ$ , o que será corrigido posteriormente.

Os elementos da treliça generalizada (*Fig 2.2*) [15], são:

1. banzo superior comprimido: formado pela região comprimida de concreto acima da linha neutra, de altura  $x$ ;
2. banzo inferior tracionado: formado pelas barras da armadura longitudinal de tração;
3. montantes ou diagonais tracionadas: formada pela união dos estribos que cruzam as fissuras; podem ter inclinação ( $\alpha$ ) em relação ao eixo longitudinal da viga entre  $45^\circ$  (*Fig. 2.2b*) e  $90^\circ$  (*Fig. 2.2a*);
4. diagonais comprimidas: formadas pelas bielas de compressão (concreto íntegro entre as fissuras), que colaboram na resistência e têm inclinação de  $45^\circ$  em relação ao eixo da peça.

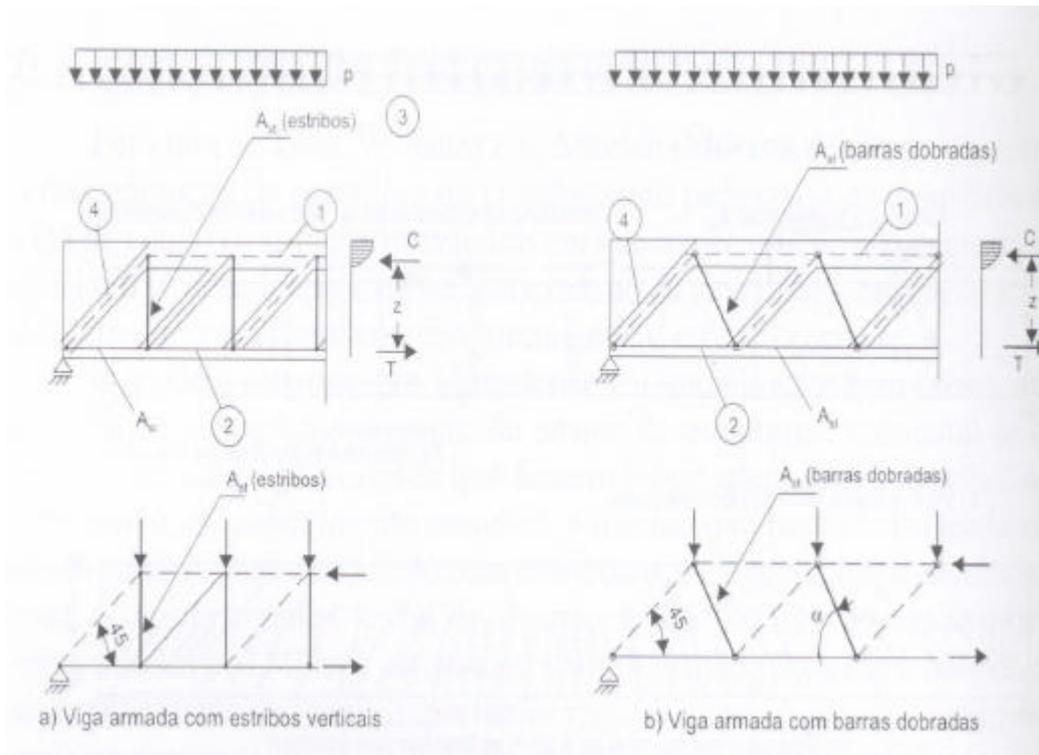


Figura 2.2 - Treliça análoga de Morsch para o caso de: a) estribos e b) barras dobradas [15]

É lógico imaginar que a maneira da peça resistir ao esforço cortante estará condicionada pela disposição adotada para a armadura transversal. Intuitivamente, parece que a melhor posição da armadura é a que segue a direção das tensões principais de tração, entretanto, essa disposição é muito difícil de ser executada e não permite ancorar devidamente na biela de concreto. Por essa razão, são duas as disposições mais comuns adotadas:

1. estribos verticais, que são independentes da armadura longitudinal de tração e compressão, apenas envolvendo-as para sua fixação, tendo geralmente um diâmetro inferior aos destas; essas armaduras servem de montantes de tração da treliça análoga;
2. barras dobradas, levantadas da armadura longitudinal de tração, a  $45^\circ$  em relação ao eixo da peça, a partir do ponto em que deixam de ser necessárias para resistir aos esforços de tração oriundos do momento fletor, devidamente ancoradas, servem de diagonais tracionadas. Essa solução tem sido cada vez menos utilizada devido ao maior trabalho dos armadores.