

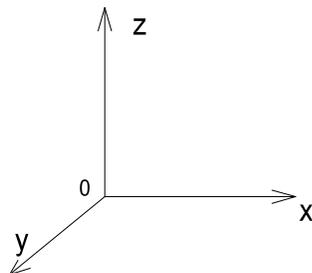
### 2.4.4 Equilíbrio de corpos rígidos

Um corpo rígido está em equilíbrio quando todas as forças externas que atuam sobre ele formam um sistema de forças equivalente a zero, isto é, quando todas as forças externas podem ser reduzidas a uma força nula e a um binário nulo.

$$\Sigma F = 0 \quad \Sigma M_o = 0$$

As expressões acima definem as equações fundamentais de Estática.

Decompondo cada força e cada momento em suas componentes cartesianas, encontram-se as condições necessárias e suficientes para o equilíbrio de um corpo rígido no espaço:

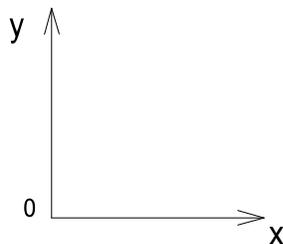


$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma F_z = 0$$

$$\Sigma M_x = 0 \quad \Sigma M_y = 0 \quad \Sigma M_z = 0$$

### Equilíbrio em duas dimensões

As condições de equilíbrio de um corpo rígido simplificam-se consideravelmente no caso de uma estrutura bidimensional. Escolhendo os eixos  $x$  e  $y$  no plano da estrutura, tem-se:



$$F_z = 0 \quad M_x = M_y = 0 \quad M_z = M_o$$

para cada uma das forças aplicadas ao corpo rígido, então as seis equações de equilíbrio no espaço reduzem-se a:

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M_A = 0$$

onde  $A$  é um ponto qualquer no plano da estrutura. Estas três equações podem ser resolvidas para um máximo de três incógnitas.

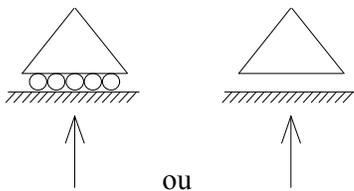
O equilíbrio em duas dimensões é também conhecido como equilíbrio no plano.

## 2.5 Apoios

Para o estudo do equilíbrio dos corpos rígidos não bastam conhecer somente as forças externas que agem sobre ele, mas também é necessário conhecer como este corpo rígido está apoiado.

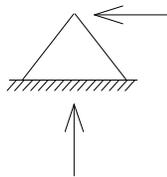
Apoios ou vínculos são elementos que restringem os movimentos das estruturas e recebem a seguinte classificação:

### Apoio móvel



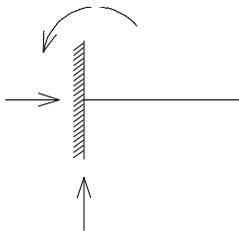
- Impede movimento na direção normal (perpendicular) ao plano do apoio;
- Permite movimento na direção paralela ao plano do apoio;
- Permite rotação.

### Apoio fixo



- Impede movimento na direção normal ao plano do apoio;
- Impede movimento na direção paralela ao plano do apoio;
- Permite rotação.

### Engastamento



- Impede movimento na direção normal ao plano do apoio;
- Impede movimento na direção paralela ao plano do apoio;
- Impede rotação.

## 2.6 Tipos de Estruturas

As estruturas são classificadas em função do número de reações de apoio ou vínculos que possuem. Cada reação constitui uma incógnita a ser determinada.

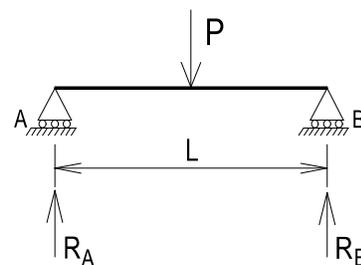
Para as estruturas planas, a Estática fornece três equações fundamentais:

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M_A = 0$$

### 2.6.1 Estruturas hipostáticas

Estruturas hipostáticas são aquelas cujo número de reações de apoio ou vínculos é inferior ao número de equações fornecidas pelas condições de equilíbrio da Estática.

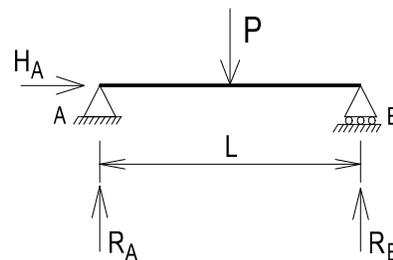
A figura ao lado ilustra um tipo de estrutura hipostática. As incógnitas são duas:  $R_A$  e  $R_B$ . Esta estrutura não possui restrição a movimentos horizontais.



### 2.6.2 Estruturas isostáticas

Estruturas isostáticas são aquelas cujo número de reações de apoio ou vínculos é igual ao número de equações fornecidas pelas condições de equilíbrio da Estática.

No exemplo da estrutura da figura, as incógnitas são três:  $R_A$ ,  $R_B$  e  $H_A$ . Esta estrutura está fixa; suas incógnitas podem ser resolvidas somente pelas equações fundamentais da Estática.



### 2.6.3 Estruturas hiperestáticas

Estruturas hiperestáticas são aquelas cujo número de reações de apoio ou vínculos é superior ao número de equações fornecidas pelas condições de equilíbrio da Estática.

Um tipo de estrutura hiperestática está ilustrado na figura ao lado. As incógnitas são quatro:  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $H_A$  e  $M_A$ . As equações fundamentais da Estática não são suficientes para resolver as equações de equilíbrio. São necessárias outras condições relativas ao comportamento da estrutura, como, p. ex., a sua deformabilidade para determinar todas as incógnitas.

