8- Atrito

8.1- Características do Atrito Seco

Atrito é a força associada ao movimento tangencial relativo entre duas superfícies em contato.

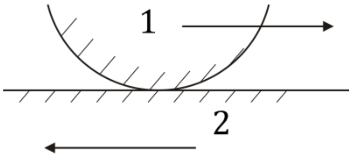

Figura 8. 1

Figura 8. 2

- Atrito viscoso: película de fluído
- Atrito seco (atrito de Coulomb): sem película de fluído.

<u>Teoria do Atrito Seco:</u>

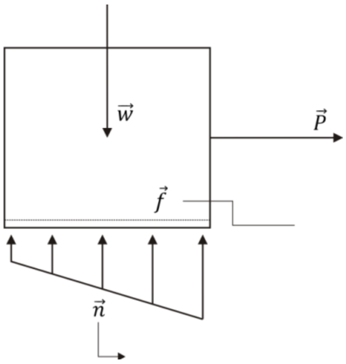

Figura 8. 3

Detalhe do contato:

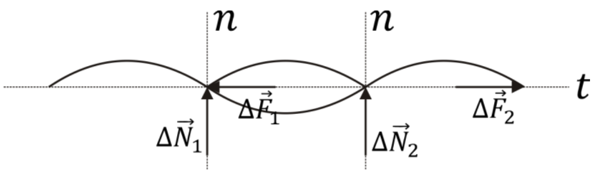

Figura 8. 4

A força de atrito é:

1 – $\vec{F} = \sum_i \Delta\vec{F} = \int_S \vec{F} ds$ **(Equação 8.1)**

A força normal é:

2 – $\vec{N} = \sum_i \Delta\vec{N_i} = \int_S \vec{N} ds$ **(Equação 8.2)**

N e **F** são as componentes da força de contato nas direções normais (n) e tangencial (t):

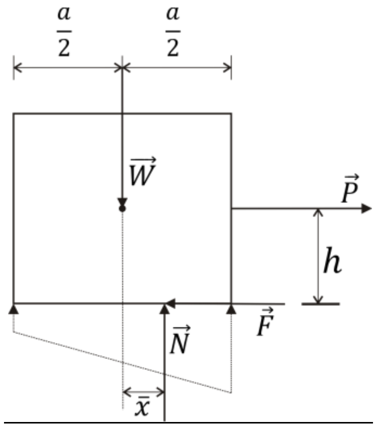

Figura 8. 5

Do equilíbrio:

3 – $M_s = W_x - P_h = 0 \rightarrow \frac{P_h}{W} = \frac{F_h}{W}$, onde P = F **(Equação 8.3)**

Na iminência do tombamento, o ponto "O" coincide com o vértice inferior direito e:

4 – $\bar{x} = \frac{a}{2}$ **(Equação 8.4)**

<u>Iminência de Movimento:</u>

Dependendo de "h" ou das condições de atrito, pode ocorrer que o bloco deslize antes de tombar. Há uma força "P" limite que faz o bloco deslizar. Essa força é a força de atrito estática limite:

5 – $F_e = \mu_e N$ **(Equação 8.5)**

μ_e é um adimensional chamado coeficiente de atrito estático, e N é a intensidade da força normal à superfície de contato.

Na iminência do deslocamento a resultante de contato --- é dada por:

6 – $\vec{R}_e = \vec{F}_e \vec{N}$ **(Equação 8.6)**

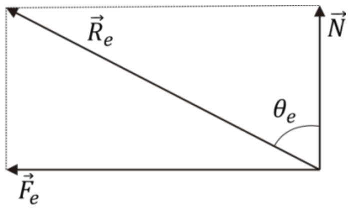

Figura 8. 6

O ângulo ϕ_e é chamado de ângulo de atrito estático:

7 – $\varphi_e = arctg\left(\frac{F_e}{N}\right) = arctg\left(\frac{\mu_e N}{N}\right) = arctg(\mu_e)$ **(Equação 8.7)**

- Valores de μ_e : vide tabela 8.1 do livro, p. 324

Movimento:

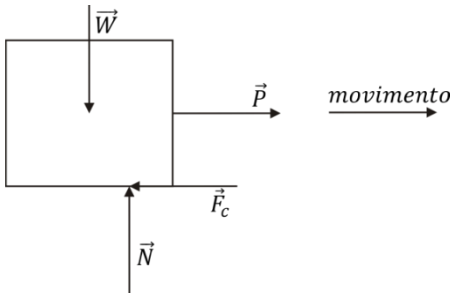

Figura 8. 7

Neste caso a força de atrito é dada por:

8 – $F_c = \mu_c N$ **(Equação 8.8)**

Onde μ_c é um adimensional chamado de coeficiente de atrito cinético e N é a intensidade da força normal à superfície de contato. Os coeficientes de atrito estático são menores do que os coeficientes de atrito cinético (da ordem de 25% menores).

Do diagrama de força de contato semelhante:

9 – $\vec{R}_c = \vec{F}_c \vec{N}$

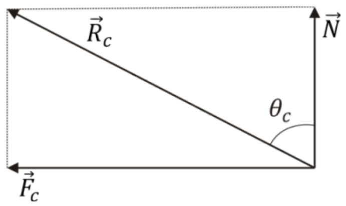

Figura 8. 8

O ângulo ϕ_c é chamado de ângulo de atrito cinético:

10 – $\varphi_c = arctg\left(\frac{F_c}{N}\right) = arctg\left(\frac{\mu_c N}{N}\right) = arctg(\mu_c)$ **(Equação 8.9)**

Por comparação $\varphi_e \geq \varphi_c$

Comportamento do Gráfico $F \times P$:

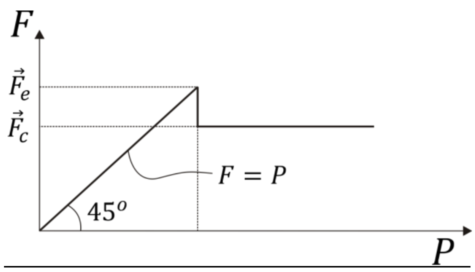

Figura 8. 9

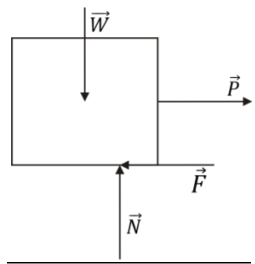

Figura 8. 10

Características do Atrito Seco:

- A força de atrito é tangente a superfície de contato e se opõem ao movimento;
- $\vec{F}_e$ independe da área de contato;
- $\vec{F}_e \geq \vec{F}_c$;
- Na iminência do deslocamento: $F_e = \mu_e N$; **(Equação 8.10)**

- No deslizamento: $F_c = \mu_c N$. **(Equação 8.11)**

8.2- Problemas Envolvendo Atrito Seco

Nos problemas envolvendo atrito seco em corpos em equilíbrio, as forças de contato entre os corpos terão além da componente normal a componente tangencial (força de atrito) como incógnitas a serem determinadas.

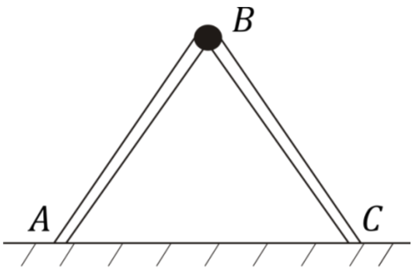

Figura 8. 11

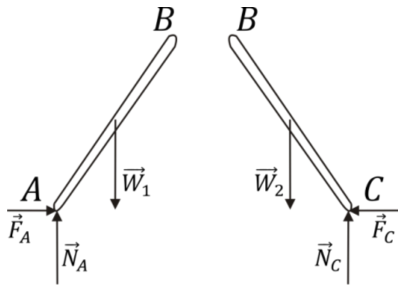

Figura 8. 12

Após determinar as forças de atrito nos pontos de contato, deve-se verificar se elas verificam: $F \leq \mu_e N$; do contrário a condição de equilíbrio não é satisfeita, tem-se um problema dinâmico.

- Exemplos 8.1 – 8.6→ págs.328-334

8.3- Cunhas

A cunha é um plano inclinado que é forçado contra outros corpos para produzir algum esforço: levantar, travar.

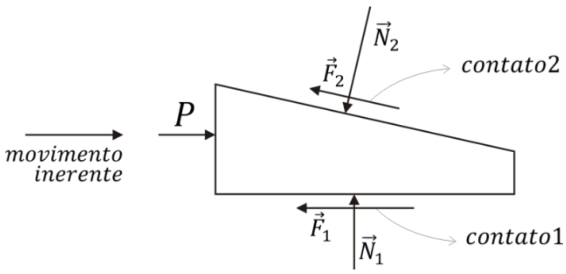

Figura 8. 13

Equação do equilíbrio: Rx = 0
Ry = 0
($\overrightarrow{M}_0$ não é usado porque, a princípio, não tomba)

Equações de atrito (iminência de movimento):
11 – $F_1 = \mu_1 N_1$ **(Equação 8.12)**
12 – $F_2 = \mu_2 N_2$ **(Equação 8.13)**

- Exemplo 8.7→ págs. 349

8.4- Forças de Atrito em Parafusos

Serão considerados parafusos de rosca quadrada:

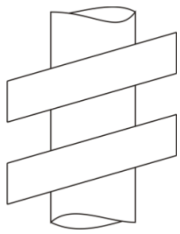

Figura 8. 14

Um parafuso pode ser considerado como um plano inclinado envolvendo um cilindro.

Numa volta, a rosca avança longitudinalmente de um valor. Este avanço é chamado de passo (l). se o parafuso tem raio “r”, então tem-se:

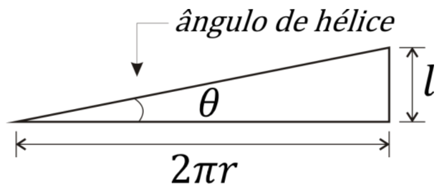

Figura 8. 15

<u>Analise de Atrito:</u>

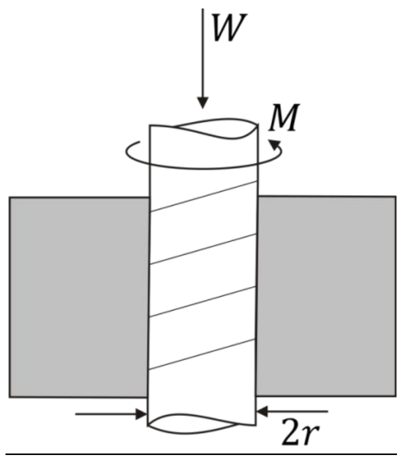

Figura 8. 16

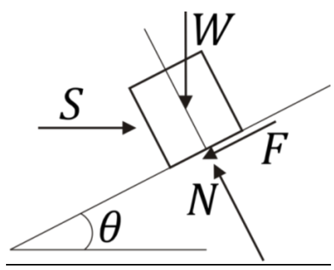

Figura 8. 17

W – carga axial sobre o parafuso
M – momento aplicado ao parafuso
S – força causada pelo momento M “empurra” o parafuso ao longo do plano inclinado. $M = S.r$

<u>Movimento Ascendente do Parafuso:</u>

Tendo em conta: $S = \frac{M}{r}$ e eliminar “R”:
13 –$M = Wr\tan(\theta + \emptyset)$ **(Equação 8.14)**
Para iminência de movimento: $\emptyset = \emptyset_e$;
Para movimento: $\emptyset = \emptyset_e$.

M é o momento para pôr em movimento ou para manter o movimento com velocidade constante.

Movimento Descendente do Parafuso:

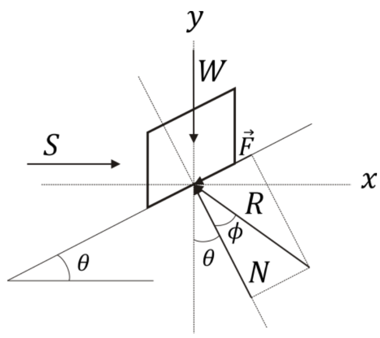

Figura 8. 18

Tendo em conta: $S = \frac{M}{r}$ e eliminar “R”:
14 – $M = W.r.\tan(\varphi + \theta)$ **(Equação 8.15)**
Obs.: M inverte o sentido se $\varphi < \theta$.

Parafuso Autoblocante:
Neste caso não é necessário um momento para que o parafuso não se movimente, ou seja: $\theta = \emptyset$ ou $\vec{R}$ se torna vertical.

- Exemplo 8.8→ págs. 347.

8.5- Forças de Atrito em Correias Planas

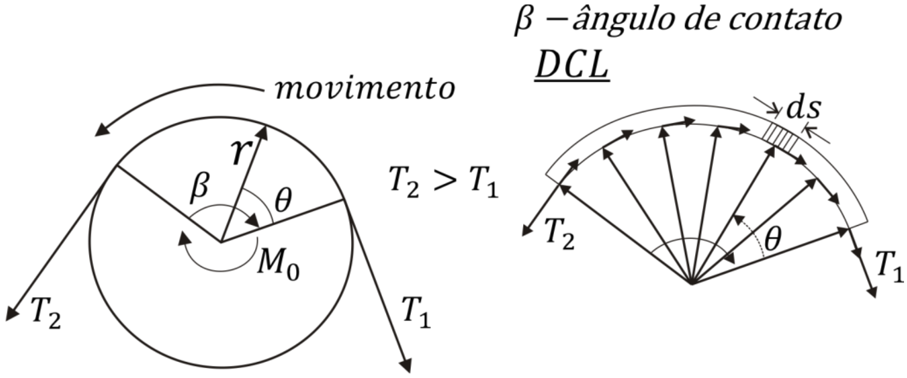

Figura 8. 19

Analise de Atrito:

Considere o DCL do elemento “ds”:

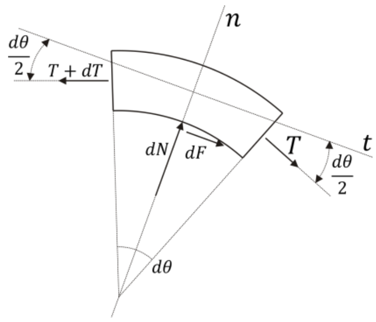

Figura 8. 20

Supondo a iminência deslizamento: $dF = \mu dN$

Da equação de equilíbrio:

15 – $R_t = T\cos\left(\frac{d\theta}{z}\right) + \mu.dN - (T + dT)\cos\left(\frac{d\theta}{z}\right) = 0$ **(Equação 8.16)**

16 – $R_x = dN - (T + dT)\,\text{sen}\left(\frac{d\theta}{z}\right) - tsen\left(\frac{d\theta}{z}\right) = 0$ **(Equação 8.17)**

Simplificando:

17 – $\mu dN = dT$ **(Equação 8.18)**

18 – $dN = Td\theta$ **(Equação 8.19)**

Dividindo ambas as equações acima, obtém-se:

19 – $\frac{dT}{T} = \mu d\theta$ **(Equação 8.20)**

Integrando ambas de uma extremidade a outra da correia em contato com a polia:

20 – $\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T} = \mu\int_0^{\beta} d\theta \rightarrow \ln\frac{T_2}{T_1} = \mu\beta$ **(Equação 8.21)**

21 – $T_2 = T_1 e^{\mu\beta}$ **(Equação 8.21)** Observação: equação válida para a iminência de movimento