



Empuxos de Terra – Teorias Clássicas

PEF0522 - MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

Motivações para o estudo de empuxo

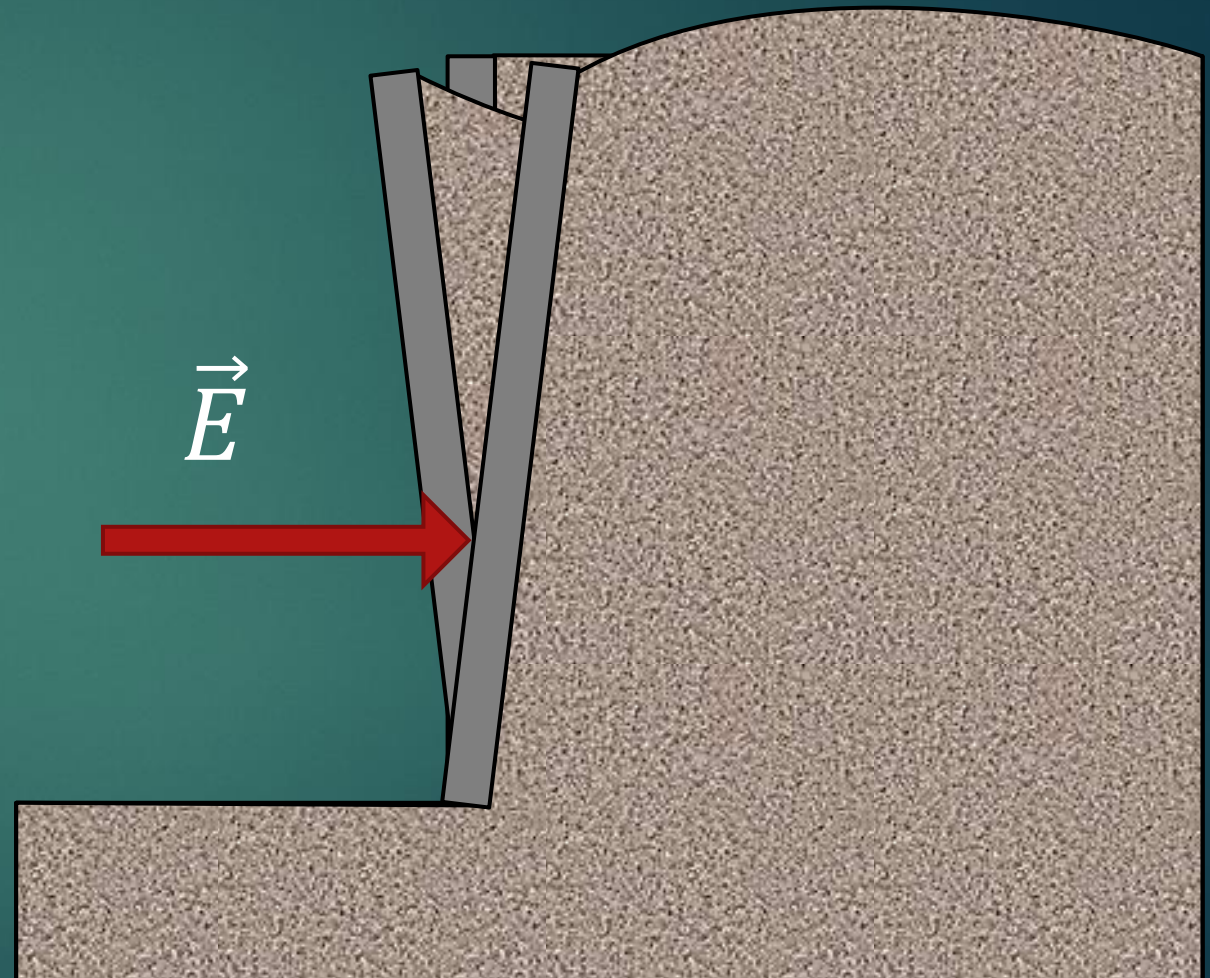
- ▶ Estruturas de contenções
 - ▶ Permanentes
 - ▶ Temporárias



Fonte: <https://jornalzonasul.com.br/ha-46-anos-metro-iniciava-operacao-entre-vila-mariana-e-jabaquara/>

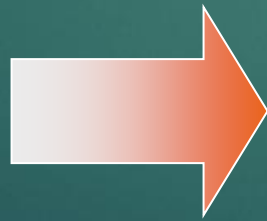
Empuxo de Terra

- ▶ Empuxo no Repouso (Nenhuma deformação no muro e nenhuma mudança nas tensões horizontais).
- ▶ Empuxo Ativo (Deformação do muro e decréscimo da tensão horizontal).
- ▶ Empuxo Passivo (Deformação do muro e aumento da tensão horizontal).

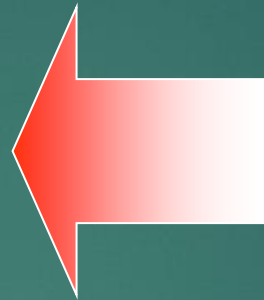


Empuxo de Terra

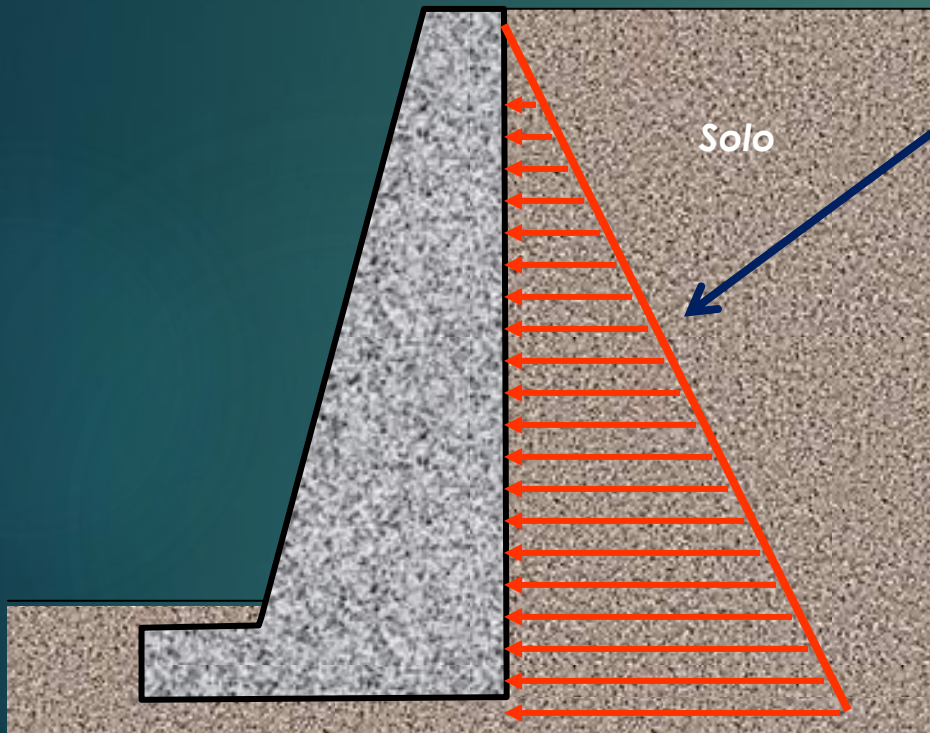
Empuxo Passivo: É a pressão limite entre o solo e o muro produzido quando existe uma tendência de movimentação no sentido de comprimir o solo horizontalmente.



Empuxo Ativo: É a pressão limite entre o solo e o muro produzido quando existe uma tendência de movimentação no sentido de expandir o solo horizontalmente.

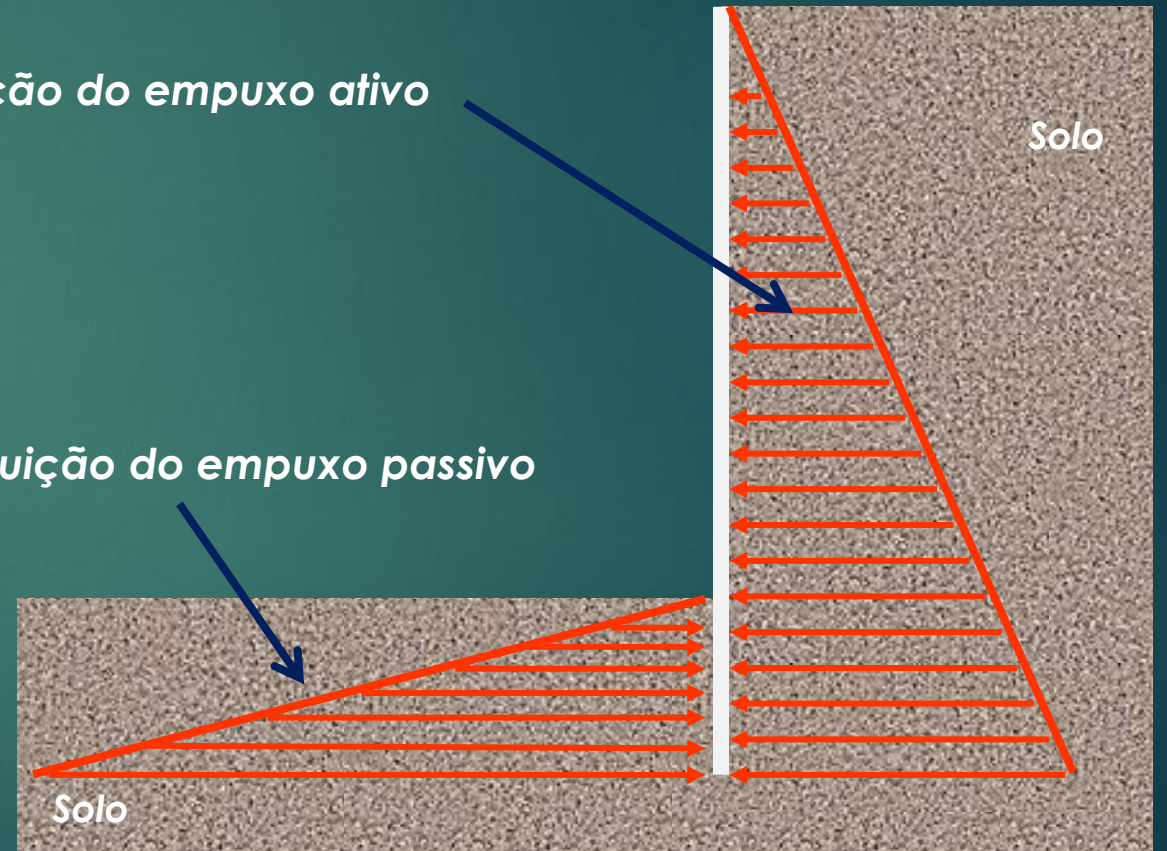


Empuxo de Terra

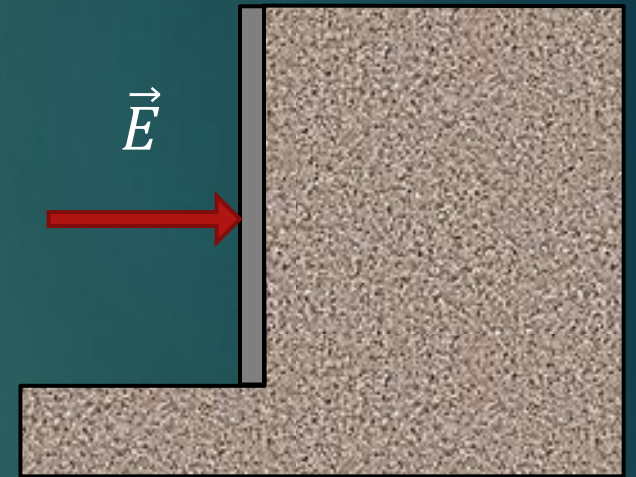
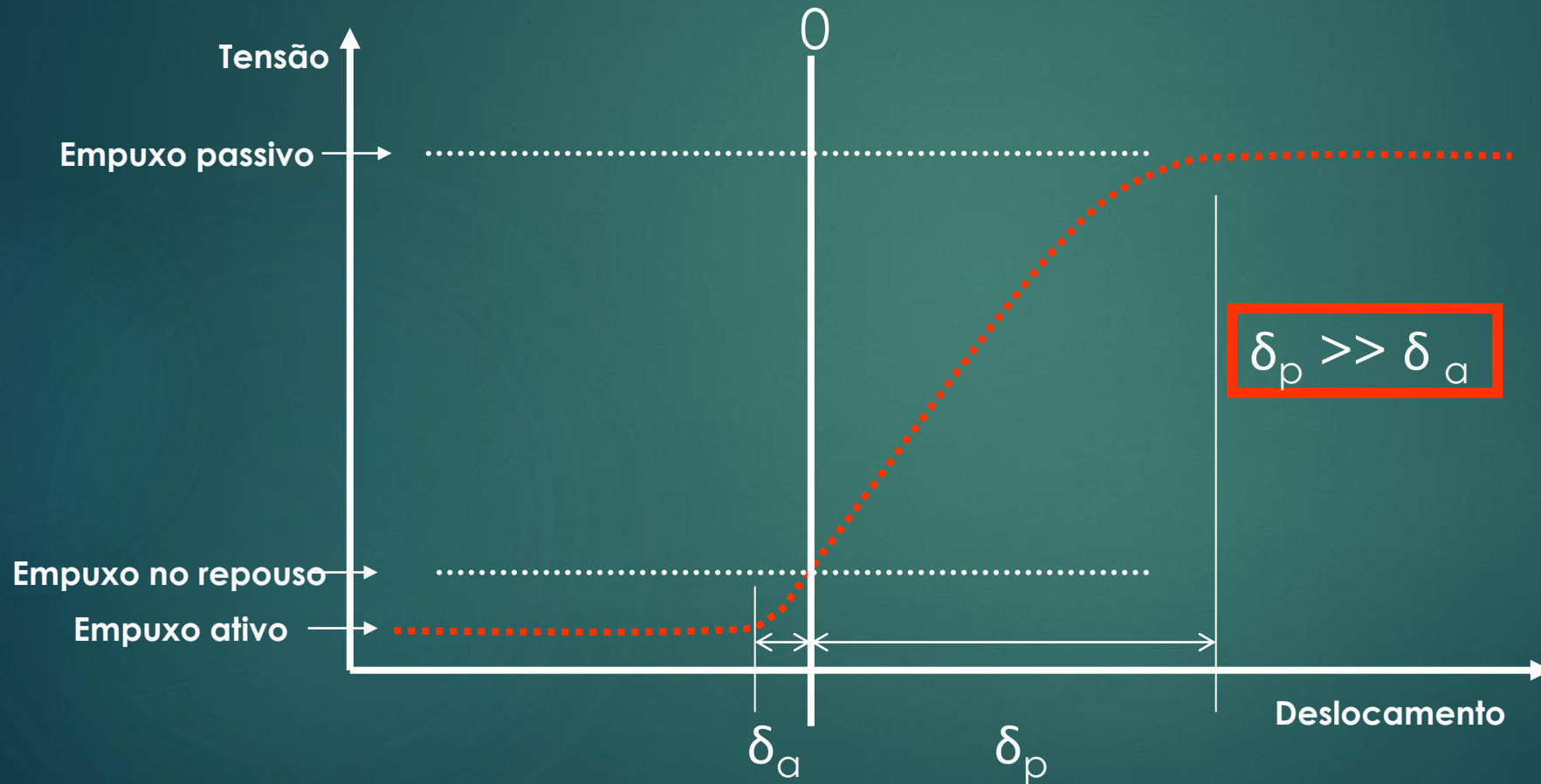


Distribuição do empuxo ativo

Distribuição do empuxo passivo



Empuxo de Terra



Teorias de Empuxo de Terra

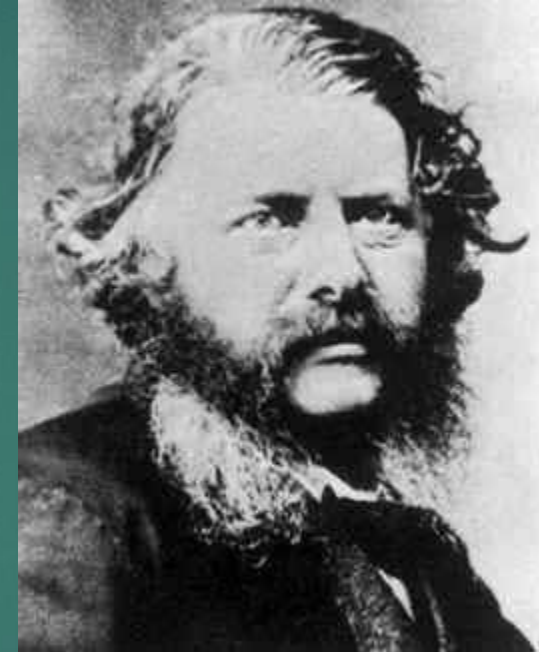
- ▶ Teoria de Empuxo de Rankine
- ▶ Teoria de Empuxo de Coulomb
- ▶ Método de Culmann – Gráfico
- ▶ Método de Poncelet – Gráfico
- ▶ Teoria de Caquot-Kérisel – Superfície curva
- ▶ Análise Limite
- ▶ Métodos Numéricos



Utilizam o critério de ruptura de Mohr-Coulomb

Teoria de Empuxo de Rankine (1857)

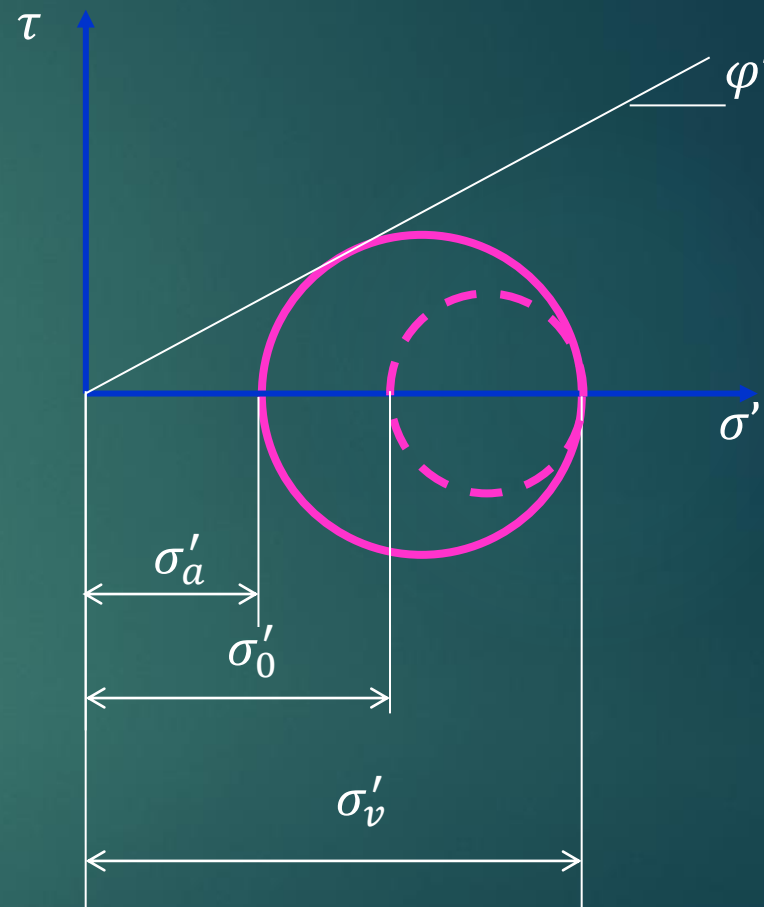
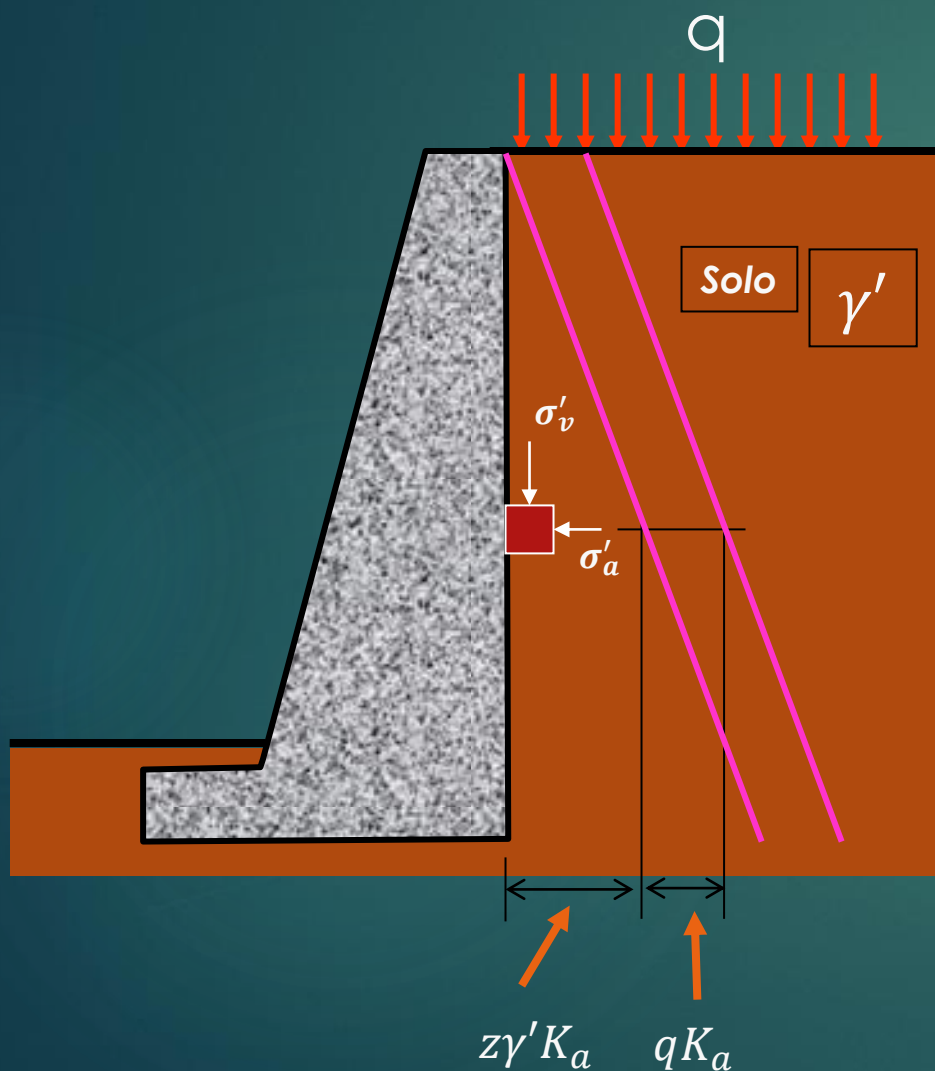
- ▶ Rankine (original) assume:
 - ▶ Muro sem atrito
 - ▶ Solo não coesivo
 - ▶ Paramento do muro é vertical
 - ▶ O aterro é horizontal
 - ▶ O muro é flexível



William John Macquorn Rankine

Nasceu: 2 Julho 1820 em Edinburgh, Escócia
Morreu: 24 Dezembro 1872 em Glasgow, Escócia

Rankine - Empuxo Ativo

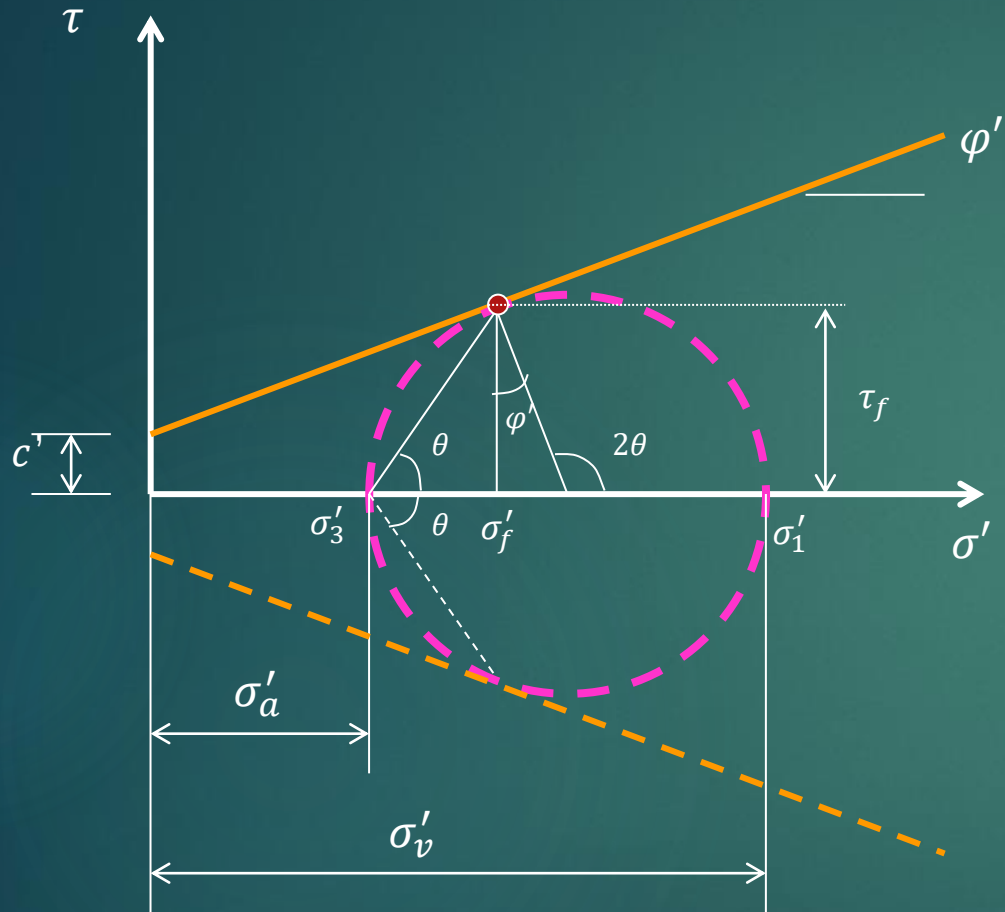


$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

K_a - Coeficiente de empuxo ativo

O coeficiente de Empuxo só se aplica a tensões efetivas

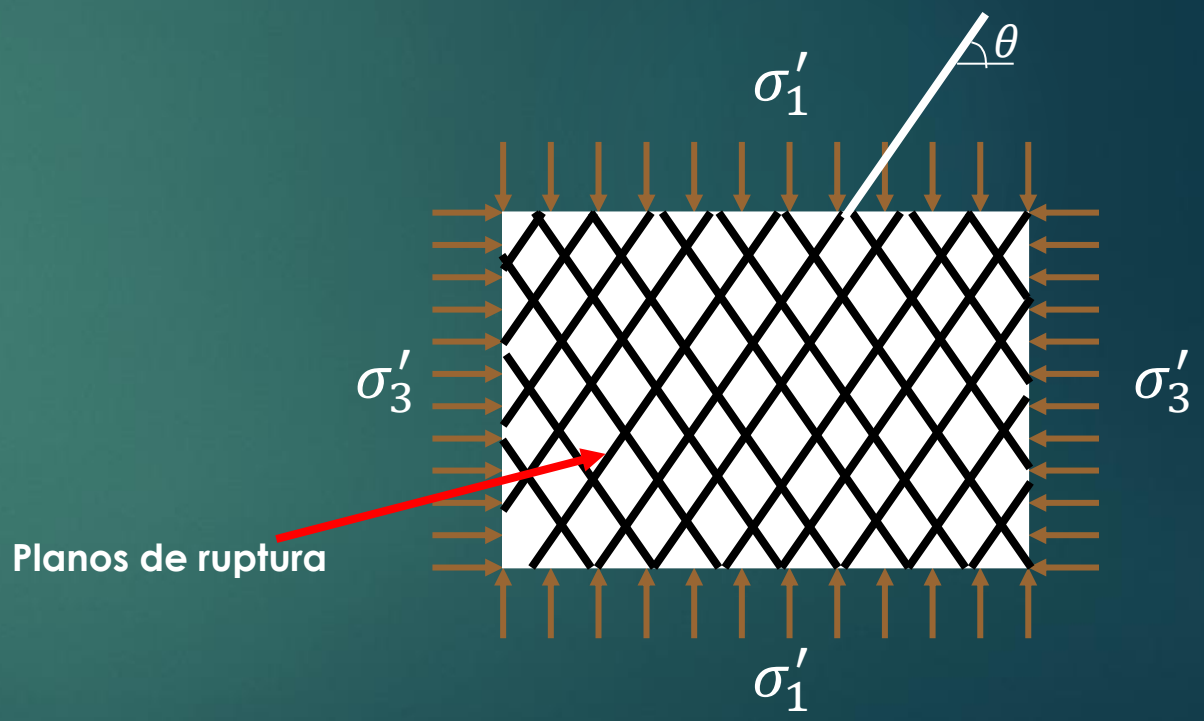
Rankine - Empuxo Ativo



$$\sigma'_a = K_a \sigma'_v - 2c' \sqrt{K_a}$$

K_a - Coeficiente de empuxo ativo

$$\theta = 45^\circ + \frac{\phi'}{2}$$



Rankine - Distribuição do Empuxo Ativo

$$\sigma'_a = K_a \gamma' z - 2c' \sqrt{K_a}$$

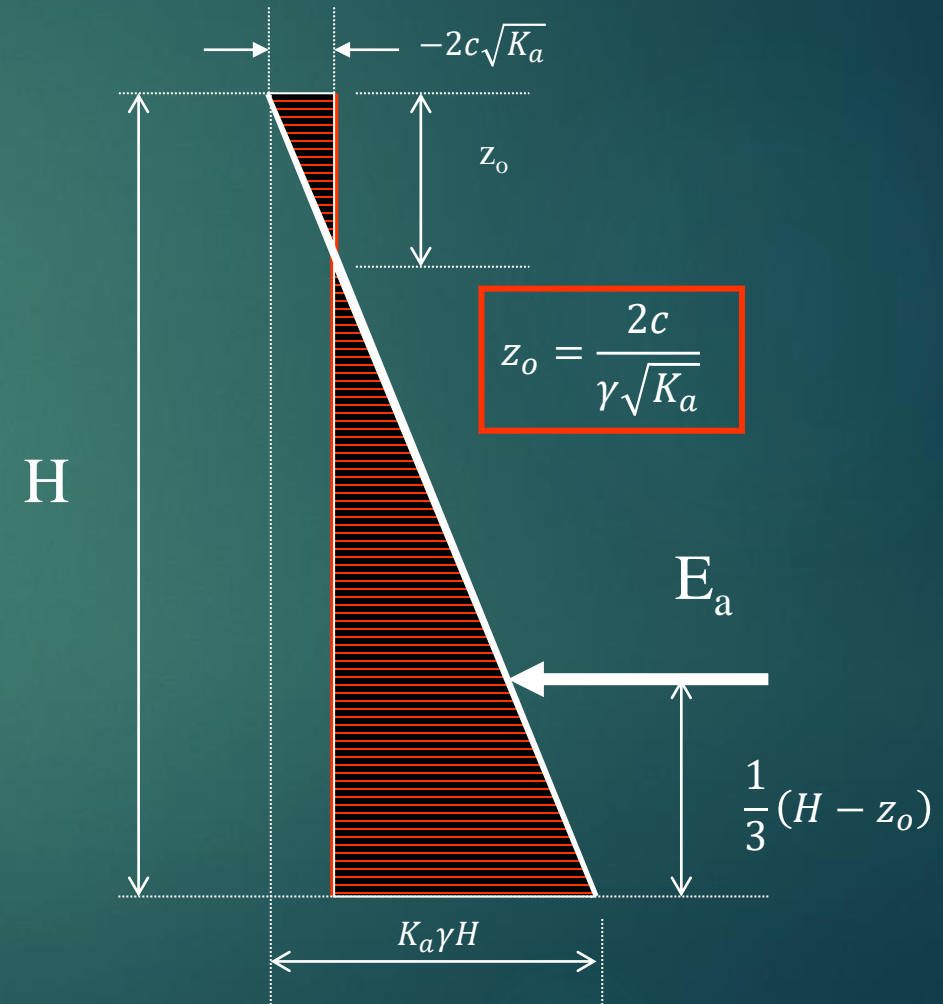
K_a - Coeficiente de empuxo ativo

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

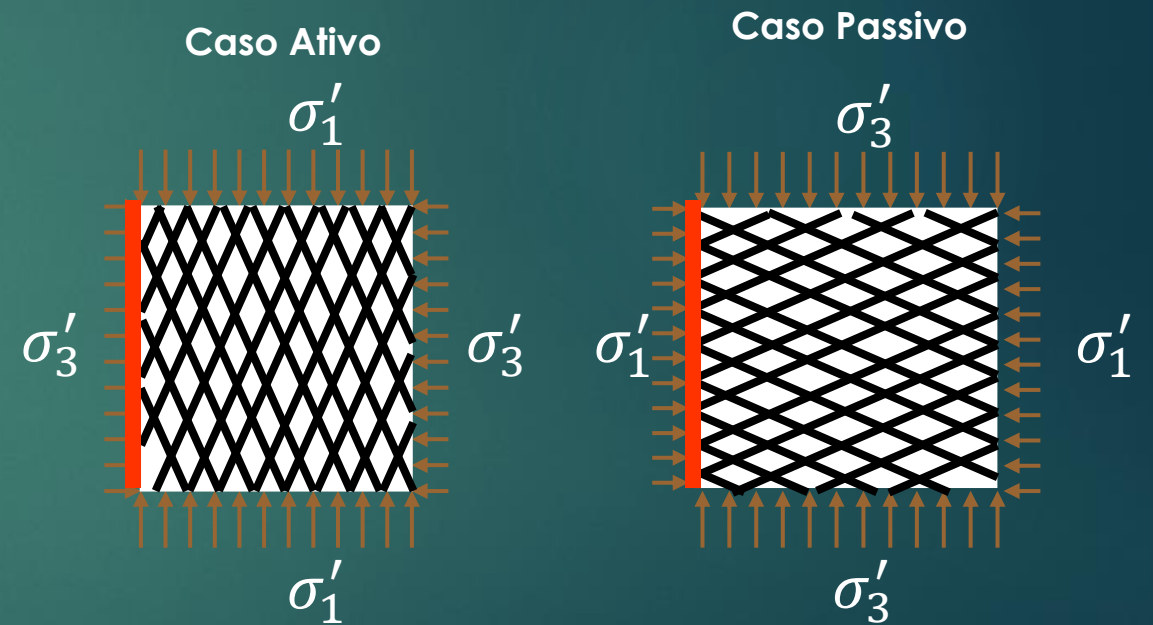
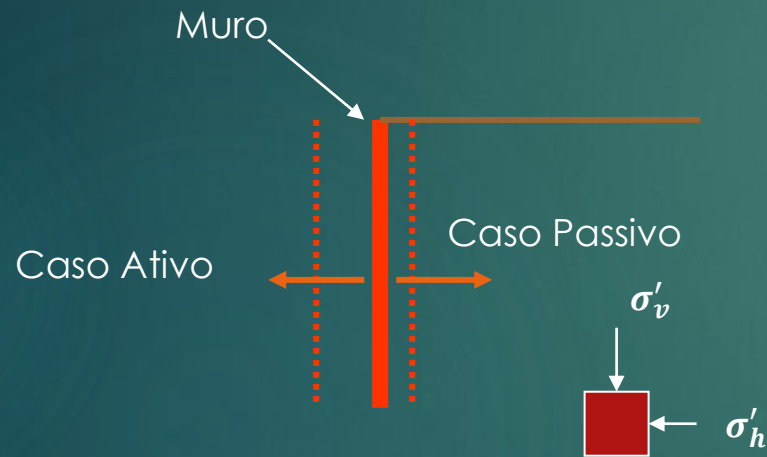
$$E_a = \int_{z_0}^H \sigma'_a dz$$

$$E_a = \frac{K_a \gamma'}{2} (H^2 - z_0^2) - 2c' \sqrt{K_a} (H - z_0)$$

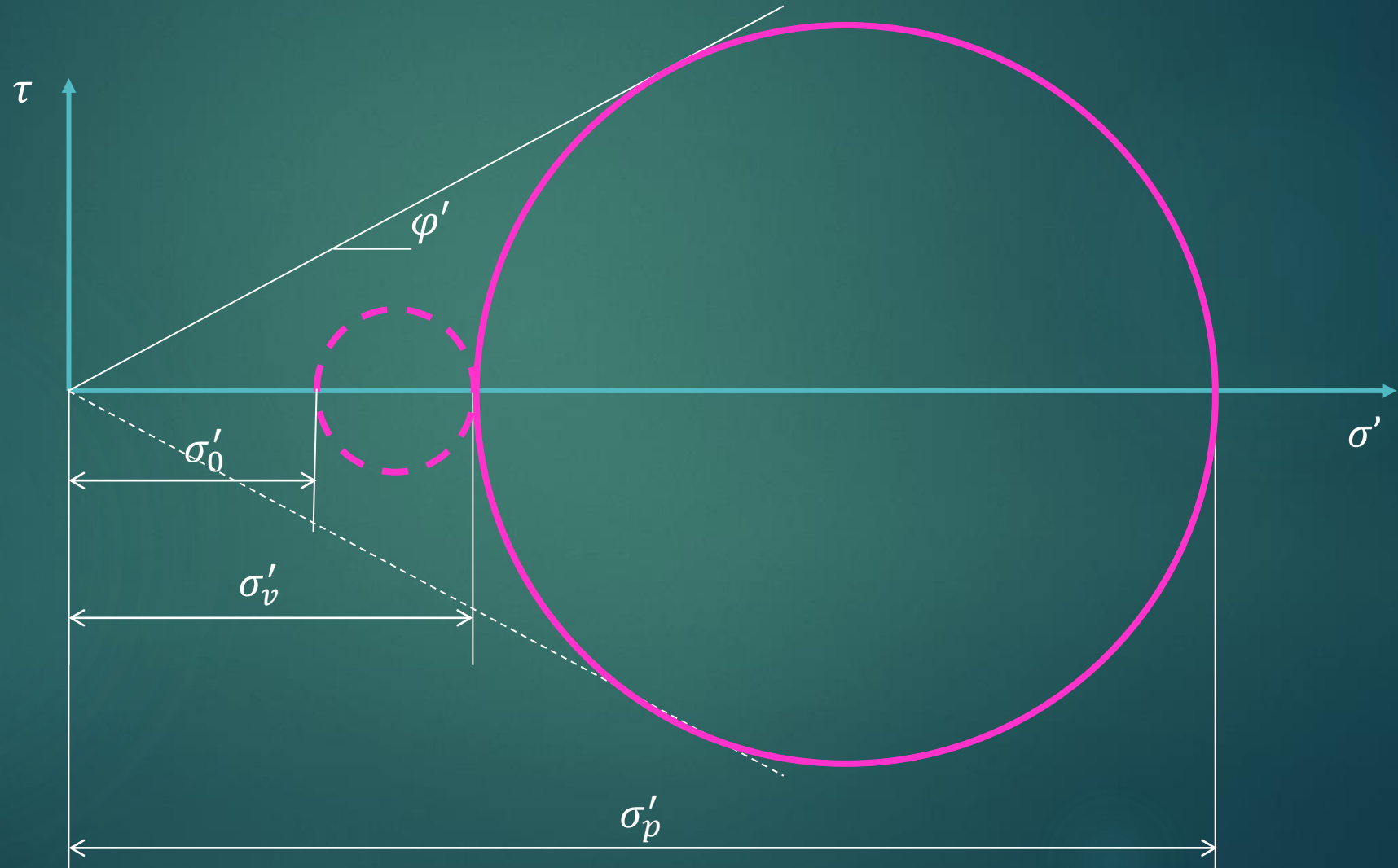
$$E_a = \frac{K_a \gamma'}{2} (H - z_0)^2$$



Rankine – Empuxo Ativo vs Passivo



Rankine – Empuxo Passivo



Rankine - Distribuição do Empuxo Passivo

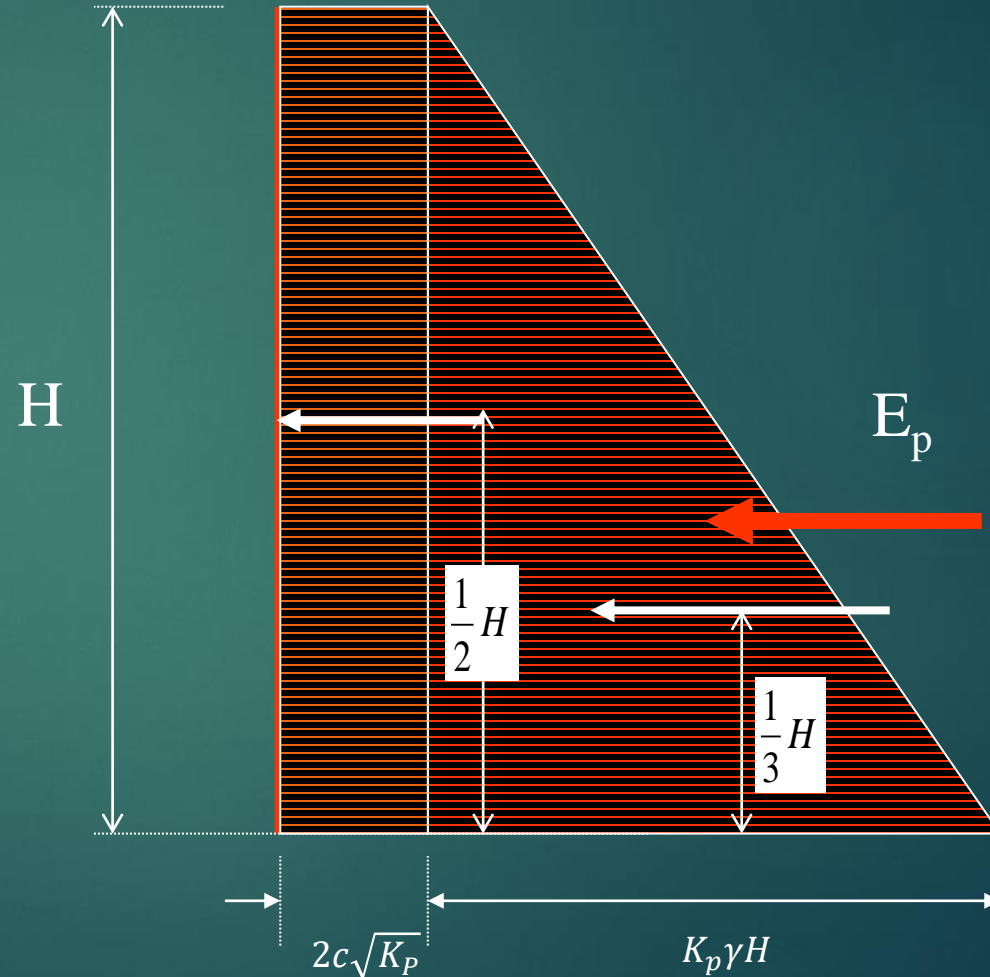
$$\sigma'_p = K_p \gamma z + 2c \sqrt{K_p}$$

K_p - Coeficiente de empuxo passivo

$$K_p = \frac{1 + \text{sen } \varphi}{1 - \text{sen } \varphi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) = \frac{1}{K_a}$$

$$E_p = \int_0^H \sigma'_p dz$$

$$E_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 + 2cH \sqrt{K_p}$$

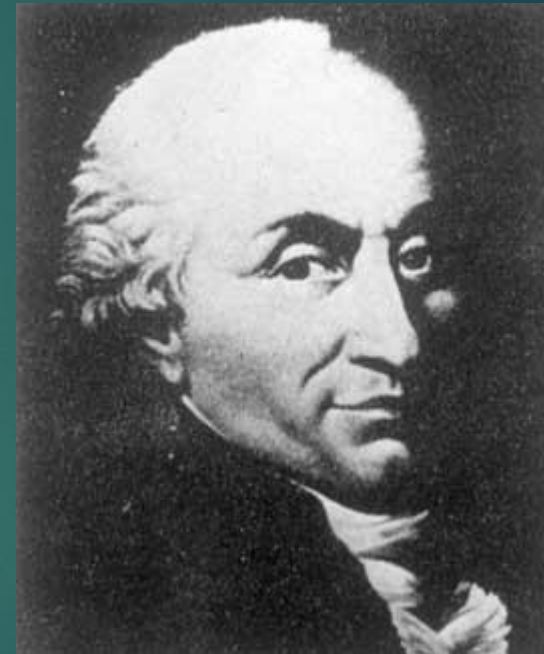


Teoria de Empuxo de Coulomb (1776)

- ▶ Coulomb pode assumir atrito entre o muro e o solo (mais realista)

$$\delta' \approx \frac{2}{3}\varphi'$$

- ▶ Pode assumir inclinação do muro e do solo a montante
- ▶ Não é possível obter o diagrama de empuxo diretamente
- ▶ Calcula empuxos ativos e passivos
 - ▶ Problemas com o passivo – Ruptura Plana

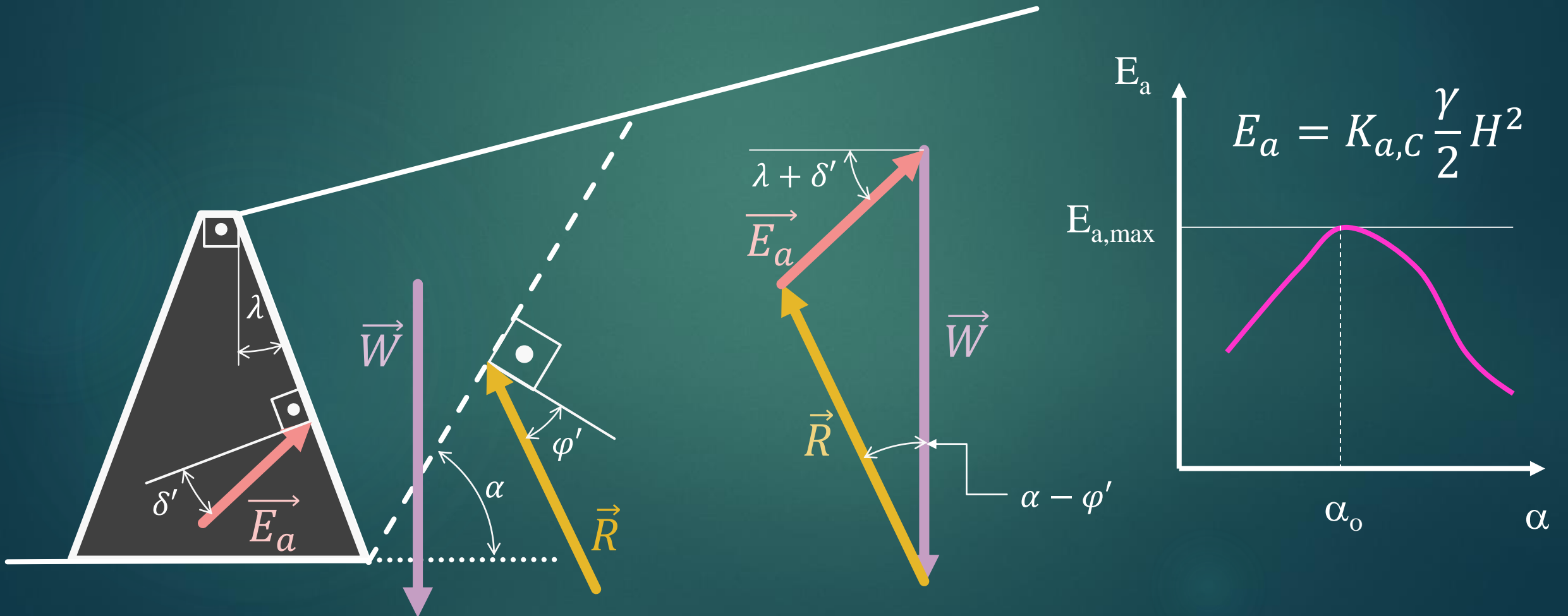


Charles Augustin de Coulomb

Nasceu: 14 Junho 1736 em Angoulême, França

Morreu: 23 Agosto 1806 em Paris, França

Teoria de Empuxo de Coulomb (1776) – Ativo ($c'=0$)



Empuxo em repouso

- ▶ $\sigma'_{h0} = \sigma'_{v0}K_0 = \Sigma(\gamma'z)K_0$
- ▶ $E_0 = \int_0^H \sigma'_{h0} dz$
- ▶ Jáky (1944):
 - ▶ Solos sedimentares/transportados
 - ▶ $K_0 = 1 - \text{sen } \varphi'$
- ▶ Solos residuais – dependem da história da rocha de origem.



Jáký József

Nasceu: 15 Julho 1893 em Szeged, Hungria
Morreu: 13 Setembro 1950 em Héviz, Hungria

Efeito da água no empuxo

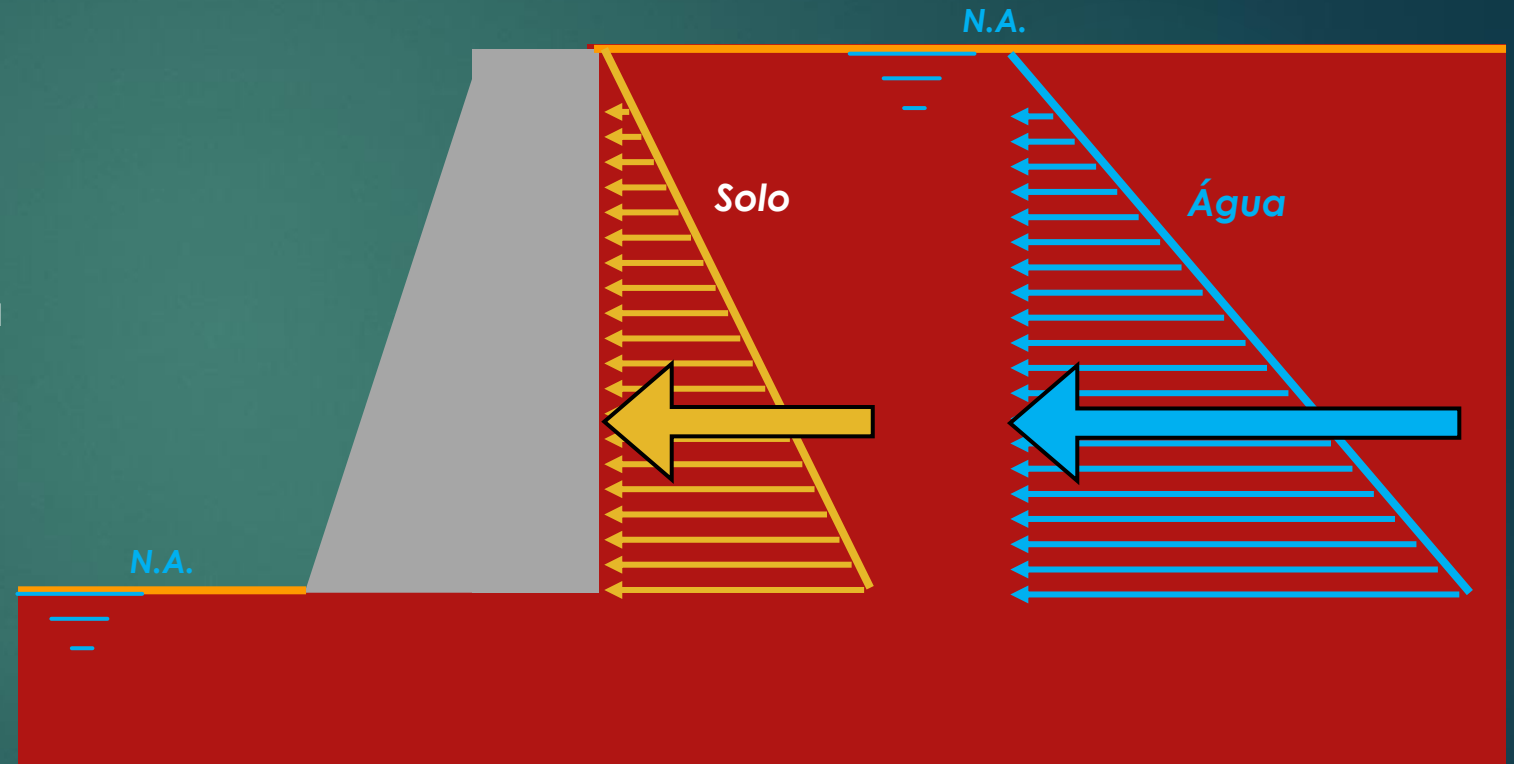
▶ Solo submerso

- ▶ Usar $\gamma' = \gamma_{sub} = \gamma_n - \gamma_w$
- ▶ Empuxo de terra diminui...
- ▶ Adiciona empuxo da água
- ▶ Solo homogêneo:

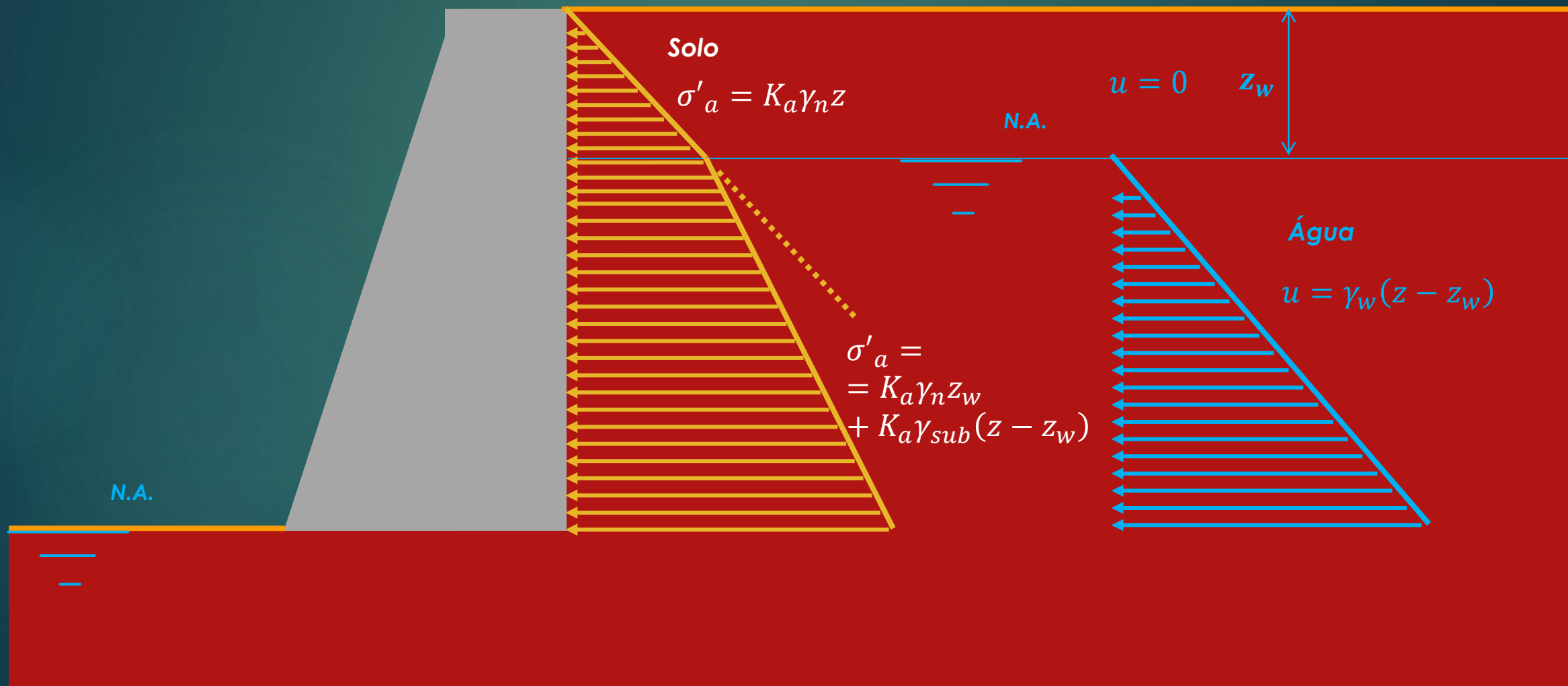
$$E_a = \underbrace{\frac{1}{2} \gamma_w H^2}_{\text{Empuxo exercido pela água intersticial e possui a mesma magnitude mesmo sem a presença do solo.}} + \underbrace{\frac{1}{2} \gamma_{sub} H^2 K_a}_{\text{Empuxo exercido pelo solo devido ao peso próprio. Lembrando que neste termo o peso específico usado é o submerso.}}$$

Empuxo exercido pela água intersticial e possui a mesma magnitude mesmo sem a presença do solo.

Empuxo exercido pelo solo devido ao peso próprio. Lembrando que neste termo o peso específico usado é o submerso.



Efeito da água no empuxo



Efeito da água no empuxo

