OBRAS DE TERRA

Dimensionamento
MUROS DE ARRIMO OU DE CONTENÇÃO

CURSO: Engenharia Civil

SÉRIE: 10º Semestre

DISCIPLINA: Obras de Terra

CARGA HORÁRIA SEMANAL: 02 aulas-hora

CARGA HORÁRIA SEMESTRAL: 40 aulas-hora

PROJETO DE MURO DE ARRIMO

Para projetar e dimensionar muros de arrimo deve-se considerar que os muros são estruturas que :

- **permitem uma mudança de nível – para reforçar um talude ou suportar um corte;**

- **suportam empuxos de terra que é a ação produzida pelo maciço terroso sobre as obras com ele em contato.**

A determinação do valor do empuxo é fundamental na análise e projeto de muros de arrimo.

PROJETO DE MURO DE ARRIMO

1ª. Etapa

Pré-dimensionamento.

O projeto é conduzido assumindo-se um pré-dimensionamento

2ª. Etapa

Definição dos esforços atuantes.

- **Cálculo do empuxo de terra**

3ª. Etapa

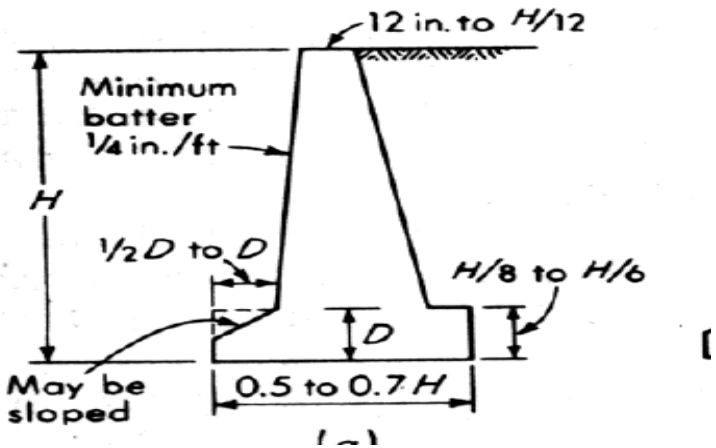
Verificação das condições de estabilidade

- **Tombamento .**
- **Escorregamento.**
- **Ruptura do terreno de fundação**

1ª. Etapa

Pré-dimensionamento.

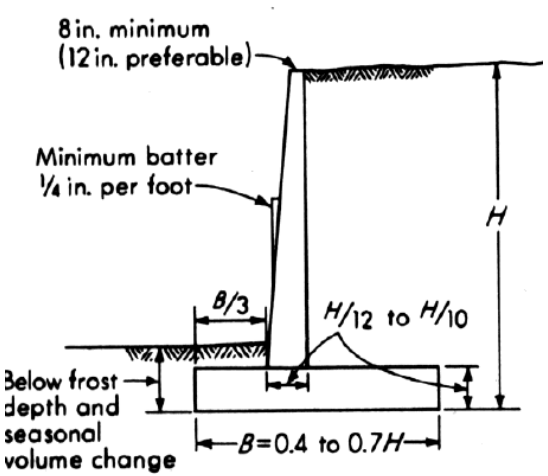
MURO DE GRAVIDADE	
CRISTA	$C \leq \frac{H}{12}$ Mínimo 30cm
LARGURA DA BASE	$B = 0{,}5 \text{ a } 0{,}7\ H$
ALTURA DA BASE	$D = \frac{H}{8} \quad a \frac{H}{6}$



1ª. Etapa

Pré-dimensionamento.

MURO DE FLEXÃO	
CRISTA	$C \text{ min} = 20\ cm$ $C \text{ recomendado} = 30\ cm$
LARGURA DA BASE	$B = 0{,}4 \text{ a } 0{,}7\ H$
ALTURA DA BASE	$D = \frac{H}{12} \quad a\ \frac{H}{10}$



2ª. Etapa

Definição dos esforços atuantes.

Ação produzida pelo maciço terroso sobre as obras em contato

Métodos mais utilizados:

- **METODO DE RANKINE**
- **MÉTODO DE COULOMB**

MÉTODO DE RANKINE

2ª. Etapa

Definição dos esforços atuantes.

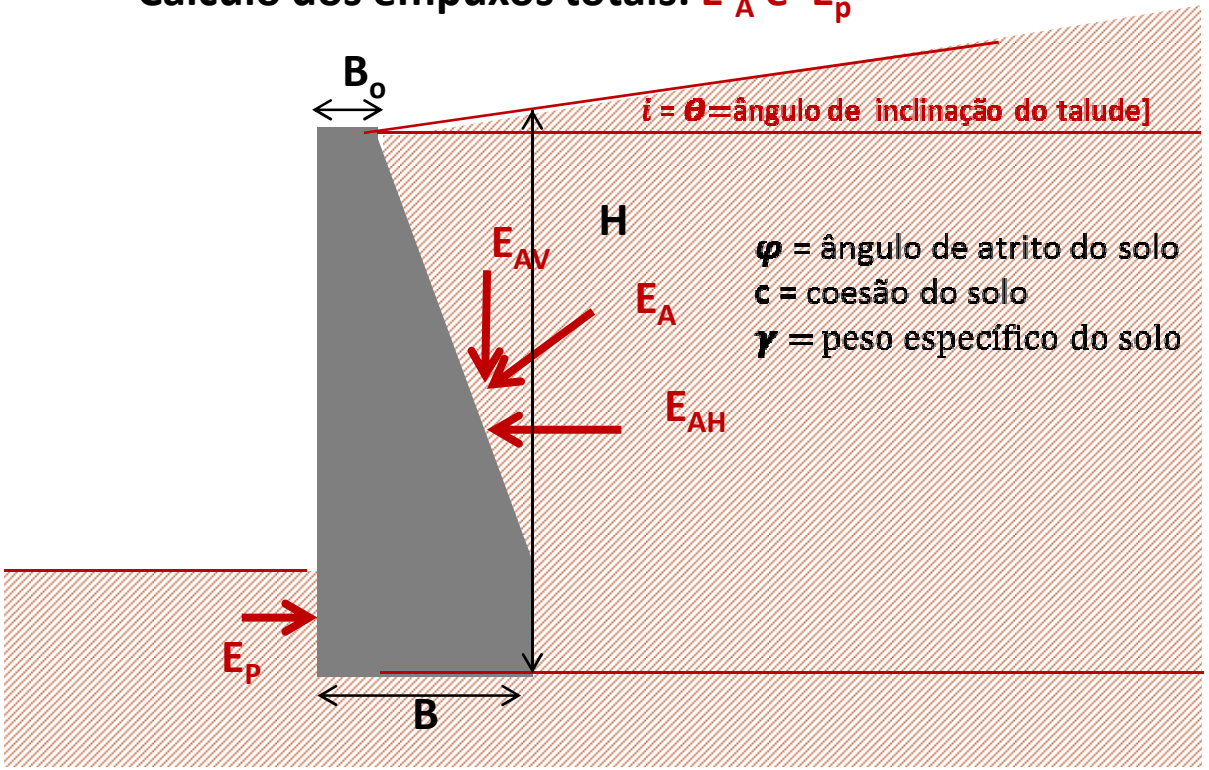
- Supõe que:

- **Empuxos laterais são limitados a paredes verticais;**
- **Empuxos laterais variam linearmente com a profundidade;**
- **A pressão resultante é encontrada a 1/3 da altura (acima da base da parede);**
- **A força resultante do empuxo é paralela a superfície do terreno.**

2ª. Etapa

Definição dos esforços atuantes.

- **METODO DE RANKINE**
- **Cálculo dos empuxos totais: E_A e E_p**



MÉTODO DE RANKINE

2ª. Etapa

Definição dos esforços atuantes.

- **METODO DE RANKINE**

Fórmulas - cálculo dos empuxos totais: Empuxo Ativo e Passivo

- **Empuxo ativo**

$$E_a = \frac{1}{2}.\gamma H^2.k_a$$

Coeficiente de Empuxo ativo

$$K_a = \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}$$

- **Empuxo passivo**

$$E_p = \frac{1}{2}.\gamma H^2.k_p$$

Coeficiente de Empuxo ativo

$$K_p = \frac{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}$$

MÉTODO DE RANKINE

2ª. Etapa

Definição dos esforços atuantes.

- **Empuxo ativo**

$$E_a = \frac{1}{2}.\gamma H^2.k_a$$

- **Empuxo ativo horizontal (E_{ah}) e Empuxo ativo vertical (E_{av})**

$$E_a \begin{cases} E_{ah} = E_a \cos i. \\ E_{av} = E_a sen i. \end{cases}$$

MÉTODO DE RANKINE

2ª. Etapa

Definição dos esforços atuantes.

- **Cálculo do peso do muro e momentos**
- Características do material de construção do muros

➢ Ex: muro de concreto armado $(\gamma_{concreto} = 2,2tf/m^3)$

Obs.: Dividir o muro em áreas para cálculo de peso e momentos

Area	Peso (t)	Braço de alavanca (m)	Momento (t.m/m)
1			
2			
3			
Soma	(t)		(t.m/m)

3ª. Etapa

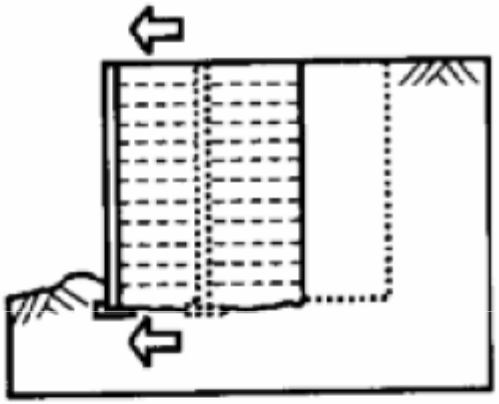
Verificação das condições de estabilidade

Na verificação de um muro de arrimo, seja qual for a sua seção, devem ser investigadas as seguintes condições de estabilidade:

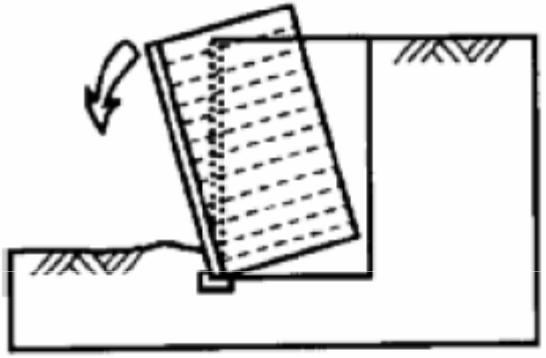
- **tombamento;**
- **deslizamento da base;**
- **capacidade de carga da fundação**

ESTABILIDADE DOS MUROS DE ARRIMO

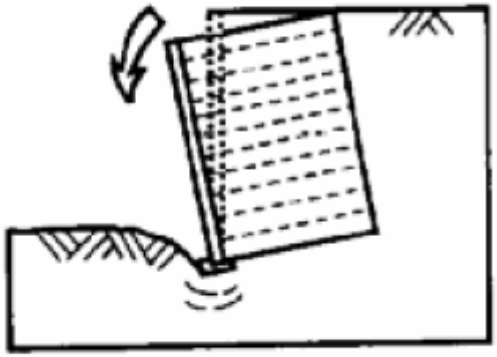
Verificação de condições de estabilidade



(a) Deslizamento da Base



(b) Tombamento



(c) Capacidade de Carga

3ª. Etapa

Verificação das condições de estabilidade

- **Segurança contra Tombamento**

Para que o muro não tombe em torno da extremidade externa (ponto A da Figura) o momento resistente deve ser maior do que o momento solicitante.

$$\sum Mres > \sum Msolic$$

- **O momento resistente (Mres) corresponde ao momento gerado**
- **pelo peso do muro.**

- **O momento solicitante (Msolic) é definido como o momento do empuxo total atuante em relação ao ponto A.**

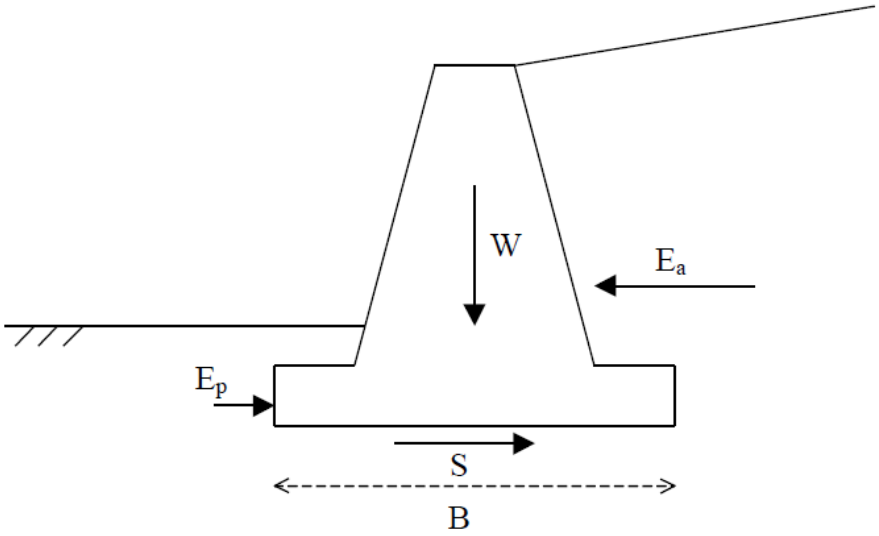
3ª. Etapa

Verificação das condições de estabilidade

- **Segurança contra Deslizamento**

A segurança contra o deslizamento consiste na verificação do equilíbrio das componentes horizontais das forças atuantes, com a aplicação de um fator de segurança adequado:

∑Fres >∑ Fsolic

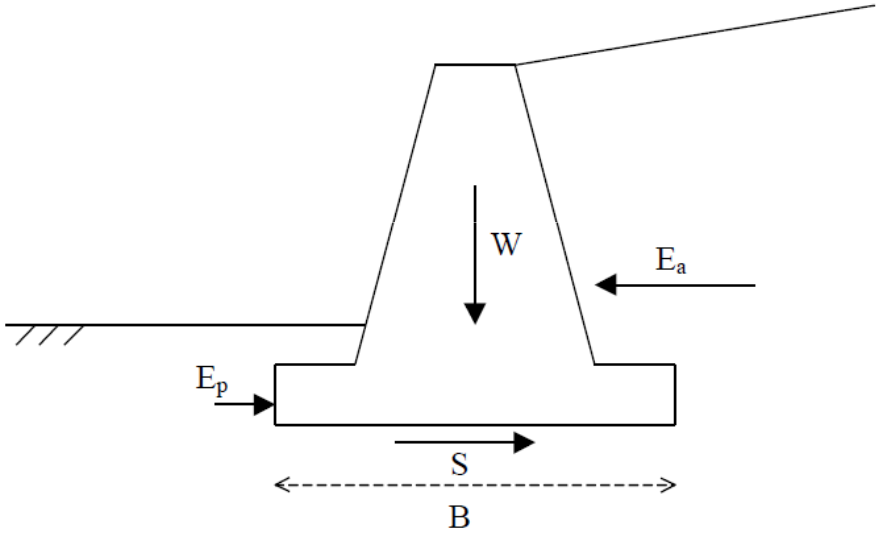


$$FS_{DESLIZ} = \frac{\Sigma F_{RES}}{\Sigma F_{SOLIC}} \geq 1{,}5$$

3ª. Etapa

Verificação das condições de estabilidade

- **Segurança contra Deslizamento**
- **O valor de S é calculado pelo produto da resistência ao cisalhamento na base do muro vezes a largura; isto é :**



$$S = B \times \left[c'_W + \left(\frac{W}{B} - u \right) \tan\delta \right]$$

Notas: δ = atrito solo-muro, B = largura da base do muro; c'_w = adesão solo-muro; W = somatório das forças verticais; u = poropressão

3ª. Etapa

Verificação das condições de estabilidade

- **Capacidade de carga**

A capacidade de carga consiste na verificação da segurança contra a ruptura e deformações excessivas do terreno de fundação.

A análise geralmente considera o muro rígido e a distribuição de tensões linear ao longo da base.

Se a resultante das forças atuantes no muro localizar-se no núcleo centra da base do muro, o diagrama de pressões no solo será aproximadamente trapezoidal.

O terreno estará submetido apenas a tensões de compressão.

3ª. Etapa

Verificação das condições de estabilidade

- **Capacidade de carga**

A Figura apresenta os esforços atuantes na base do muro. A distribuição de pressões verticais na base do muro apresenta uma forma trapezoidal .

Esta distribuição não uniforme é devida à ação combinada do peso *W* e do empuxo *E* sobre o muro. As equações de equilíbrio serão:

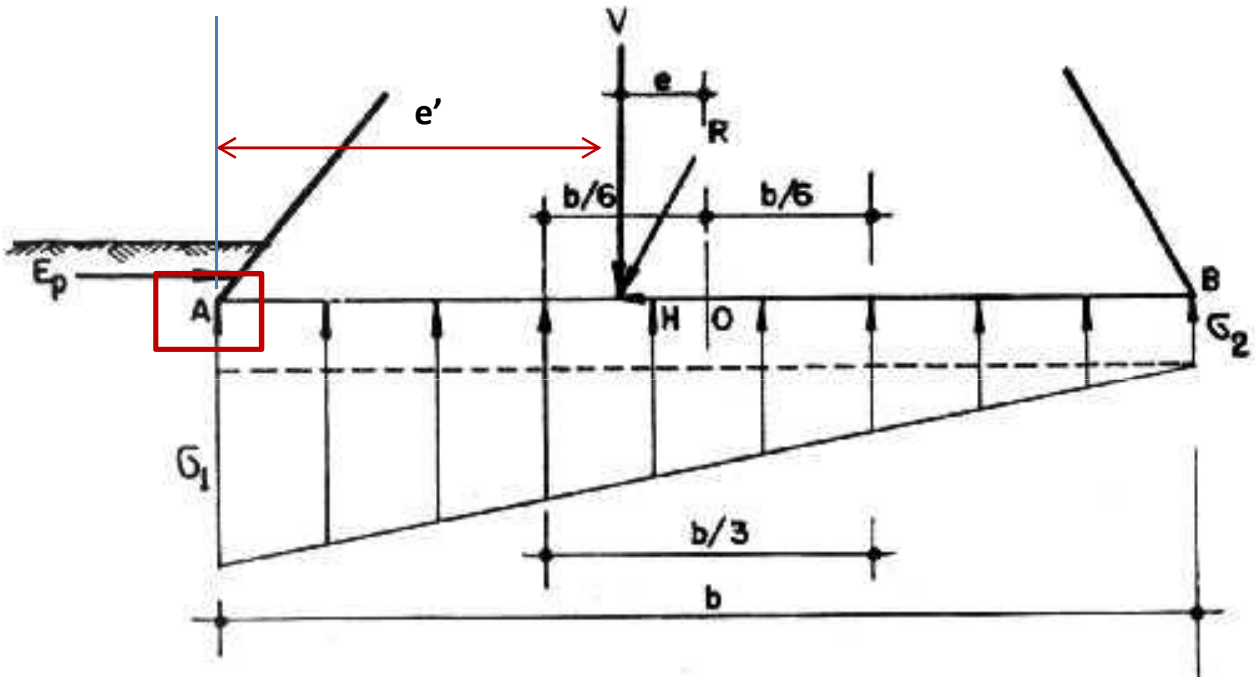
$$\left.\begin{array}{l} \sum F_V = 0 \quad \Leftrightarrow \quad (\sigma_1 + \sigma_2) \times \dfrac{b}{2} = V \\ \sum M_o = 0 \quad \Leftrightarrow \quad (\sigma_1 - \sigma_2) \times \dfrac{b}{2} \times \dfrac{b}{6} = V \times e \end{array}\right| \quad \Leftrightarrow \quad \left|\begin{array}{l} \sigma_1 = \dfrac{V}{b}.(1 + \dfrac{6.e}{b}) \\ \sigma_2 = \dfrac{V}{b}.(1 - \dfrac{6.e}{b}) \end{array}\right.$$

onde: V = somatório das forças verticais; e = excentricidade; b **= largura da base do muro.**

3ª. Etapa

Verificação das condições de estabilidade

- **Capacidade de carga**



onde: V = somatório das forças verticais; e = excentricidade; b = largura da base do muro.

$$\sum F_V = 0 \quad \Leftrightarrow \quad (\sigma_1 + \sigma_2) \times \frac{b}{2} = V$$

$$\sum M_o = 0 \quad \Leftrightarrow \quad (\sigma_1 - \sigma_2) \times \frac{b}{2} \times \frac{b}{6} = V \times e$$

$$\Leftrightarrow \quad \sigma_1 = \frac{V}{b}.(1 + \frac{6.e}{b})$$

$$\sigma_2 = \frac{V}{b}.(1 - \frac{6.e}{b})$$

3ª. Etapa

Verificação das condições de estabilidade

- **Capacidade de carga**

A excentricidade é calculada pela resultante de momentos em relação ao ponto A:

$$V = \Sigma F_v \qquad \Rightarrow e' = \Sigma M / \Sigma F_v \Rightarrow e = (b/2) - e'$$

Deve-se garantir:

- **que a base esteja submetida a tensões de compressão ($\sigma min \geq 0$)**
- **a resultante deve estar localizada no terço central; ou seja, $e \leq B / 6$,**

para evitar pressões de tração na base do muro.

3ª. Etapa

Verificação das condições de estabilidade

- **Capacidade de carga**

Para evitar a ruptura do solo de fundação do muro, o critério usualmente adotado recomenda-se que

$$\sigma_{max} < \frac{q_{max}}{FS} \approx \frac{q_{max}}{2{,}5}$$

sendo *qmax* a capacidade de suporte calculada pelo método clássico de Terzaghi-Prandtl (Terzaghi e Peck, 1967), considerando a base do muro como sendo uma sapata, conforme mostra a equação

$$q_{max} = c'.N_c + q_s.N_q + 0{,}5.\gamma_f.B'.N_\gamma$$

onde: $B' = B - 2e$ = largura equivalente da base do muro;

c' = coesão do solo de fundação;

γ_f = peso específico do solo de fundação;

N_c, N_q, N_γ = fatores de capacidade de carga (Tabela 3);

3ª. Etapa

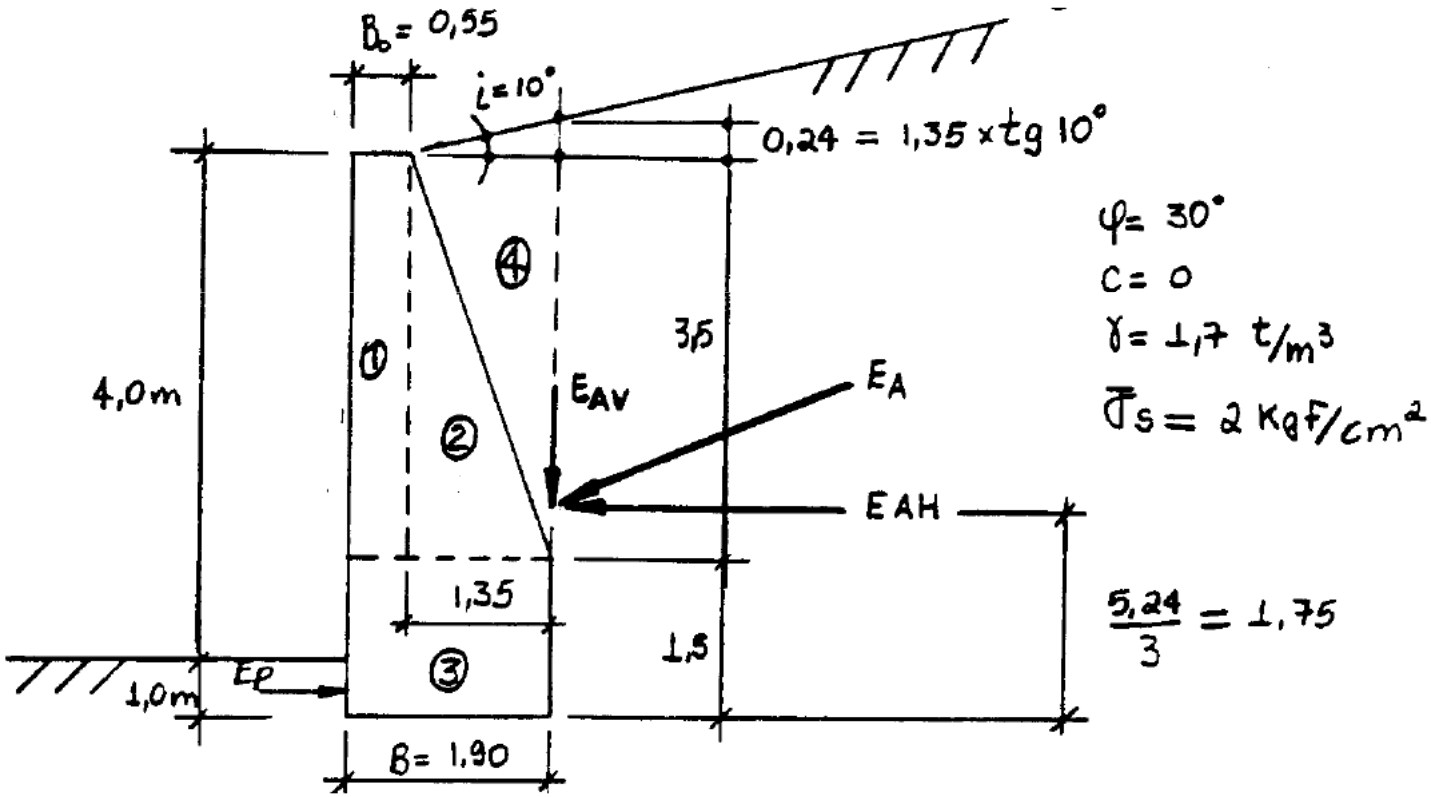
Verificação das condições de estabilidade

- **Capacidade de carga**

ϕ (graus)	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1,00	0,00
2	5,63	1,20	0,15
4	6,19	1,43	0,34
6	6,81	1,72	0,57
8	7,53	2,06	0,86
10	8,35	2,47	1,22
12	9,28	2,97	1,69
14	10,37	3,59	2,29
16	11,63	4,34	3,06
18	13,10	5,26	4,07
20	14,83	6,40	5,39
22	16,88	7,82	7,13
24	19,32	9,60	9,44
26	22,25	11,85	12,54
28	25,80	14,72	16,72
30	30,14	18,40	22,40
32	35,49	23,18	30,22
34	42,16	29,44	41,06
36	50,59	37,75	56,31
38	61,35	48,93	78,03
40	75,31	64,20	109,41
42	93,71	85,38	155,55
44	118,37	115,31	224,64
46	152,10	158,51	330,35
48	199,26	222,31	496,01
50	266,89	319,07	762,89

EXEMPLO DE DIMESIONAMENTO

Exemplo: Verificar a estabilidade do com retroaterro inclinado segundo método de Rankine.



Fonte: *Faculdade de Engenharia do Rio deJaneiro-Nota de aula*

EXEMPLO DE DIMESIONAMENTO

Calculo dos empuxos totais

5,24

$$K_a = \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}} \Rightarrow k_a = 0,35 \Rightarrow E_a = \frac{1}{2}.\gamma H^2.k_a = 8,17t$$

$$E_{ah} = E_a \cos i. = 8,05t$$

$$E_{av} = E_a seni. = 1,42t$$

1,0

$$K_p = \frac{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}} \Rightarrow k_p = 3,0 \Rightarrow E_p = \frac{1}{2}.\gamma H^2.k_p = 2,55t$$

$$(E_p)projeto = \frac{E_p}{FS}. = \frac{E_p}{3} = 0,85t$$

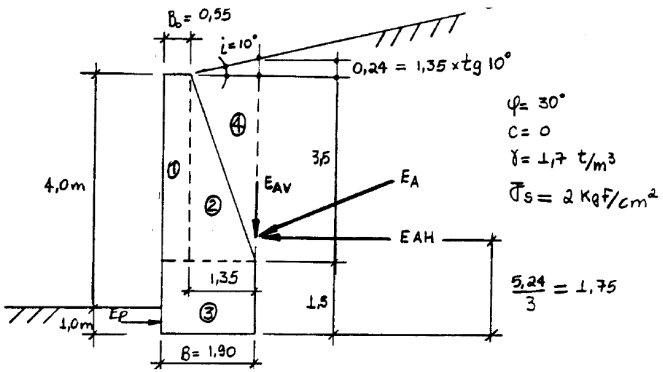
Ea= 8,17t Eah= 8,05 t Eav=1,42 t

Ep = 2,55t Ep (projeto) =0,85t

EXEMPLO DE DIMESIONAMENTO

Calculo dos pesos do muro e braço de alavanca

Area	Peso (t)	Braço de alavanca	Momento
1	0,55x3,5x2,2=2,24	0,55/2=0,275	1,17
2	[(1,35x3,5)/2]x2,2=5,2	0,55+(1,35/3) = 1	5,2
3	1,9x1,5x2,2=6,27	0,95	5,96
4	[(3,74x1,35)/2]x1,7=4,29	0,55+(2/3)*1,35=1,45	6,22
soma	20t		18,55



EXE MPLO DE DIMESIONAMENTO

Resumo dos esforços:

Eah= 8,05 t
Eav=1,42 t
Ep (projeto) =0,85t
Pmuro = 20t
M muro = 18,55t

$\Sigma F_v = 20+1,42= 21,42t$

$\Sigma F_h = 8,05-0,85=7,2t$

$\Sigma M = 18,55+Eavx1,9-Eahx1,75+Epx1/3=$

$\Sigma M = 18,55+1,42x1,9-8,05x1,75+0,85x1/3=7,44t.m/m$

∑ Fv= 21,42 t

∑ Fh= 7,2 t

∑ M= 7,44t.m/m

EXE MPLO DE DIMESIONAMENTO

- ***Segurança contra o deslizamento:***

Sera adotado na analise uma redução de 1/3 para definir os parâmetros solo-muro

$$FS_{DESLIZ} = \frac{E_p + S}{E_a} \geq 1{,}5$$

$W = \sum Fv = 21{,}42$ t
B=1,9m
$\varphi = 30^0$
Ep =0,85t
Eah= 8,05 t

$$S = B \times \left[c'_w + \left(\frac{W}{B} - u \right) \tan\delta \right] =$$

$$S = 1{,}9 \times \left[0 + \left(\frac{21{,}42}{1{,}9} - 0 \right) \tan(30/3) \right] = 3{,}78 t/m$$

$$FS_{DESLIZ} = \frac{0{,}85 + 3{,}78}{8{,}05} = 0{,}57 \Rightarrow \neq OK$$

Notas: δ = atrito solo-muro, B = largura da base do muro; c'_w = adesão solo-muro; W = somatório das forças verticais; u = poropressão

EXEMPLO DE DIMESIONAMENTO

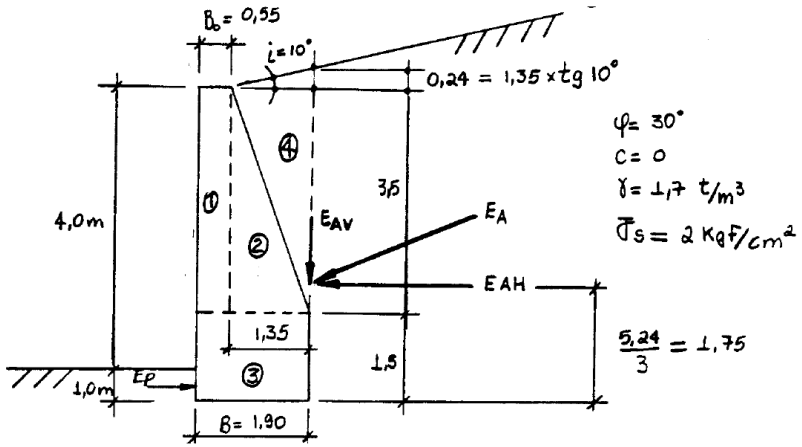
- ***Segurança contra tombamento:***

$$FS_{TOMB} = \frac{M_{RES}}{M_{SOLIC}} \geq 1{,}5$$

$$FS_{TOMB} = \frac{M_{muro} + M_{passivo} + E_{av} x 1{,}9}{M_{ativo}}$$

Eah= 8,05 t
Eav=1,42 t
Ep (projeto) =0,85t
Pmuro = 20t
M muro = 18,55t

$$FS_{TOMB} = \frac{18{,}55 + (0{,}85 * (1/3)) + (1{,}42 x 1{,}9)}{8{,}05 * 1{,}75} = 1{,}53 \quad \Rightarrow OK$$



EXEMPLO DE DIMESIONAMENTO

- ***Capacidade de carga***

Calculo da excentricidade:

$\Sigma F_V = 21{,}42t$

$\Sigma M = 7{,}44t.m/m$

$\Rightarrow e' = \dfrac{\Sigma M}{\Sigma F_v} = 0{,}35m \Rightarrow e = (b/2) - e' = 0{,}6m \Rightarrow e > b/6 = 0{,}32\ !$

(tensões de tração na base do muro!)

$$\sigma_{max} = \frac{2.V}{3.e'} = \frac{2 \times 21{,}42}{3 \times 0{,}35} = 40tf\ /\ m^2 = 4kgf\ /\ cm^2$$

$$FS = \frac{q_{max}}{\sigma_{max}} = \frac{2}{4} = 0{,}5\ t/m^2 \quad \Rightarrow \neq OK$$

FS = 2/2,5 = 0,8 t/m2

$$\sigma_{max} < \frac{q_{max}}{FS} \approx \frac{q_{max}}{2{,}5}$$

PROJETO DE MURO DE ARRIMO

2ª. Etapa

Definição dos esforços atuantes.

- **METODO DE COULOMB**
- Supõe que:
- ***Empuxos laterais NÃO são limitados a paredes verticais;***

- ***A força resultante do empuxo NÃO é necessariamente paralela à superfície do terreno devido ao ângulo de atrito solo-parede.***