

ANEXO 5 – MODELO DE DIMENSIONAMENTO

O Anexo 5 apresenta uma SUGESTÃO de modelo de dimensionamento para o método Terra Armada, todas definições e características utilizadas são de responsabilidade e escolha da equipe participante.

Para o dimensionamento do talude, será necessária a verificação da estabilidade externa e deverá ser feito o dimensionamento interno do talude, ou seja, serão realizados cálculos em relação às dimensões das armaduras.

Como informações iniciais, deve-se conhecer:

ϕ : Ângulo de atrito entre os grãos de areia;

δ_a : Ângulo de atrito entre a areia e as armaduras de papel;

δ_b : Ângulo de atrito entre a areia e a base;

γ : Peso específico do solo (Anexo 1).

OBS: Todos os cálculos são realizados no Sistema Internacional de Unidades.

Ângulo de Atrito

O ângulo de atrito entre os grãos ϕ está diretamente relacionado com a densidade relativa do solo (D_r) e a granulometria dos grãos. Uma possibilidade de cálculo do ângulo de atrito é através da teoria de Mello (1971), na qual temos que:

$$(1,49 - D_r) \operatorname{tg} \phi = 0,712$$

Onde:

ϕ : Ângulo de atrito;

D_r : Densidade relativa do solo.

O ângulo de atrito entre a areia e as armaduras de papel (δ_a) e o ângulo de atrito entre a areia e a base (δ_b) podem ser estimados a partir do ângulo de atrito entre os grãos, por meio do critério escolhido pelo grupo.

1 ESTABILIDADE EXTERNA

Para a garantia da estabilidade externa, será indicada apenas a verificação do escorregamento pela base, logo, devem ser calculadas as forças estabilizadoras e instabilizadoras.

1.1 TEORIA DE RANKINE

Nos problemas de fundações, a interação da estrutura com o solo transmite forças essencialmente verticais, mas também acontece a transmissão de forças horizontais, estas últimas chamadas de empuxos de terra. Estes empuxos podem ser passivos ou

ativos. Neste caso, o foco será dado aos empuxos ativos, onde é construída uma estrutura para suportar um maciço de solo. Sendo assim, pela teoria de Rankine, temos que:

$$K_a = \frac{1 - \operatorname{sen} \phi}{1 + \operatorname{sen} \phi}$$

Onde:

ϕ : Ângulo de atrito entre os grãos de areia;

K_a : Coeficiente de empuxo ativo de Rankine.

Empuxos

Os empuxos existentes no sistema serão causados apenas pelo peso do solo não reforçado, que são os empuxos ativos. Vale salientar que, pelo fato de a areia estar totalmente seca, não será considerado o empuxo hidrostático. O empuxo causado pelo peso próprio do terreno é obtido por:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

Empuxo causado pela carga aplicada:

$$E_a = q \cdot K_a \cdot H$$

Onde:

q : Carga aplicada;

γ : Peso específico do solo;

H : Altura do talude;

1.2 VERIFICAÇÃO DO ESCORREGAMENTO PELA BASE

Para a verificação do escorregamento pela base, tem-se como condição que as forças horizontais estabilizadoras devem ser maiores que as forças horizontais desestabilizadoras. Temos então as forças estabilizadoras:

$$F_{H_{est}} = (W + F) \cdot \operatorname{tg} \delta_b$$

Forças desestabilizadoras:

$$F_{H_{dest}} = \sum E_a$$

Onde:

W : Peso próprio do talude;

F : Força aplicada na superfície do talude.

Com esses resultados, deve-se garantir que:

$$F_{H_{est}} > F_{H_{dest}}$$

2 DIMENSIONAMENTO INTERNO

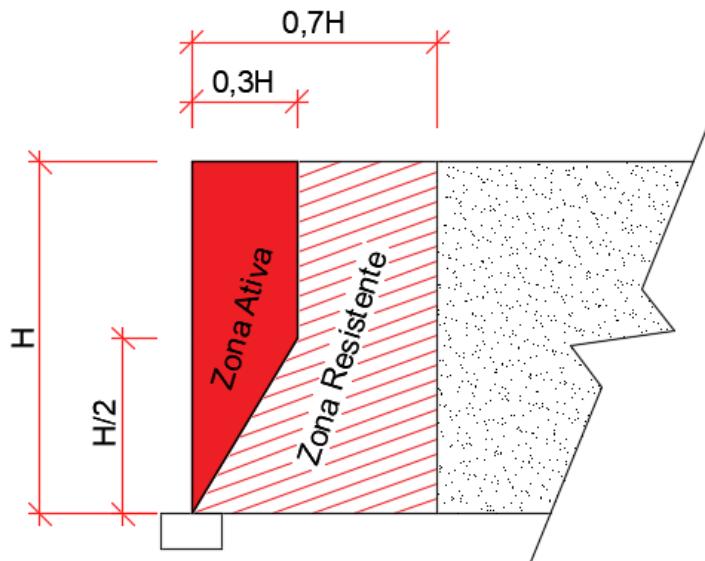
Para o dimensionamento interno será dado enfoque na análise da capacidade resistente de cada armadura de papel. Sendo assim, o método utilizado será do equilíbrio local.

2.1 ZONA ATIVA E ZONA RESISTENTE

O maciço armado se divide em duas zonas: na zona ativa, o solo está na iminência de ruptura, enquanto na zona resistente o solo atua como ancoragem do reforço. O comprimento máximo da parte ativa é dado por:

$$L_{a \max} = 0,3 \cdot H$$

Além disso, existe a parte constante e a parte variável da zona ativa. A altura que divide essas duas partes é dada pela metade da altura ($H/2$). A imagem a seguir ilustra o que foi citado anteriormente.



A quantidade de armaduras colocadas em cada nível do talude, o número de níveis de armadura utilizados e o espaçamento entre os níveis fica a critério da equipe.

A extensão de cada armadura, que em cada nível tem um comprimento de papel ativo (L_a), deve ser obtida iterativamente pela equipe.

A partir disso, a extensão da armadura, que em cada nível tem um comprimento de papel resistente (L_r), pode ser obtida através da diferença entre o comprimento total das armaduras e o comprimento de papel ativo. Logo:

$$L_r = L - L_a$$

Onde:

L_r : Comprimento da armadura na zona resistente;

L : Comprimento total da armadura;

L_a : Comprimento da armadura na zona ativa.

2.2 EMPUXOS DE TERRA A CADA NÍVEL

O coeficiente de empuxo, visto no início desta seção, possui valores diferentes de acordo com a profundidade, para que possa ser feita as conversões das tensões verticais em horizontais, para cada nível de armadura.

Quando estamos na superfície, não há tensão horizontal atuante, logo será utilizado o coeficiente de empuxo no repouso, dado por Jaki (1994):

$$K_0 = 1 - \operatorname{sen} \phi$$

Conforme a profundidade aumenta, o valor de K_0 diminui, até atingir o valor de K_a , coeficiente de empuxo ativo, que se mantém ao longo da profundidade restante do muro. Este mesmo valor já foi calculado anteriormente.

Para o dimensionamento interno, também devemos entender a variação do peso do talude a cada nível, além das forças verticais que atuam no seu centro de gravidade. Além disso, devem-se analisar os momentos gerados pela ação dos empuxos horizontais que, combinados com as reações verticais, geram uma excentricidade entre o centro de gravidade e o ponto real da aplicação da carga. Esta excentricidade será utilizada para a obtenção da largura efetiva da armadura.

2.3 VARIAÇÃO DO PESO DO TALUDE EM ALTURA

$$W(Z) = Z \cdot L \cdot \gamma$$

Onde:

Z : Altura de solo colocado a cada nível;

L : Comprimento da armadura;

γ : Peso específico do solo.

2.4 FORÇAS VERTICais E MOMENTOS ATUANTES NO CENTRO DE GRAVIDADE DO TALUDE

Como forças verticais atuantes temos a ação do peso e a força aplicada para a qual a equipe dimensionará o talude. Logo, a força vertical a cada nível é dada por:

$$R_v(Z) = W(Z) + F$$

Onde:

F : Força aplicada na superfície do talude.

O momento aplicado é calculado apenas com o valor dos empuxos horizontais atuantes, em relação ao centro do talude, utilizando:

$$M(Z) = E_a \cdot (1/2 H - Z)$$

2.5 EXCENTRICIDADE E COMPRIMENTO EFETIVO

A excentricidade e comprimento efetivo a cada nível são dadas, respectivamente, pelas fórmulas a seguir:

$$e(Z) = \frac{M(Z)}{R_v(Z)}$$

$$L_{ef} = L - 2 \cdot e(Z)$$

Onde:

$e(Z)$: Excentricidade a cada nível;

L_{ef} : Comprimento efetivo da armadura;

L : Comprimento da armadura.

2.6 TENSÃO VERTICAL E HORIZONTAL PARA CADA NÍVEL DE ARMADURA

Os primeiros níveis de solo têm grande importância, pois as tensões junto às armaduras tendem a aumentar, e no ponto médio da passagem de um nível de armadura para outro, essas mesmas tensões tentam a diminuir, ou seja, esses valores não são constantes. Conforme a profundidade aumenta, este fenômeno tende a diminuir, pois, quanto maior o confinamento do solo, menores são as propriedades de dilatância (aumento de volume do solo).

Sendo assim, para estes casos, o cálculo da tensão vertical atuante para cada nível de armadura será dado por:

$$\sigma(Z) = \frac{R_v(Z)}{L_{ef}}$$

Sabendo da Teoria de Rankine, onde o coeficiente de empuxo no estado geostático de tensões é dado pela relação entre as tensões horizontais e tensões verticais, temos:

$$\sigma_h(Z) = K_0 \cdot \sigma_v(Z)$$

Agora, com os valores de tensão horizontal para cada nível de armaduras, será possível calcular a tração máxima que será aplicada em cada nível de armadura.

2.7 TRAÇÃO MÁXIMA PARA CADA ARMADURA POR NÍVEL

$$T_{máx}(Z) = \Delta H \cdot \frac{\sigma_h(Z)}{n}$$

Onde:

ΔH : Espaçamento entre as armaduras;

n : Número de armaduras em cada nível.

2.8 TENSÃO MÁXIMA QUE CADA ARMADURA PODE SUPORTAR

$$T_r = \frac{R}{FS}$$

Onde:

R: Valor da resistência à tração do papel, obtido por ensaio laboratorial (Anexo 2);

FS: Fator de Segurança adotado.

2.9 TENSÕES RESISTENTES INSTALADAS EM CADA ARMADURA

Para $M > 0$:

$$T_f = 2 \cdot b \cdot (L_{ef} - L_a) \cdot f(Z) \cdot \frac{\sigma_v(Z)}{FS}$$

Para $M < 0$:

$$T_f = 2 \cdot b \cdot L_r \cdot f(Z) \cdot \frac{\sigma_v(Z)}{FS}$$

Onde:

f(Z): Interface solo-armadura;

b: Largura da armadura, arbitrada pelo grupo.

A interface do solo com as armaduras sofre variação quando o talude é menor que 6 metros de altura. Logo, deve-se calcular seu valor inicial e em seguida sua variação ao longo da profundidade.

O valor da interface solo-armadura ao longo da profundidade é dado por:

$$f(Z) = f_0 \cdot \left(1 - \frac{Z}{Z_0}\right) + \frac{Z}{Z_0} \cdot \operatorname{tg} \phi$$

O valor da interface solo-armadura inicial é dado por:

$$f_0 = 1,2 + \log(CU)$$

Onde:

f₀: Interface solo-armadura;

CU: Coeficiente de uniformidade.

O cálculo do coeficiente de uniformidade do solo é dado por:

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Onde:

D₆₀: diâmetro da peneira na qual há 60% de material passante;

D₁₀: diâmetro da peneira na qual há 10% de material passante.

Os valores de D10 e D60 poderão ser obtidos através do Anexo 1.

Os valores de tensões máximas que podem ser suportadas pelas armaduras e das tensões resistentes que existem em cada uma delas é necessária para a verificação de duas condições:

Garantia de que o talude não colapse por arranque das armaduras:

$$T_{máx} \leq T_r$$

Assegura o não rompimento do talude:

$$T_{máx} \leq T_f$$

OBS: Nas verificações são consideradas que todas as armaduras de mesmo nível possuem o mesmo comprimento L.