

DIMENSIONAMENTO DE UM MURO DE CONTENÇÃO: MURO DE ARRIMO À FLEXÃO EM CONCRETO ARMADO

SIZING A RETAINING WALL: REINFORCED CONCRETE FLEXURE REINFORCATION WALL.

¹TAKAESU, Larissa Gonçalves; ²RODRIGUES, André Luis Carvalho

^{1e2}Departamento de Engenharias – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo dimensionar um muro de arrimo à flexão em concreto armado, utilizado como solução para contenção de solos. A pesquisa abrange aspectos teóricos e práticos sobre o comportamento de diferentes tipos de muros de arrimo, focando na análise de solos, cálculo estrutural e verificação de esforços como tombamento e empuxo da terra. Para o terreno estudado, de características argilosas, o método construtivo do muro de flexão foi considerado o mais apropriado. As principais fases do projeto incluem o pré-dimensionamento geométrico, cálculo de empuxos de acordo com a teoria de Rankine, verificação de estabilidade e dimensionamento da armadura. O estudo foi fundamentado em normas técnicas brasileiras, garantindo precisão nos cálculos e segurança na execução da obra.

Palavras-chave: Muros de Arrimo; Empuxo de Terra; Estabilidade Estrutural; Concreto Armado.

ABSTRACT

This work aims to design a reinforced concrete retaining wall for flexure, used as a solution for soil retention. The research covers theoretical and practical aspects of the behavior of different types of retaining walls, focusing on soil analysis, structural calculation, and the verification of forces such as overturning and earth pressure. For the studied terrain, which has clayey characteristics, the flexural wall construction method was considered the most appropriate. The main phases of the project include the preliminary geometric design, calculation of earth pressures according to Rankine's theory, stability verification, and reinforcement design. The study was based on Brazilian technical standards, ensuring accuracy in the calculations and safety in the construction.

Keywords: Retaining Walls; Earth Pressure; Structural Stability; Reinforced Concrete.

INTRODUÇÃO

Os muros de arrimo estão entre as estruturas de contenções mais antigas, acompanhando a civilização desde o seu primórdio – de forma mais rupestre - até os dias atuais – estruturas mais rebuscadas, eficientes e seguras (Budhu, 2013).

Um muro de arrimo é uma construção feita de blocos que tem como objetivo resistir aos esforços exercidos pelo solo (empuxo de terra), água (pressões hidrostáticas ou de percolação) e às sobrecargas externas (acréscimo de tensão horizontal), quando existentes.

A palavra “arrimo” significa encosto, amparo, proteção; tudo que se utiliza para dar apoio ou suporte a alguma coisa. Muros de arrimo são essenciais para prevenir deslizamentos de terra ou desmoronamentos que possam danificar as estruturas

próximas. Estes elementos podem ser apoiados sob uma fundação rasa ou profunda, porém, representam um grande custo no orçamento devido aos materiais necessários e métodos construtivos.

Existem diversos materiais que podem ser utilizados na execução dos muros de arrimo, podendo ser utilizado o concreto, alvenaria ou elementos especiais. Essas estruturas podem ser temporárias ou definitivas e podem ser de vários tipos, sendo os 2 principais os muros de arrimo por gravidade e muros de arrimo por flexão.

A aplicação de um determinado método para a construção desses elementos, depende principalmente das características de solo presentes no local. Este trabalho propõe uma análise abrangente sobre os muros de arrimo, explorando suas diferentes tipologias, materiais e técnicas construtivas, bem como os princípios geotécnicos subjacentes ao seu projeto e execução.

De acordo com as características dimensionais do terreno estudado, o método construtivo do muro de arrimo por flexão se apresentou o mais adequado. Sendo executado em concreto armado sobre uma fundação de sapata corrida.

Para o cálculo inicial das dimensões e esforços no muro de arrimo, foram utilizados valores aproximados com base em dedução.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo discutir aspectos teóricos e práticos relacionados à concepção, dimensionamento, construção e manutenção dessas estruturas, com ênfase nas melhores práticas e inovações tecnológicas que têm impacto significativo na eficácia e sustentabilidade dos muros de arrimo.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, o dimensionamento do muro de arrimo à flexão em concreto armado foi realizado com base nas diretrizes estabelecidas no livro *Muros de Arrimo* de Marchetti (2007), que serviu como principal referência técnica para a definição dos cálculos e dos métodos construtivos adotados.

Para realizar as análises de empuxo do solo, foi utilizado o método de Rankine. A teoria de Rankine é amplamente utilizada para determinar as pressões que o solo exerce sobre estruturas de contenção. Ela assume que o solo é homogêneo e seco, e que as forças atuantes no solo são influenciadas pela condição de repouso, movimento ou deslizamento.

Deste modo, se um muro de arrimo pode suportar o empuxo ativo das terras, ele não rompe. Embora a face interna dos muros de arrimo seja áspera, Rankine supôs que fossem lisas na elaboração de sua hipótese (MARCHETTI, 2007).

Para fins de cálculo foi considerado um solo argiloso de consistência média sendo seu peso específico (γ) de 17KN/m³ e N_{spt} 8. O coeficiente de empuxo ativo (K_a), é definido pela tabela 1.2.4 do livro muros de arrimo (MARCHETTI,2007), com base nos valores do ângulo de atrito dos grãos (ϕ) Eq. (1).

Considerando que, um terreno precisa suportar outras cargas permanentes e variáveis além do seu próprio peso, foi adicionado uma carga q de 25kN/m para efeitos de cálculo.

$$\phi = 28 + 0,40 + N_{spt} \text{ (Godoy, 1983) } \quad \text{Eq. (1)}$$

Já a tensão total sob a argila (σ), é dada pela Eq. (2):

$$\sigma = \gamma \times H \quad \text{Eq. (2)}$$

As tensões de cisalhamento na base de um muro de arrimo (τ) Eq. (3), surgem como resultado das forças que agem no solo em contato com a estrutura, devido à pressão lateral exercida pela massa de solo que o muro retém.

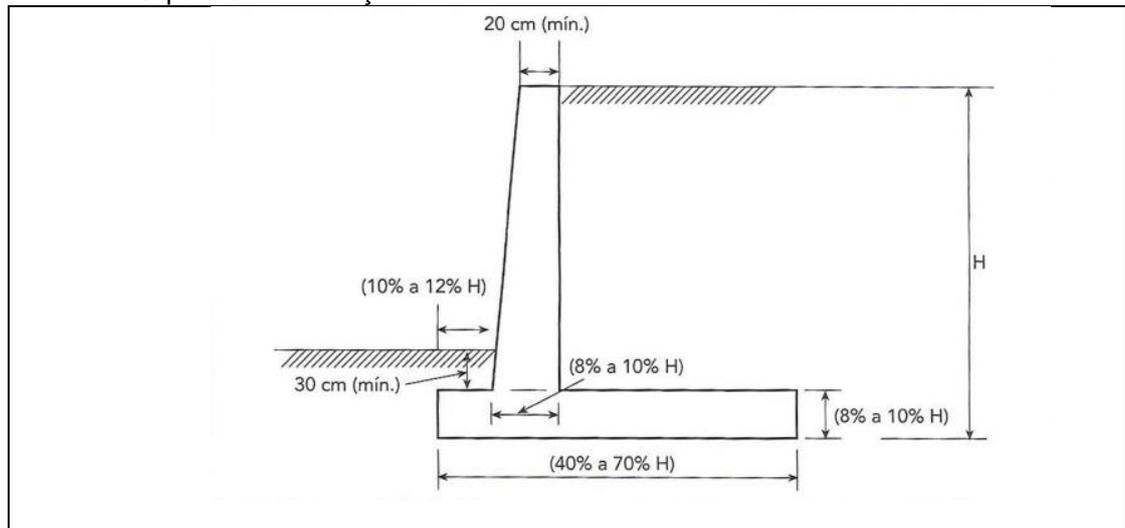
$$\tau = \sigma \times K_a \quad \text{Eq. (3)}$$

O empuxo ativo (E_a) Eq. (4) ocorre à medida que a estrutura de arrimo se distancia do terrapleno, diminuindo as pressões de forma gradual até atingir um valor mínimo.

$$E_a = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times K_a \quad \text{Eq. (4)}$$

Marchetti (2003) definiu alguns parâmetros para o dimensionamento de muros de arrimo, dentre eles se destaca o muro por flexão representado na figura 1.

Figura 1 - Pré-dimensionamento para um muro de arrimo à flexão em concreto armado com sapata sem inclinação.



Fonte: (Marchetti, 2007)

O momento de tombamento gerado pelo empuxo do solo E_a atua a $H/3$ da base

$$M_{t,Ea} = E_a \times \frac{H}{3} \quad \text{Eq. (5)}$$

O momento de tombamento gerado pela sobrecarga E_q atua a $H/2$ da base:

$$M_{t,Eq} = E_q \times \frac{H}{2} \quad \text{Eq. (6)}$$

O momento total de tombamento M_t é a soma dos momentos:

$$M_t = M_{tEa} + M_{tEq} \quad \text{Eq. (7)}$$

O momento resistente é gerado pelo peso do muro e atua a $L/2$ da base:

$$M_r = W_m \times \frac{L}{2} \quad \text{Eq. (8)}$$

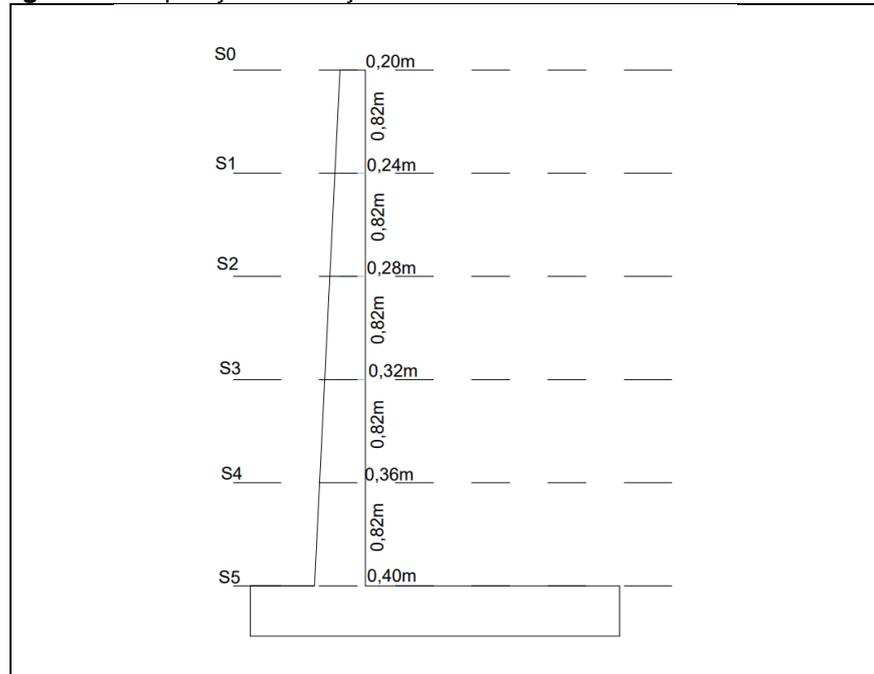
Agora, podemos calcular o fator de segurança contra tombamento FS:

$$FS = \frac{M_r}{M_t} \quad \text{Eq. (9)}$$

FS precisa ser maior ou igual a 1,50.

Para o cálculo da armadura, o muro foi dividido em 5 seções de 1 metro cada conforme a figura a seguir:

Figura 2 - Disposição das seções do muro.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Para cada seção definida, foram calculados a força de empuxo ativo total Eq. (10), o empuxo ativo Eq. (11), a pressão de solo ativa resultante de uma carga distribuída na superfície do solo Eq. (12) e o empuxo decorrente da carga q Eq. (13).

$$pa = K_a \times \gamma \times H \quad \text{Eq. (10)}$$

$$Ea = pa \times \frac{H}{2} \quad \text{Eq. (11)}$$

$$pq = K_a \times q \quad \text{Eq. (12)}$$

$$Eq = pq \times H \quad \text{Eq. (13)}$$

Através dos empuxos obtidos, é possível calcular os momentos fletores Eq. (14), indicando como as forças e pressões do solo estão distribuídas ao longo da estrutura.

$$Ms = Ea \times \frac{H}{3} + Eq \times \frac{H}{2} \quad \text{Eq. (14)}$$

Com os valores de momento e as dimensões do muro previamente calculados, é possível determinar a área de aço Eq. (11) necessária para a estabilidade do muro de arrimo. Antes disso é necessário encontrar o valor K3 correlacionando os

resultados de K_6 Eq. (15) e o f_{ck} do concreto através da tabela A do livro muros de arrimo (MARCHETTI,2007).

$$K_6 = 10^5 \times \frac{bw \times d^2}{MS} \quad \text{Eq. (15)}$$

$$As_1 = \frac{K_3}{10} \times \frac{Ms_1}{d} \quad \text{Eq. (16)}$$

Uma estrutura de concreto deve ter um valor mínimo de armadura, dado pela seguinte equação:

$$As_{min} = \frac{0,15}{100} \times b_w \times h \quad \text{Eq. (17)}$$

É de suma importância realizar a verificação da armadura cortante Eq. 19 em uma estrutura de concreto armado para garantir que seja capaz de resistir às forças cortantes Eq. (18) induzidas pelas cargas aplicadas, como as pressões do solo.

$$Vsd = (Ea + Eq) \times 1,4 \quad \text{Eq. (18)}$$

A verificação dos valores de força cortante depende do valor da tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento (τ_{rd}) Eq. (22).

$$Vrd_1 = (\tau_{rd} \times K \times (1,20 + 40 \times \rho_1) \times B_w \times d_1) \quad \text{Eq. (19)}$$

Cálculo do ρ_1 :

$$\rho_1 = \frac{As_1}{b_w \times d} \quad \text{Eq. (20)}$$

Valor da resistência à tração direta (f_{ctd}):

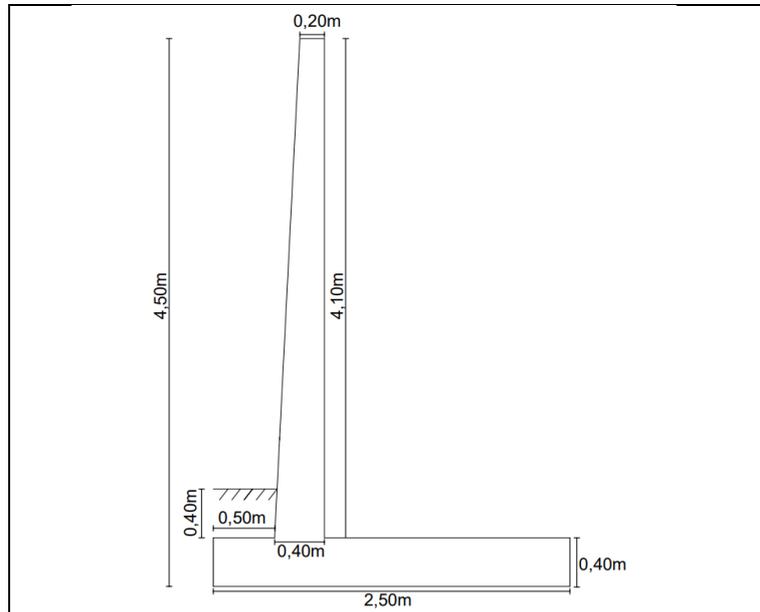
$$f_{ctd} = \frac{0,21 \times f_{ck}^{\frac{2}{3}}}{1,4} \quad \text{Eq. (21)}$$

$$\tau_{rd} = 0,25 \times f_{ctd} \quad \text{Eq. (22)}$$

As armaduras utilizadas no muro foram dimensionadas com aço CA-50 e concreto C-25.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 3 - Projeto do muro em perfil com as medidas calculadas de acordo com o método de Marchetti.



Fonte: Autoria Própria (2024)

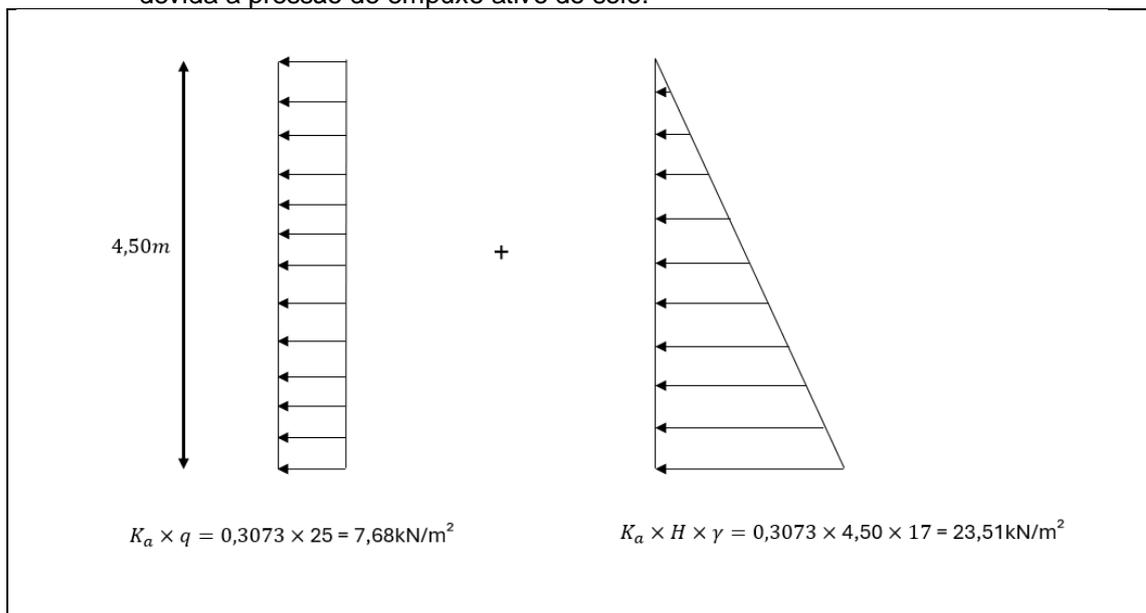
Tabela 1 – Valores iniciais do solo.

$\phi = 31,20^\circ$	$\gamma = 17\text{kN/m}^3$	$\beta = 0$	$K_a = 0,3073$
----------------------	----------------------------	-------------	----------------

$$E_a = \frac{1}{2} \times 17 \times 4,50^2 \times 0,3073 = 52,89\text{kN/m}$$

$$E_q = (25 \times 0,3073) \times 4,50 = 34,57\text{kN/m}$$

Figura 4 – Representação da pressão uniforme da carga distribuída somada a pressão triangular devida a pressão de empuxo ativo do solo.



Fonte: Autoria Própria (2024)

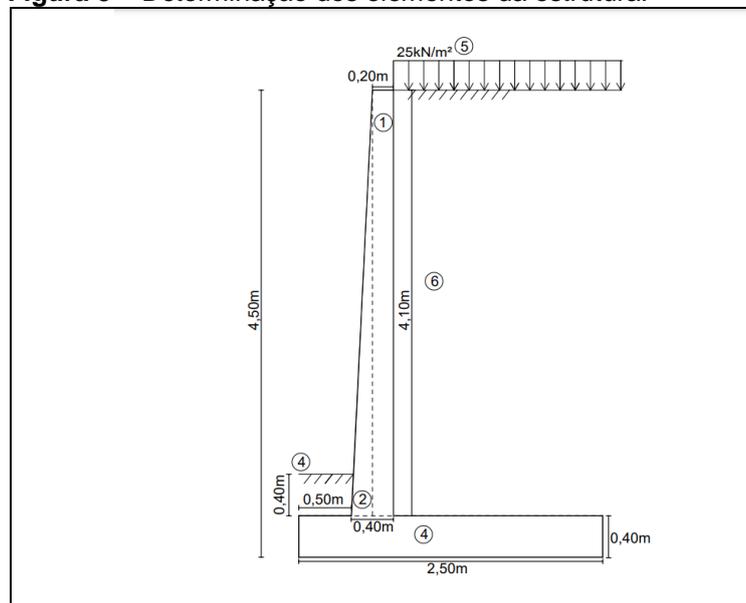
Empuxo total (atuante):

$$F_a = 34,57 + 52,89 = \mathbf{87,46kN/m}$$

O escorregamento ocorre quando as forças horizontais que atuam sobre o muro de arrimo superam as forças de resistência ao deslizamento na base do muro.

A verificação de escorregamento em muros de arrimo é uma das verificações mais importantes de estabilidade que devem ser feitas para garantir que o muro não seja "empurrado" horizontalmente pelo empuxo do solo.

Figura 5 – Determinação dos elementos da estrutura.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Tabela 2 – Dados do solo na base

$\phi = 31,20^\circ$	$\gamma = 17\text{kN/m}^3$	$\beta = 0$	$K_a = 0,3073$
----------------------	----------------------------	-------------	----------------

Tabela 3 – Peso da estrutura em kN/m

Parte do muro ou do solo	Peso (kN/m)
1	$0,20 \times 4,10 \times 25 = 20,50$
2	$0,20 \times 4,10 \times 0,50 \times 25 = 10,25$
3	$0,40 \times 2,50 \times 25 = 25$
4	$4,50 \times 2,50 \times 25 = 281,25$
5	$2,50 \times 25 = 62,50$
Total	399,50

$$M_{t,Ea} = 52,89 \times \frac{4,50}{3} = 79,34 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{t,Eq} = 34,57 \times \frac{4,5}{2} = 77,78 \text{ kN.m/m}$$

$$M_t = 79,34 + 77,78 = 157,12 \text{ kN.m/m}$$

$$M_r = 399,50 \times \frac{2,5}{2} = 499,37 \text{ kN.m/m}$$

$$FS = \frac{499,37}{157,12} = 3,18$$

$$3,18 > 1,50 \text{ ok!}$$

Representação dos empuxos em cada seção:

Seção 1:

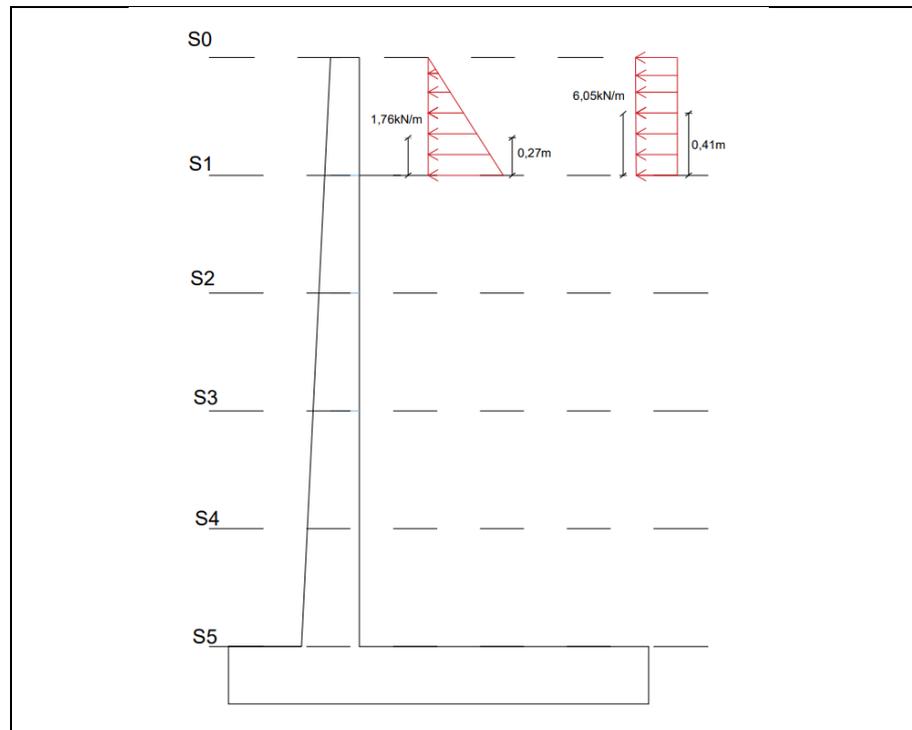
Empuxos na seção 1:

$$pa_1 = 0,3073 \times 17 \times 0,82 = 4,29 \text{ kN/m}^2$$

$$Ea_1 = 4,29 \times \frac{0,82}{2} = 1,76 \text{ kN/m}$$

$$Eq_1 = 7,38 \times 0,82 = 6,05 \text{ kN/m}$$

Figura 6 – Representação dos esforços atuantes do muro de arrimo seção.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Cortante na seção 1:

$$V_{sd_1} = (1,76 + 6,05) \times 1,4 \quad V_{sd_1} = 7,81 \text{ kN/m}$$

Momento fletor na seção 1:

$$M_{S_1} = 1,76 \times \frac{0,82}{3} + 6,05 \times \frac{0,82}{2} = 2,96 \text{ kN/m}$$

Área de aço:

$$d = e - 4 \quad d = 24 - 4 \quad d = 20 \text{ cm}$$

$$K_6 = 10^5 \times \frac{0,82 \times 0,20^2}{2,96} = 1.108,11$$

Se $K_6 = 1.108,11$, $K_3 = 0,323$

$$A_{S_1} = \frac{0,323}{10} \times \frac{2,96}{0,20} = 0,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Área de aço mínima :

$$A_{S_{min}} = \frac{0,15}{100} \times 80 \times 24 = 2,88 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Verificação de armadura cortante:

$$K = 1,6 - d \quad K = 1,6 - 0,20 \quad K = 1,40 \text{ cm}$$

$$\rho_1 = \frac{2,88}{82 \times 20} = 1,76 \times 10^{-3}$$

O valor da tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento (τ_{rd}) :

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \times 25^{\frac{2}{3}}}{1,4} \quad f_{ctd} = 1,28 \text{ MPa}$$

$$\tau_{rd} = 0,25 \times 1,19 = 320,62 \text{ KPa}$$

$$Vrd_1 = (297,50 \times 1,40 \times (1,20 + 40 \times (1,76 \times 10^{-3})) \times 0,82 \times 0,20) = 86,75 \text{ kN/m}$$

$$Vrd_1 = 86,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > Vsd_1 = 7,81 \text{ kN/m} ; \text{ não é preciso armar força cortante.}$$

Seção 2:

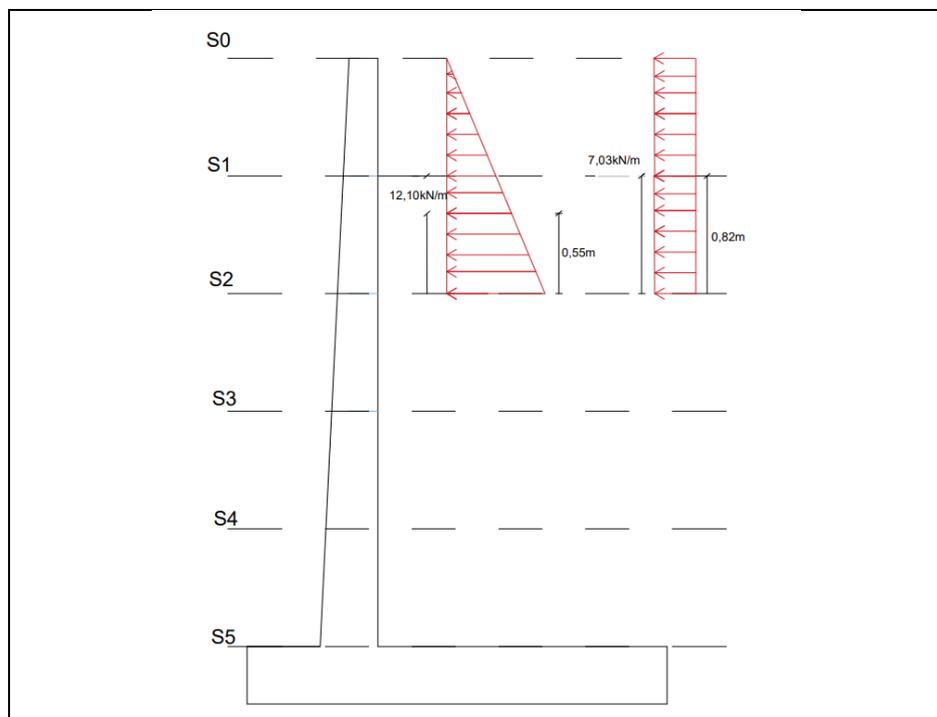
Empuxos na seção 2:

$$pa_2 = 0,3073 \times 17 \times 1,64 = 8,57 \text{ kN/m}^2$$

$$Ea_2 = 8,57 \times \frac{1,64}{2} = 7,03 \text{ kN/m}$$

$$Eq_2 = 7,38 \times 1,64 = 12,10 \text{ kN/m}$$

Figura 7 – Representação dos esforços atuantes do muro de arrimo seção 2.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Verificação da cortante na seção 2:

$$Vsd_2 = (7,03 + 12,10) \times 1,4 = \mathbf{26,78kN/m}$$

Momento fletor na seção 2:

$$Ms_2 = 7,03 \times \frac{1,64}{3} + 12,10 \times \frac{1,64}{2} = \mathbf{13,77kN/m}$$

$$d = e - 4 \quad d = 28 - 4 \quad d = \mathbf{24 \text{ cm}}$$

$$K_6 = 10^5 \times \frac{0,82 \times 0,24^2}{13,77} = \mathbf{343,01}$$

Se $K_6 = 343,01$, $K_3 = 0,327$

$$As_2 = \frac{0,327}{10} \times \frac{13,77}{0,24} = \mathbf{1,88cm^2/m}$$

Área de aço mínima:

$$As_{min} = \frac{0,15}{100} \times 82 \times 28 = \mathbf{3,44cm^2/m}$$

Verificação de armadura cortante:

$$K = 1,6 - d \quad K = 1,6 - 0,24 \quad K = \mathbf{1,36m > 1m}$$

$$\rho_2 = \frac{As_2}{b_w \times d} \quad \rho_2 = \frac{3,44}{82 \times 24} = \quad \rho_2 = \mathbf{1,75 \times 10^{-3}}$$

O valor da tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento (τ_{rd})

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \times 28^{\frac{2}{3}}}{1,4} = \mathbf{1,38MPa}$$

$$\tau_{rd} = 0,25 \times 1,38 = \mathbf{345,78 KPa}$$

$$Vrd_2 = (320,62 \times 1,36 \times (1,20 + 40 \times (1,75 \times 10^{-3}))) \times 0,82 \times 0,24) = \mathbf{108,98kN/m}$$

$Vrd_2 = 108,98 \text{ kN/m} > Vsd_2 = 26,78 \text{ kN/m}$; não é preciso armar força cortante.

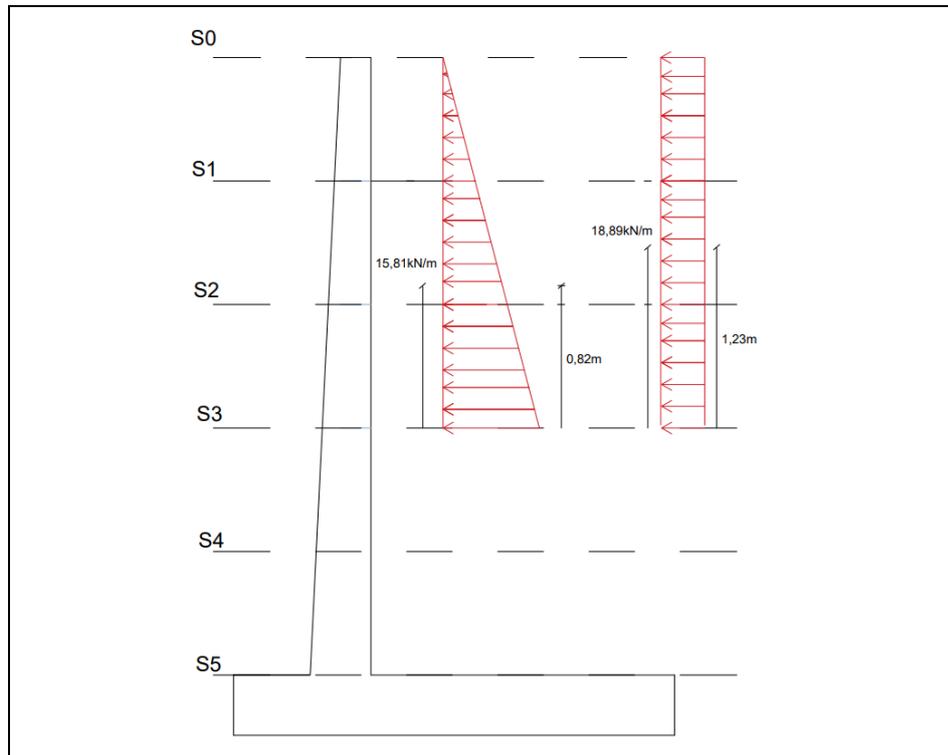
Seção 3:

Empuxo na seção 3:

$$pa_3 = 0,3073 \times 17 \times 2,46 = \mathbf{12,85kN/m^2}$$

$$Ea_3 = 12,85 \times \frac{2,46}{2} = \mathbf{15,81kN/m}$$

$$Eq_3 = 7,68 \times 2,46 = \mathbf{18,89kN/m}$$

Figura 8 – Representação dos esforços atuantes do muro de arrimo seção 3.

Fonte: Autoria Própria (2024)

Verificação da cortante na seção 3:

$$V_{S_3} = (15,81 + 18,89) \times 1,4 = \mathbf{48,58kN/m}$$

Momento fletor na seção 3:

$$M_{S_3} = 15,81 \times \frac{2,46}{3} + 18,89 \times \frac{2,46}{2} = \mathbf{36,20kN/m}$$

Cálculo da área de aço:

$$d = e - 4 \quad d = 32 - 4 \quad d = 28 \text{ cm}$$

$$K_6 = 10^5 \times \frac{0,82 \times 0,28^2}{36,20} = \mathbf{177,59}$$

Se $K_6 = 177,59$, $K_3 = 0,331$

$$As_3 = \frac{0,331}{10} \times \frac{36,20}{0,28} = 4,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Área de aço mínima:

$$As_{min} = \frac{0,15}{100} \times 82 \times 32 = 3,94 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Verificação de armadura cortante:

$$K = 1,6 - d \quad K = 1,6 - 0,28 \quad K = 1,32 \text{ m} > 1 \text{ m}$$

$$\rho_3 = \frac{4,28}{82 \times 28} \quad \rho_3 = 1,86 \times 10^{-3}$$

$$Vrd_3 = (\tau_{rd} \times K \times (1,20 + 40 \times \rho_3) \times B_W \times d_3)$$

$$Vrd_3 = (320,62 \times 1,32 \times (1,20 + 40 \times (1,86 \times 10^{-3})) \times 0,82 \times 0,28) \\ = 123,85 \text{ kN/m}$$

$Vrd_3 = 123,85 \text{ kN/m} > Vsd_3 = 80,07 \text{ kN/m}$; não é preciso armar força cortante.

Seção 4:

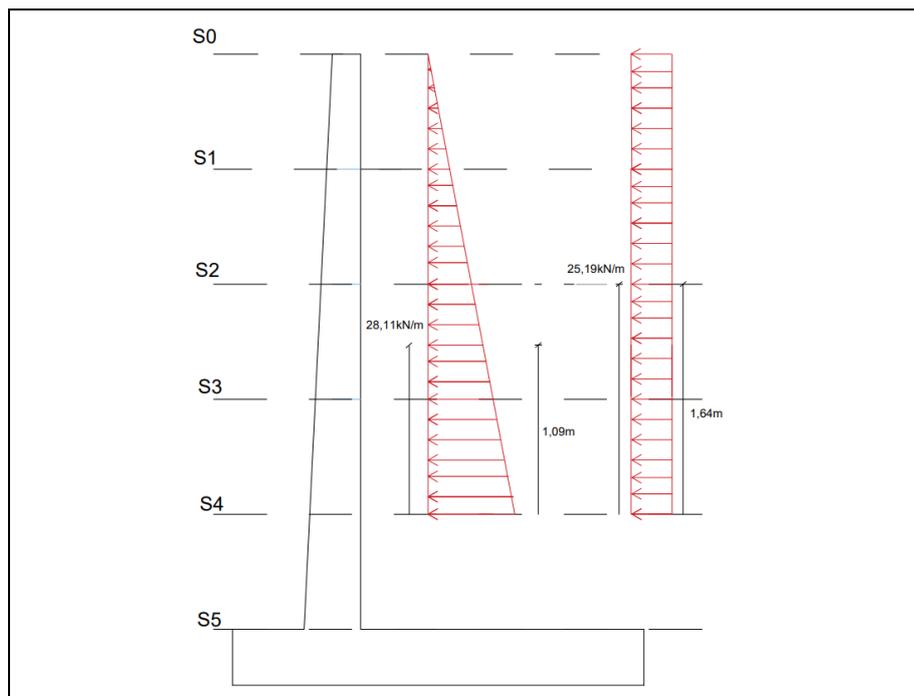
Empuxo na seção 4:

$$pa_4 = 0,3073 \times 17 \times 3,28 = 17,14 \text{ kN/m}^2$$

$$Ea_4 = 17,14 \times \frac{3,28}{2} = 28,11 \text{ kN/m}$$

$$Eq_4 = 7,68 \times 3,28 = 25,19 \text{ kN/m}$$

Figura 9 – Representação dos esforços atuantes do muro de arrimo seção 3



Fonte: Autoria Própria (2024).

Verificação da cortante na seção 4:

$$Vsd_4 = (28,11 + 25,19) \times 1,4 = \mathbf{74,62kN/m}$$

Momento fletor na seção 4:

$$Ms_4 = 28,11 \times \frac{3,28}{3} + 25,19 \times \frac{3,28}{2} = \mathbf{57,44kN/m}$$

Cálculo da área de aço:

$$d = e - 4 \quad d = 36 - 4 \quad d = 32 \text{ cm}$$

$$K_6 = 10^5 \times \frac{0,82 \times 0,32^2}{57,44} = \mathbf{146,18}$$

Se $K_6 = 146,18$, $K_3 = 0,334$

$$As_4 = \frac{0,334}{10} \times \frac{57,44}{0,32} = \mathbf{5,99cm^2/m}$$

Área de aço mínima:

$$As_{min} = \frac{0,15}{100} \times 82 \times 36 = \mathbf{4,43 \text{ cm}^2/m}$$

Verificação de armadura cortante:

$$K = 1,6 - d \quad K = 1,6 - 0,36 \quad K = 1,24 \text{ m} > 1\text{m}$$

$$\rho_4 = \frac{5,99}{82 \times 36} = \mathbf{2,03 \times 10^{-3}}$$

$$\begin{aligned} Vrd_4 &= (320,62 \times 1,24 \times (1,20 + 40 \times (2,03 \times 10^{-3}))) \times 0,82 \times 0,36 \\ &= \mathbf{150,36kN/m} \end{aligned}$$

$Vrd_4 = 150,36 \text{ kN/m} > 74,62 \text{ kN/m}$; não é preciso armar força cortante.

Seção 5:

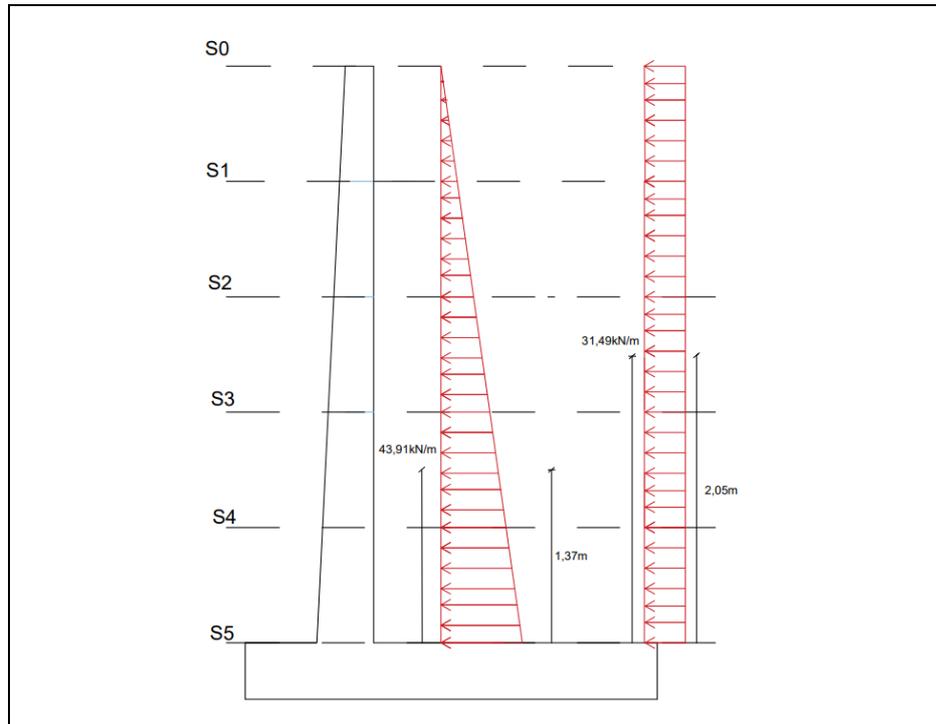
Empuxo na seção 5:

$$pa_5 = 0,3073 \times 17 \times 4,10 = \mathbf{21,42kN/m^2}$$

$$Ea_5 = 21,42 \times \frac{4,10}{2} = \mathbf{43,91kN/m}$$

$$Eq_5 = 7,68 \times 4,10 = \mathbf{31,49kN/m}$$

Figura 10 – Representação dos esforços atuantes do muro de arrimo seção 5



Fonte: Autoria Própria (2024)

Verificação da cortante na seção 4:

$$Vsd_5 = (43,91 + 31,49) \times 1,4 = \mathbf{105,56kN/m}$$

Momento fletor na seção 4:

$$Ms_5 = 43,91 \times \frac{4,10}{3} + 31,49 \times \frac{4,10}{2} = \mathbf{124,56kN/m}$$

Cálculo da área de aço:

$$d = e - 4 \quad d = 40 - 4 \quad d = 36 \text{ cm}$$

$$K_6 = 10^5 \times \frac{0,82 \times 0,36^2}{124,56} = \mathbf{85,32}$$

Se $K_6 = 85,32$, $K_3 = 0,343$

$$As_5 = \frac{0,343}{10} \times \frac{124,56}{0,36} = \mathbf{11,87cm^2/m}$$

Área de aço mínima:

$$As_{min} = \frac{0,15}{100} \times 82 \times 40 = \mathbf{4,92cm^2/m}$$

Verificação de armadura cortante:

$$K = 1,6 - d \quad K = 1,6 - 0,40 \quad K = 1,20 \text{ m} > 1 \text{ m}$$

$$\rho_5 = \frac{11,87}{82 \times 40} = 3,62 \times 10^{-3}$$

$$Vrd_5 = (320,62 \times 1,20 \times (1,20 + 40 \times (3,62 \times 10^{-3}))) \times 0,82 \times 0,40 \\ = 169,71 \text{ kN/m}$$

$Vrd_5 = 169,71 \text{ kN/m} > 105,56 \text{ kN/m}$; não é preciso armar força cortante.

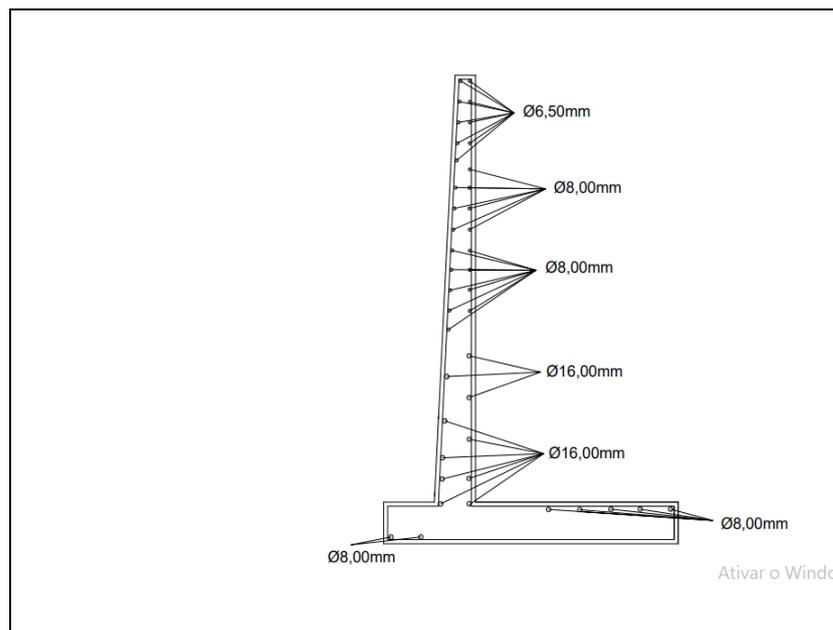
CONCLUSÕES

Consultando a Tabela mãe (Marchetti,2007), encontra-se as bitolas e a quantidade de armaduras necessárias para cada área de aço, respeitando o espaçamento.

Tabela 4 – Diâmetro dos Estribos

Área de aço	Bitolas
$As_1 = 2,88 \text{ cm}^2/\text{m}$	9Ø6,50mm
$As_2 = 3,44 \text{ cm}^2/\text{m}$	7Ø8,00mm
$As_3 = 4,28 \text{ cm}^2/\text{m}$	9Ø8,00mm
$As_4 = 5,99 \text{ cm}^2/\text{m}$	3Ø16,00mm
$As_5 = 11,87 \text{ cm}^2/\text{m}$	7Ø16,00mm

Figura 11 – disposição das armaduras no muro



Fonte: Autoria Própria (2024)

Com base nos cálculos realizados para o dimensionamento do muro de arrimo à flexão em concreto armado, o projeto demonstrou que o muro proposto atende aos critérios de estabilidade, resistência e segurança exigidos. A verificação dos empuxos, momentos fletores, esforços cortantes e áreas de armadura foi realizada com precisão, garantindo que o muro seja capaz de suportar os empuxos de terra e sobrecargas atuantes sem risco de tombamento, escorregamento ou falhas estruturais

O projeto foi fundamentado em parâmetros teóricos e práticos, incluindo o uso de cálculos precisos para determinar os empuxos e o dimensionamento da armadura. No entanto, é essencial enfatizar que, ao aplicar este estudo como referência, devem ser realizados ensaios específicos de acordo com as características particulares de cada terreno e as condições de projeto. Esses ensaios são cruciais para ajustar os parâmetros e garantir que a solução adotada atenda às exigências locais, evitando riscos de falhas estruturais ou de segurança.

REFERÊNCIAS

- BITTENCOURT, Douglas M. A. **Empuxos da terra**. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17430/material/GEO_II_11_Empuxos%20de%20Terra.pdf. Acesso em: 21 mai. 2024.
- GUIMARÃES, Glenda Sheley. **Projeto de muro de flexão para contenção de um terreno**. 07 mar. 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/b914937d-121e-4f1c-b3e0-1f49c07cf3f8/content>. Acesso em: 18 mai. 2024.
- LUDIMILA. **Tipos de muro de arrimo: como escolher?**. Disponível em: <https://www.projetou.com.br/posts/tipos-de-muro-de-arrimo/>. Acesso em: 18 mai. 2024.
- MARCHETTI, O. **Muros de arrimo**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007.
- MOLITERNO, A. **Caderno de muros de arrimo**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1980.
- PINTO, Luiz César de Moraes; COSTA, Rayane Camargo Pereira. **Dimensionamento de muro de arrimo em concreto armado com sapata corrida**. 09 jun. 2020. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/9406/1/6_2020_1%20UIZ%20-%20RAYA%20NE.pdf. Acesso em: 18 mai. 2024.