



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

ANDRÉ MARTINS DOMINGOS

ESTUDO DO MURO DE ARRIMO NA CONTENÇÃO DE TALUDES

**UBÁ/MG
2024**

ANDRÉ MARTINS DOMINGOS

ESTUDO DO MURO DE ARRIMO NA CONTENÇÃO DE TALUDES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FUPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr^a. Érika Maria Carvalho Silva
Gravina

UBÁ/MG
2024

ESTUDO DO MURO DE ARRIMO NA CONTENÇÃO DE TALUDES

RESUMO

Os taludes, naturais ou artificiais, são frequentemente analisados devido ao risco de danos em caso de ruptura. Taludes naturais são formados por processos geológicos, enquanto os artificiais resultam de intervenções humanas, como cortes ou aterros. Sua estabilidade é influenciada por fatores como inclinação, composição do solo, presença de água e vegetação. Esses aspectos tornam imprescindível o monitoramento e a implementação de soluções que minimizem os riscos associados aos movimentos de massa. Uma das principais soluções para estabilizar taludes é o uso de muros de arrimo, que podem ser classificados em muros de gravidade e de flexão. Muros de gravidade baseiam-se no peso próprio para resistir aos esforços atuantes, enquanto os de flexão utilizam armaduras para suportar as tensões. Cada tipo apresenta características, materiais e métodos construtivos específicos, sendo aplicado conforme as condições da obra. Este trabalho, por meio de uma revisão bibliográfica, teve como objetivo, estudar, os tipos de taludes, conhecer sua estrutura e suas falhas de estabilidade, exemplificando os movimentos de massa e os danos que podem causar. Além disso, apresentar uma visão geral dos diferentes tipos de muros de arrimo, analisando suas vantagens, desvantagens e campos de aplicação. A partir dessa análise, buscou-se determinar qual tipo de muro é mais indicado para diferentes tipos de obras oferecendo uma abordagem prática e técnica de suas características. A escolha do sistema mais adequado depende de fatores como a altura do talude, condições do terreno, cargas atuantes, orçamento disponível, materiais acessíveis e necessidade de drenagem.

Palavras-chave: Muro de arrimo. Talude. Drenagem.

STUDY OF THE RETAINING WALL IN THE SLOPE CONTAINMENT

ABSTRACT

Slopes, whether natural or artificial, are frequently analyzed due to the risk of damage in the event of failure. Natural slopes are formed by geological processes, while artificial slopes are the result of human interventions, such as cuts or fills. Their stability is influenced by factors such as slope, soil composition, presence of water and vegetation. These aspects make it essential to monitor and implement solutions that minimize the risks associated with mass movements. One of the main solutions for stabilizing slopes is the use of retaining walls, which can be classified as gravity and flexural walls. Gravity walls rely on their own weight to resist the forces acting on them, while flexural walls use reinforcement to support the tensions. Each type has specific characteristics, materials and construction methods, and is applied according to the conditions of the work. This work, through a bibliographic review, aimed to study the types of slopes, understand their structure and their stability failures, exemplifying mass movements and the damage they can cause. Furthermore, it presents an overview of the different types of retaining walls, analyzing their advantages, disadvantages and fields of application. Based on this analysis, we sought to determine which type of wall is most suitable for different types of works, offering a practical and technical approach to their characteristics. The choice of the most appropriate system depends on factors such as slope height, terrain conditions, acting loads, available budget, accessible materials and drainage needs.

Keywords: Retaining wall. Slope. Drainage.

1 INTRODUÇÃO

Talude refere-se a qualquer superfície inclinada de um maciço formado por solo ou rocha. Podendo ser de origem natural, conhecido como uma encosta, ou artificial, resultante de intervenções humanas, como no caso dos aterros e cortes. A estabilidade de taludes é uma preocupação fundamental na engenharia geotécnica, pois envolve o equilíbrio entre forças naturais e estruturais que podem influenciar a segurança de encostas e construções (GERSCOVICH, 2016).

A ruptura em taludes é caracterizada pela formação de uma superfície contínua de cisalhamento dentro da massa de solo. Durante o processo de ruptura, há uma camada de solo ao redor dessa superfície que perde suas características originais, dando origem à chamada zona cisalhada. Esse processo ocorre em duas etapas principais: primeiro, forma-se a zona cisalhada, que sofre deformação intensa, e, em seguida, desenvolve-se a superfície de cisalhamento propriamente dita, onde se concentra o deslizamento (GERSCOVICH, 2016).

Nesse sentido, as estruturas de contenção de solos por gravidade representam uma das soluções mais antigas e econômicas para estabilização de encostas e taludes, sendo amplamente empregadas por não requererem mão de obra especializada. Chamadas assim por utilizarem o peso próprio para assegurar a estabilidade, essas estruturas são volumosas e robustas e projetadas para resistir às tensões horizontais que resultam tanto do peso do solo quanto de cargas externas adicionais (ANDRADE, 2021).

Do mesmo modo, os muros de arrimo são estruturas de contenção com parede vertical ou quase vertical, apoiadas em fundações rasas ou profundas cuja função de suporte é garantida pelo peso próprio da estrutura. Eles podem ser construídos com seção maciça, sendo então chamados de muros de peso ou gravidade, ou com seção mais fina, caracterizando-se como muros de flexão. Os muros de flexão necessitam de reforço com armaduras para resistirem aos momentos gerados pelo empuxo do solo e podem incluir elementos adicionais, como contrafortes ou tirantes, para reforço estrutural (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019).

Nesse panorama, diversos materiais são empregados na construção de muros de arrimo, como alvenaria (tijolos ou pedras), concreto, sacos de solo-cimento, gabiões e até pneus, dependendo das especificidades do projeto e do terreno. A escolha do tipo mais adequado para uma determinada obra depende de diversos fatores, como, a altura do talude, a carga aplicada e as condições ambientais (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019).

Dessa forma, o presente trabalho toma por objetivo, a partir de uma revisão bibliográfica, analisar os tipos de taludes, bem como conhecer sua estrutura e suas falhas de estabilidade, exemplificando os movimentos de massa e os danos que podem causar. Ademais, pretende-se apresentar uma visão geral dos diferentes tipos de muros de arrimo, analisando suas vantagens, desvantagens e campos de aplicação. A partir desse estudo, busca-se determinar qual tipo de muro é mais indicado para diferentes tipos de obras oferecendo uma abordagem prática e técnica de suas características.

Nesse sentido, o estudo dos tipos de muro de arrimo justifica-se para o conhecimento de suas características uma vez que permite ao engenheiro escolher a solução de contenção mais adequada para cada situação específica. Dessa forma, levando em consideração, a altura do talude, a carga solicitante, o custo e a durabilidade da estrutura, contribuindo para a economia de recursos e o desenvolvimento de soluções e aplicando materiais e métodos que garantam eficiência estrutural e segurança a longo prazo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Talude

Gerscovich (2016) define que, talude é o termo usado para designar qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha. Esse pode ser natural, sendo chamado de encosta, ou construído pelo homem, como é o caso de aterros e cortes.

2.1.1 Tipos de talude

2.1.1.1 Taludes naturais

Os taludes naturais, quanto à sua formação, podem ser classificados como taludes de solo residual, que permanecem no local onde o solo foi formado, ou como taludes coluvionares, formados por solos transportados por agentes externos, como a gravidade. Além disso, também podem ser constituídos por rochas (STEIN, 2021).

Os taludes naturais estão constantemente sujeitos a problemas de instabilidade, já que a força gravitacional atua de forma contínua favorecendo o desencadeamento de movimentos. Por isso, é comum observar encostas que se mantiveram estáveis por muitos anos começarem a sofrer movimentações. Isso acontece quando outros fatores alteram o estado de tensões na massa do solo, gerando tensões cisalhantes que se equiparam à resistência ao cisalhamento do solo, levando à instabilidade (GERSCOVICH, 2016).

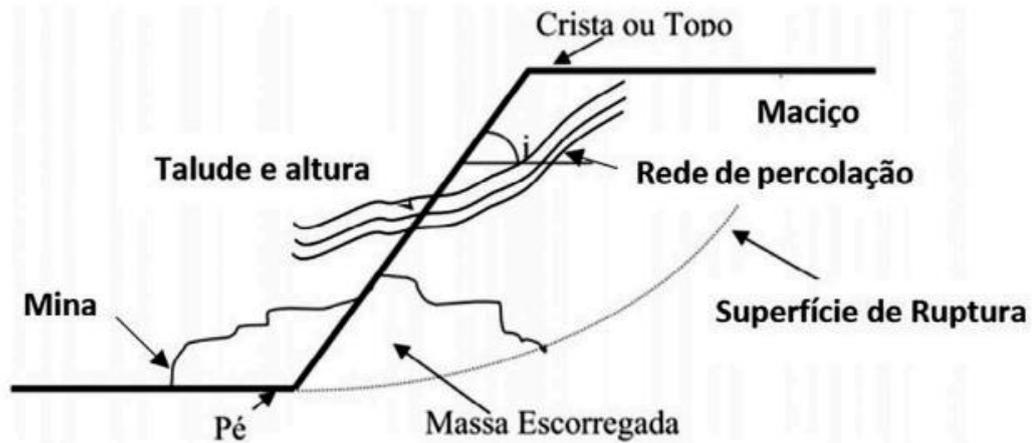
2.1.1.2 Taludes artificiais / construídos

Os taludes artificiais são formados em situações como cortes em encostas, construção de barragens ou execução de aterros. A estabilidade dessas estruturas só é assegurada quando os cortes são feitos com a altura e inclinação apropriadas, conforme os critérios de segurança e análise do solo (STEIN, 2021).

2.1.2 Propriedades dos taludes

Os taludes são constituídos por diferentes elementos, os quais são demonstrados a seguir (QUADRO 1) e apresentados na FIG. 1.

Figura 1 – Detalhes de taludes



Fonte: Stein (2021, p.14)

Quadro 1 – Elementos de um talude

NOME	DESCRIÇÃO
Crista (ou topo)	Trecho mais alta do talude.
Pé	Trecho mais baixo do talude.
Altura do talude (H)	Diferença de cota entre o pé e a crista.
Ângulo de inclinação (i)	Ângulo formado entre a horizontal e a reta média entre o pé e a crista.
Maciço ou corpo	Parte interna do talude, cuja constituição é estudada por engenheiros e geólogos no que diz respeito ao tipo de material (rocha, argila, areia, silte etc.) e às suas propriedades (limite de plasticidade, coesão etc.).
Rede de percolação	Trajectoria que a água percorre no maciço do talude. Essa rede é constituída de infiltrações de água próximas do talude e distantes (até muitos quilômetros) da estrutura.
Mina (ou bica)	Afloramento de água do talude. A água infiltra no terreno, percola o maciço e aflora na superfície, geralmente no pé do talude.

Fonte: Stein (2021, p.14). Adaptado pelo autor

2.2 Movimento de massa

Os movimentos de massa geram instabilidades no terreno, tornando essencial a aplicação de técnicas adequadas para sua contenção. Esses movimentos geralmente decorrem de inconsistências no solo, exigindo métodos específicos para estabilização e controle. As técnicas de estabilização, portanto, são intervenções destinadas a terrenos ou taludes que apresentam vulnerabilidades, fragilidades ou irregularidades. Nesse sentido, os muros de arrimo são utilizados através de medidas de estabilização que são divididas em proteção, correção e reforços (ESTEVES, 2018).

Nessa esteira, encontra-se o termo movimento de massa, o qual se refere ao deslocamento de um volume específico de solo. Geralmente, a literatura aborda esses movimentos como processos ligados a problemas de instabilidade em encostas. Em áreas urbanas, os movimentos de massa podem gerar graves impactos à sociedade resultando em danos materiais significativos e, em alguns casos, colocando vidas humanas em risco (GERSCOVICH, 2016).

Assim, existem várias propostas para a classificação dos movimentos de massa, sendo a mais amplamente adotada internacionalmente a que os subdivide em: queda, escorregamento, rastejo ou fluência, corrida (GERSCOVICH, 2016).

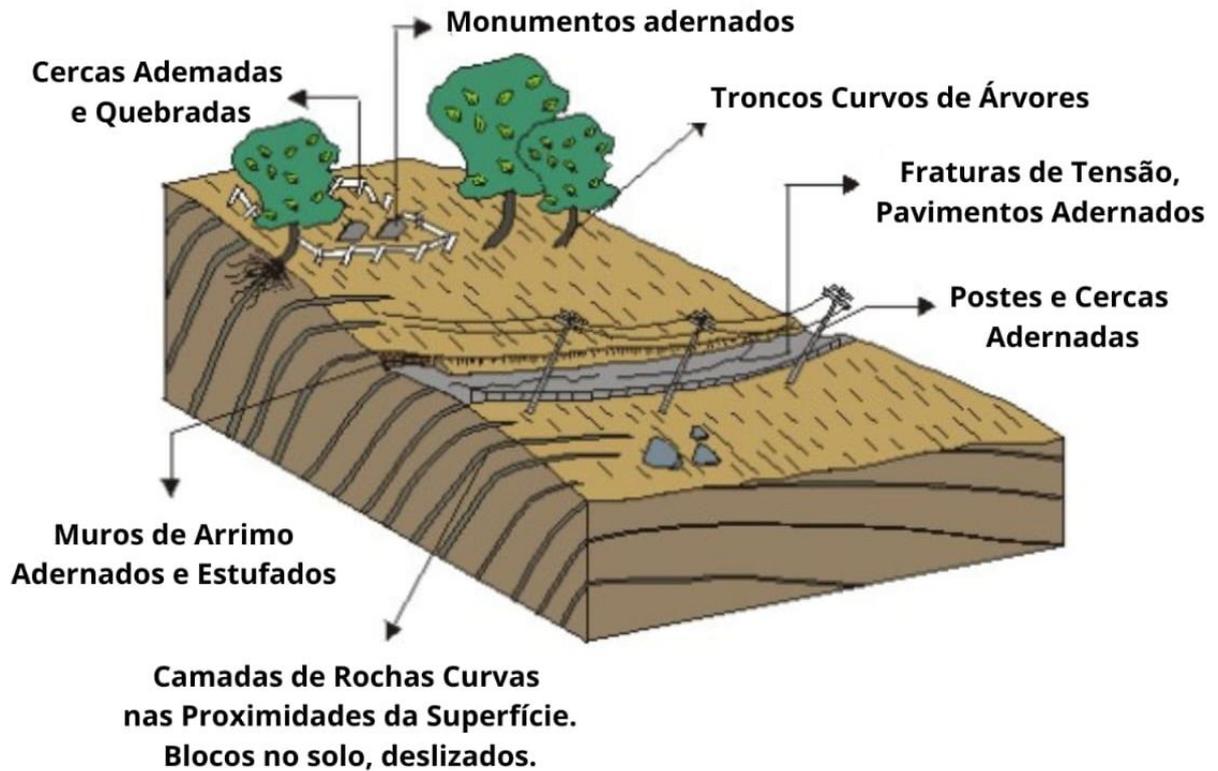
2.2.1 Rastejo ou fluência

Os rastejos, também conhecidos como fluência, são movimentos lentos e contínuos de massa que não apresentam uma superfície de ruptura bem definida. Esses movimentos podem afetar grandes áreas sem que haja uma distinção clara entre as regiões em movimento e as que permanecem estáveis. As principais causas desses deslocamentos são a ação da gravidade combinada com os efeitos da variação de temperatura e umidade no solo (GERSCOVICH, 2016).

Durante o processo de rastejo, o deslocamento ocorre sob um estado de tensões inferior à resistência ao cisalhamento do solo. Contudo, se houver uma alteração no estado de tensões que resulte na superação dessa resistência, o movimento da massa pode evoluir para um escorregamento, cuja caracterização é uma superfície de ruptura bem definida. Dessa forma, na superfície, os sinais de rastejo podem ser identificados por meio da observação de deslocamentos em eixos de estrada, blocos, postes ou cercas, assim como por alterações na

verticalidade de árvores e postes (GERSCOVICH, 2016). É possível observar na FIG. 2 como acontece o rastejo.

Figura 2 – Rastejo de talude



Fonte: Reis (2021, p.53). Adaptado pelo autor

2.2.2 Escorregamento

O escorregamento caracteriza-se pelo deslocamento de uma massa de solo ou rocha em declive ao longo de superfícies de ruptura ou em zonas finas de grande deformação por cisalhamento. Esse movimento inicial não ocorre de forma uniforme em toda a extensão da futura superfície de ruptura uma vez que o volume do material deslocado tende a expandir-se, partindo de uma área específica onde se iniciou a ruptura (HIGHLAND, 2008).

2.2.2.1 Escorregamento rotacional

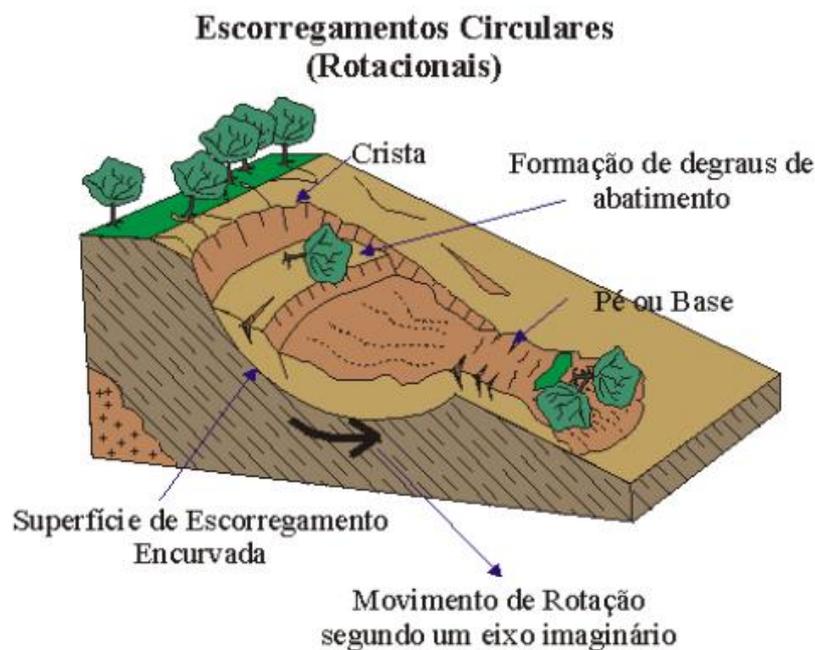
Esse tipo de deslizamento ocorre quando a superfície de ruptura é curvada para cima, resultando em um movimento de rotação ao longo de um eixo paralelo ao contorno do talude. Nessa situação, a massa deslocada pode, em certos casos, mover-se de forma relativamente coesa ao longo da superfície de ruptura, com pouca deformação interna. A parte superior do

material tende a se mover quase verticalmente para baixo, enquanto o topo da massa inclinada se volta para trás, em direção ao talude (GERSCOVICH, 2016).

O escorregamento rotacional é frequentemente observado em aterros devido à sua ocorrência comum em materiais homogêneos¹. Esse tipo de movimento é típico em taludes com inclinação entre 20 e 40 graus. A velocidade de deslocamento nesse tipo de escorregamento pode variar amplamente, sendo extremamente vagarosa ou até mesmo moderadamente rápida, dependendo das características do solo e das condições do talude (HIGHLAND, 2008).

A partir da FIG. 3 é possível observar o escorregamento no formato rotacional.

Figura 3 – Escorregamento rotacional



2.2.2.2 Escorregamento translacional

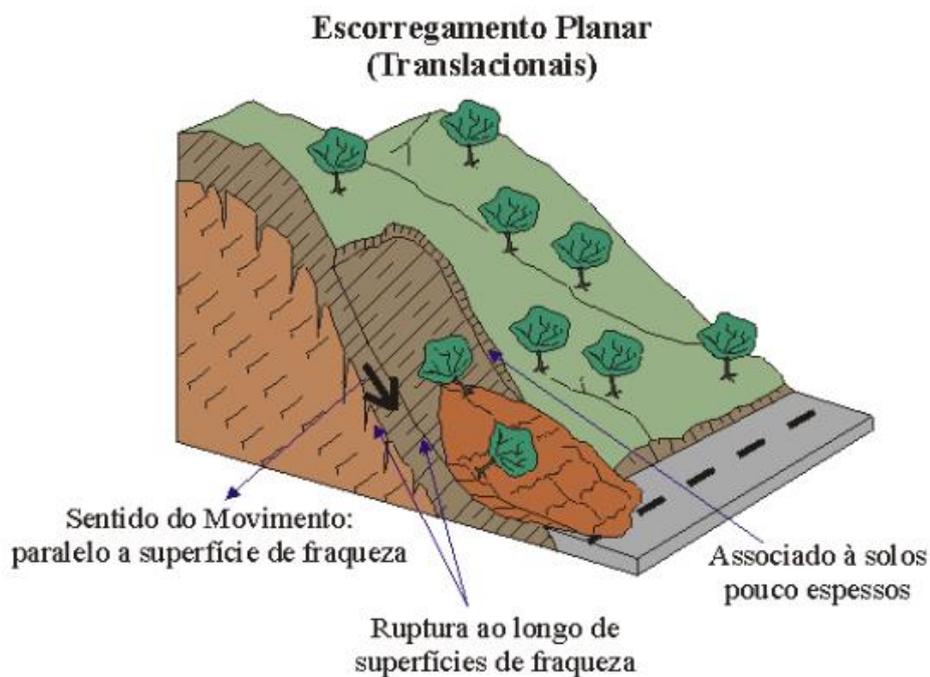
Em um escorregamento translacional, a massa desloca-se para fora ou para baixo e também para fora ao longo de uma superfície praticamente plana, apresentando pouco movimento rotacional ou inclinação para trás. Esse tipo de deslizamento pode estender-se por grandes distâncias, desde que a superfície de ruptura possua uma inclinação adequada diferindo dos escorregamentos rotacionais que tendem a estabilizar o movimento. Os

¹ Materiais homogêneos são aqueles que apresentam propriedades uniformes em toda a sua extensão, sem variações significativas na composição ou características.

escorregamentos translacionais ocorrem frequentemente ao longo de discontinuidades geológicas, como falhas, junções, superfícies de estratificação ou na interface entre rocha e solo (HIGHLAND, 2008).

Os escorregamentos translacionais são um dos tipos mais comuns de deslizamentos de massa, ocorrendo em diversos ambientes e sob variadas condições. Em geral, esses escorregamentos são mais rasos em comparação aos rotacionais. A superfície de ruptura pode variar de dimensões reduzidas, como o tamanho de um lote residencial, até grandes extensões regionais que se estendem por quilômetros. A velocidade de deslocamento dos escorregamentos translacionais pode começar de forma vagarosa, mas muitos casos podem apresentar velocidades moderadas à medida que o movimento avança (HIGHLAND, 2008). A partir da FIG. 4 é possível observar o escorregamento no formato translacional.

Figura 4 – Escorregamento translacional



Fonte: Reis (2021, p.55)

2.2.3 Quedas

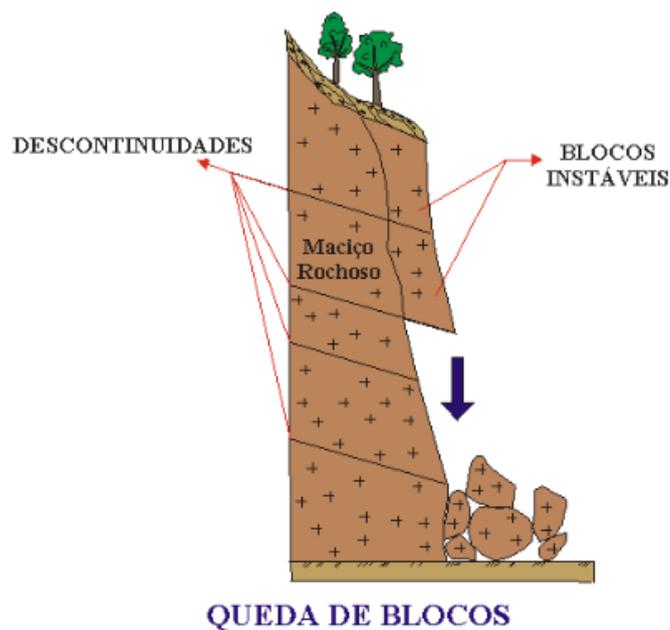
A queda ocorre quando o solo, a rocha, ou ambos se desprendem de um talude íngreme ao longo de uma superfície onde houve pouco ou nenhum deslizamento por cisalhamento. O material em queda normalmente colide com partes inferiores do talude em um ângulo menor do que o de descida, resultando em impactos que podem gerar saltos. Em

terrenos mais inclinados, é possível iniciar um rolamento que pode continuar até alcançar as cotas mais baixas do relevo (HIGHLAND, 2008).

Os mecanismos que desencadeiam esses movimentos incluem a erosão regressiva do talude, que pode ocorrer devido a processos naturais, intervenções humanas, como escavações para construção e manutenção de estradas, e eventos de grande intensidade, como terremotos ou outras vibrações significativas. Esse processo pode variar em velocidade, sendo muitas vezes muito rápido ou extremamente rápido cuja a massa cai em queda livre, saltando e rolando ao longo do declive. A velocidade do movimento é diretamente influenciada pela inclinação do talude, resultando em deslocamentos intensos da porção de solo ou rocha que se desprende (HIGHLAND, 2008).

Na FIG. 5 observa-se o exemplo ilustrado das discontinuidades que podem ocasionar queda de blocos.

Figura 5 – Queda de blocos



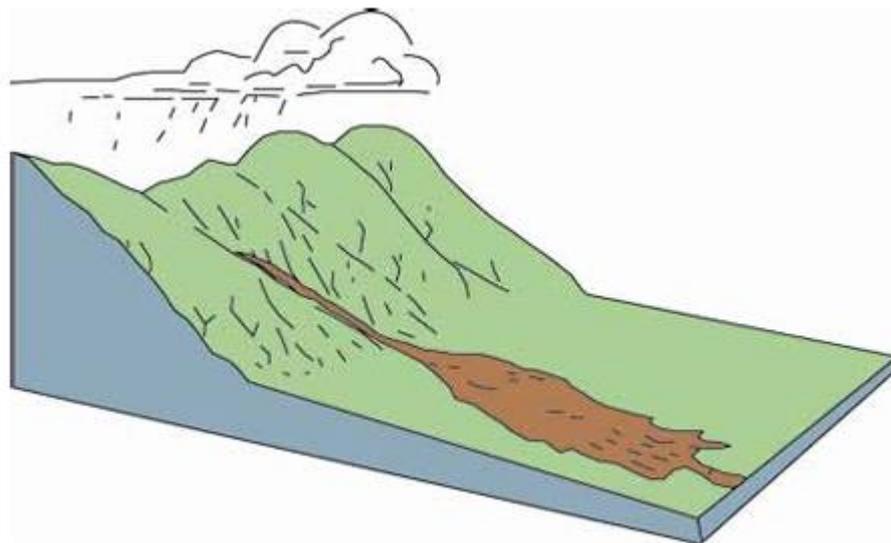
Fonte: Reis (2021, p.56)

2.2.4 Corrida

As corridas são movimentos de alta velocidade (≥ 10 km/h) provocados pela perda total das propriedades de resistência do solo. Nessa situação, a massa de solo adquire comportamento semelhante ao de um fluido, com deslocamentos que podem percorrer grandes distâncias, como mostrado a seguir na FIG. 6 (GERSCOVICH, 2016).

Entre as suas causas, a mais comum encontrada é a presença de água em excesso, especialmente em períodos de intensa precipitação. Esses eventos aumentam a saturação dos solos, reduzindo a resistência e favorecendo o comportamento fluido da massa de solo. Dessa forma, a corrida, três elementos principais são distinguidos: a região de montante, chamada de raiz, a qual concentra o material que será deslocado; a parte central, de formato alongado, conhecida como corpo e representa a porção ativa de movimento; a base, ou área de acumulação, região onde o material transportado se deposita (HIGHLAND, 2008).

Figura 6 – Corrida de massa.



Fonte: Highland (2008, p.24)

No QUADRO 2 pode-se observar um resumo dos tipos de movimentações e algumas de suas características.

Quadro 2 – Tipos de movimentações

Processos	Características de movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (internos); Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida;

Fonte: Gerscovich (2016, p.27).

Continuação do Quadro 2

Escorregamento	<p>Poucos planos de deslocamento (externos);</p> <p>Velocidades médias (km/h) a altas (m/s);</p> <p>Pequenos a grandes volumes de material;</p> <p>Geometria e materiais variáveis;</p> <p>Planares — solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;</p> <p>Circulares — solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;</p> <p>Em cunha — solos e rochas com dois planos de fraqueza.</p>
Queda	<p>Sem planos de deslocamentos;</p> <p>Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado;</p> <p>Velocidades muito altas (vários m/s);</p> <p>Material rochoso;</p> <p>Pequenos e médios volumes;</p> <p>Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.;</p> <p>Rolamento e mutação;</p> <p>Tombamento.</p>
Corrida de massa	<p>Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação);</p> <p>Movimento semelhante ao de um líquido viscoso;</p> <p>Desenvolvimento ao longo das drenagens;</p> <p>Velocidades médias a altas;</p> <p>Mobilização de solo, rocha, detritos e água;</p> <p>Grandes volumes de material;</p> <p>Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planares;</p>

Fonte: Gerscovich (2016, p.27).

2.3 Muros de arrimo

Muros de arrimo são estruturas de contenção que possuem uma parede vertical ou quase vertical, sustentadas por uma fundação, podendo ser rasa ou profunda. A contenção do terrapleno é realizada por meio do peso próprio da estrutura. Os muros podem ser projetados

em seção plena, conhecidos como muros de peso ou de gravidade, ou em seção mais esbelta, chamados de muros à flexão. Os muros à flexão requerem a inclusão de armaduras para suportar os momentos gerados pelo empuxo do solo e podem ser projetados com ou sem contrafortes e/ou tirantes. Os muros de arrimo podem ser construídos utilizando diversos materiais, incluindo alvenaria (tijolos ou pedras), concreto, sacos de solo-cimento, gabiões, pneus, entre outros. (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019).

2.3.1 Empuxo de terra

As estruturas de contenção, como muros de arrimo, paredes de subsolo e cortinas, são elementos comuns em projetos de engenharia de fundações. O processo de planejamento e execução dessas estruturas exige um conhecimento detalhado das forças laterais que atuam entre a estrutura de contenção e o solo retido. Essas forças laterais são geradas pelo empuxo da terra, cujas características, como magnitude e distribuição, variam conforme a resistência ao cisalhamento do solo retido, a inclinação do aterro, as dimensões e o ângulo de inclinação do muro de arrimo, o tipo de movimento do muro frente ao empuxo lateral e o ângulo de adesão na interface entre a parede e o aterro (DAS, 2019).

2.3.1.1 Empuxo no repouso

O empuxo no repouso é definido pelas tensões horizontais que atuam sobre uma estrutura de contenção em uma condição de repouso, ou seja, quando o solo não está em movimento. O empuxo é dado pelo produto do coeficiente de empuxo lateral no repouso (k_0) e a tensão efetiva² vertical, acrescida da parcela de poropressão³. O coeficiente de empuxo lateral no repouso (k_0) é influenciado por vários parâmetros, como o ângulo de atrito, o índice de vazios, a razão de pré-adensamento entre outros fatores (GEO-RIO, 2014).

A determinação do valor de k_0 pode ser realizada por diferentes métodos como ensaios laboratoriais e de campo, baseados na teoria da elasticidade ou por meio de correlações empíricas. Esses métodos ajudam a compreender melhor o comportamento do solo sob diferentes condições, permitindo o dimensionamento adequado das estruturas de contenção em função do empuxo lateral atuante (GERSCOVICH, 2010).

² Tensão efetiva (σ') é a parcela da tensão total no solo que é suportada pelos grãos sólidos, definida como $\sigma' = \sigma - \mu$, onde σ é a tensão total e μ é a poropressão.

³ Poropressão é a pressão exercida pela água presente nos poros do solo.

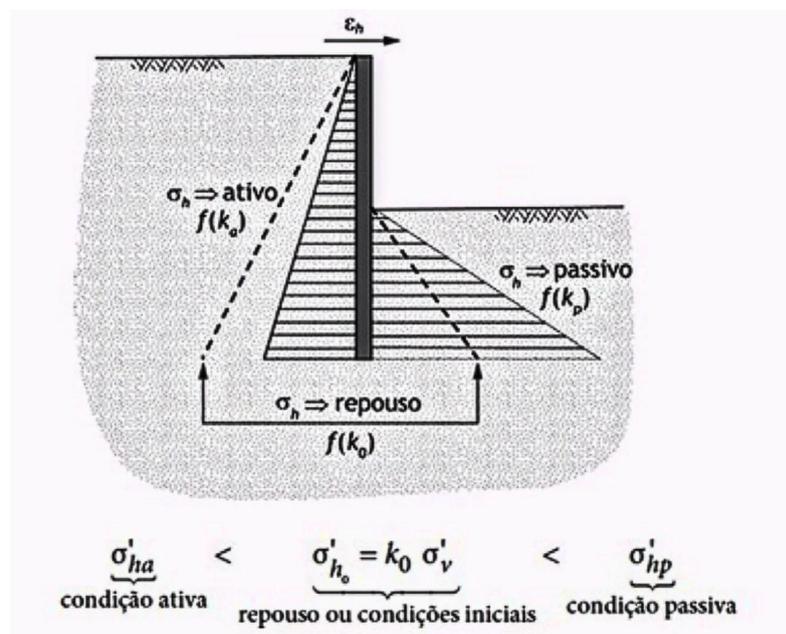
2.3.1.2 Empuxo ativo x passivo

Nos problemas de fundações, a interação das estruturas com o solo envolve a transmissão de forças, predominantemente verticais. Essas interações podem ser divididas em duas categorias principais, sendo a primeira ocorrendo quando uma estrutura é projetada para suportar um maciço de solo. Nesse caso, as forças que o solo exerce sobre a estrutura são de natureza ativa, ou seja, o solo "empurra" a estrutura, que reage a essa força tendendo a se afastar do maciço de solo (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019).

Na segunda categoria, a situação é inversa, é a estrutura que empurra contra o solo. A força exercida pela estrutura sobre o solo é de natureza passiva. Um exemplo típico dessa interação ocorre em fundações que transmitem ao maciço forças com uma componente horizontal significativa (GERSCOVICH, 2010).

Em algumas obras, a interação solo-estrutura pode envolver simultaneamente essas duas categorias, com o solo à esquerda da cortina de contenção tendo seu estado de tensões horizontais aliviado (estado ativo), enquanto, no lado direito, a magnitude das tensões é aumentada (estado passivo). Devido às deformações naturais das estruturas, os empuxos variam em função dos deslocamentos, o que altera o comportamento do solo e da estrutura ao longo do tempo (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019). A FIG. 7 demonstra os empuxos e suas posições sobre um muro.

Figura 7 – Demonstração dos empuxos



Fonte: Gerscovich, Danziger e Saramago (2019, p.18)

2.3.2 Tipos de muro

2.3.2.1 Gabiões

Os gabiões são estruturas modulares compostas por telas metálicas com malha hexagonal de dupla torção, que são preenchidas com pedras de granulometria adequada e costuradas entre si. A montagem e o enchimento dos gabiões podem ser realizados tanto manualmente quanto com o auxílio de equipamentos mecânicos comuns (BARROS, 2014).

A FIG. 8 apresenta as pedras arranjadas sob a tela, em um muro de gabião.

Figura 8 – Muro de gabião



Fonte: Geo-Rio (2014, p.32)

A malha metálica utilizada nos gabiões deve apresentar características específicas para garantir sua eficácia e durabilidade, tal como elevada resistência mecânica, alta resistência à corrosão, boa flexibilidade e resistência ao desfiamento. As estruturas de gabiões podem se adaptar aos movimentos e acomodações do terreno, sem comprometer sua estabilidade ou eficiência. Esse tipo de estrutura se destaca por dispensar fundações profundas, o que é uma grande vantagem, especialmente em solos com baixa capacidade de suporte. Uma outra característica importante dos gabiões é a sua total permeabilidade, o que os torna autodrenantes e alivia completamente o empuxo hidrostático sobre a estrutura (BARROS, 2014).

A construção de gabiões é bastante simples e de baixo custo, pois utiliza materiais secos como telas metálicas, pedras e tábuas (para gabaritos). A mão-de-obra necessária é

basicamente formada por serventes (ajudantes gerais), coordenados por mestres-de-obras. Além disso, a simplicidade e flexibilidade do processo permitem a construção de gabiões sob diversas condições ambientais, tanto com ou sem o uso de equipamentos mecânicos, e em locais de difícil acesso (BARROS, 2014).

As dimensões típicas dessas estruturas são de 2 m de comprimento e uma seção transversal quadrada com 1 m de aresta. Em muros de maior altura, é recomendável posicionar gabiões mais baixos, com altura de 0,5 m, nas camadas inferiores, onde as tensões de compressão são maiores, aumentando assim a rigidez e a resistência da estrutura. Em muros extensos, é possível utilizar gabiões de até 4 metros de comprimento para otimizar o processo de construção e reduzir o tempo de execução (GEO-RIO, 2014).

2.3.2.2 Alvenaria de pedra

Nos muros de pedras arrumadas manualmente, a resistência da estrutura é proporcionada exclusivamente pelo embrocamento dos blocos como demonstrará a FIG. 9. Esse tipo de muro apresenta vantagens como simplicidade de construção e a ausência da necessidade de dispositivos de drenagem, devido à natureza drenante do material. Além disso, seu custo é reduzido, especialmente quando as pedras estão disponíveis no local. A estabilidade interna do muro exige que os blocos possuam dimensões relativamente regulares, o que pode resultar em um atrito menor entre as pedras (GEO-RIO, 2014).

Figura 9 – Muro de alvenaria de pedra



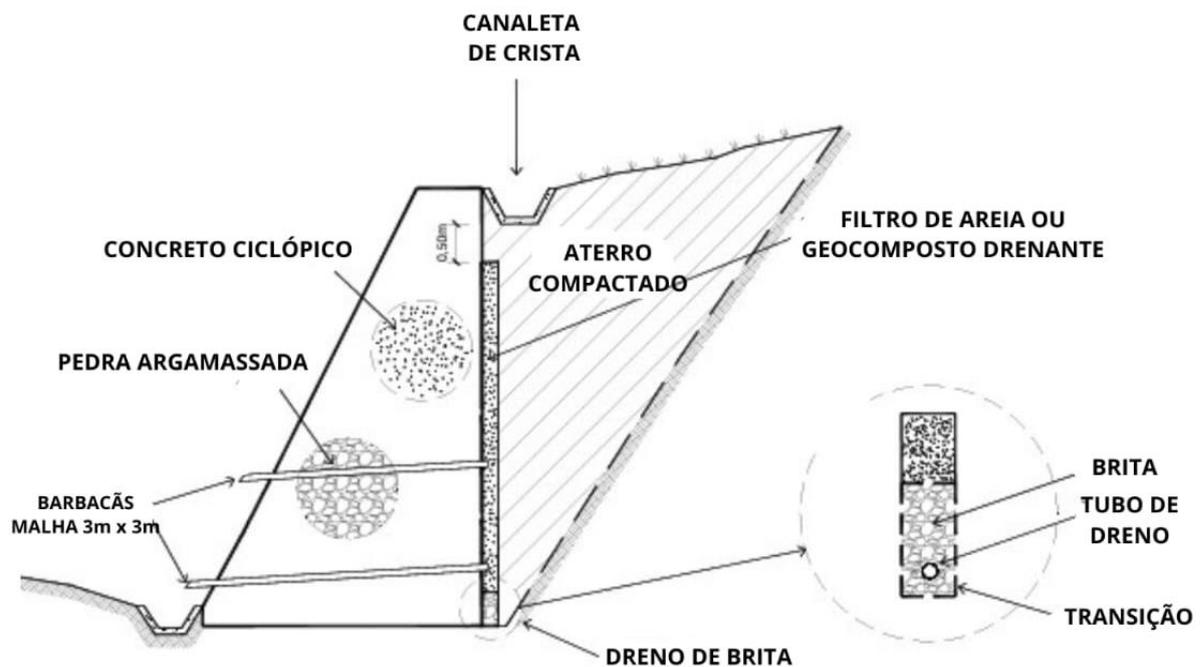
Fonte: Gerscovich, Danziger e Saramago (2019, p. 254)

Nesse sentido, torna-se importante ressaltar que muros de pedra sem argamassa são recomendados apenas para contenção de taludes com alturas de até 2 metros. Para garantir a estabilidade, a base do muro deve ter uma largura mínima de 0,5 a 1,0 metro e ser construída

em uma cota inferior à superfície do terreno, reduzindo o risco de ruptura por deslizamento na interface entre o muro e a fundação (GERSCOVICH, 2010).

Entretanto, para taludes mais altos, com cerca de 3 metros, é necessário o uso de argamassa de cimento e areia para preencher os vazios entre os blocos de pedras. Esse preenchimento aumenta a rigidez do muro, permitindo o uso de blocos com dimensões variadas. A argamassa torna o muro impermeável, eliminando sua capacidade drenante. Assim, é indispensável a instalação de dispositivos de drenagem, como drenos de areia e tubos barbacãs⁴, para aliviar as poropressões na estrutura de contenção (GEO-RIO, 2014). Na FIG. 10 é possível observar um modelo de sistema de drenagem que pode ser usado no caso do muro de pedra com argamassa e concreto ciclópico.

Figura 10 – Demonstração dos drenos do muro.



Fonte: DER-SP (2005, p.24). Adaptado pelo autor

2.3.2.3 Concreto ciclópico

Muros de concreto ciclópico são estruturas de contenção construídas com a técnica de preenchimento de uma forma com concreto e blocos de rocha de tamanhos variados. Esses muros geralmente possuem uma seção transversal trapezoidal onde a largura da base corresponde a cerca de 50% da altura total da estrutura. Para muros com face frontal plana e

⁴ Barbacã é um tubo ou abertura inserido em muros de arrimo para facilitar a drenagem.

vertical, recomenda-se uma inclinação leve para trás de aproximadamente de 1:30 (cerca de 2 graus em relação à vertical) direcionada para o reaterro. Essa inclinação previne a impressão ótica de que o muro está inclinado para frente, o que poderia transmitir uma sensação de instabilidade (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019). Na FIG. 11 observa-se o muro de concreto ciclópico com dreno de areia e barbacã.

Figura 11 – Muro de concreto ciclópico



Fonte: Gerscovich (2010, p.4). Adaptado pelo autor

2.3.2.4 Crib walls

O sistema crib-walls são peças de concreto armado que se encaixam entre si e formam uma estrutura semelhante a uma "gaiola" ou "caixa". O interior dessa estrutura é preenchido com materiais como terra, blocos de rocha, seixos de grandes dimensões ou entulho. Esse preenchimento confere à estrutura o peso necessário para sua função como muro de gravidade, enquanto as peças de concreto armado fornecem a resistência estrutural e garantem a manutenção de sua forma geométrica (CARVALHO, 1991).

A construção de crib-walls exige tanto o preenchimento interno quanto o reaterro na parte posterior, o que os torna particularmente adequados para obras viárias especialmente na contenção de aterros em encostas. Sua configuração garante boa drenagem natural e alta resistência a recalques e movimentações (GERSCOVICH, 2010).

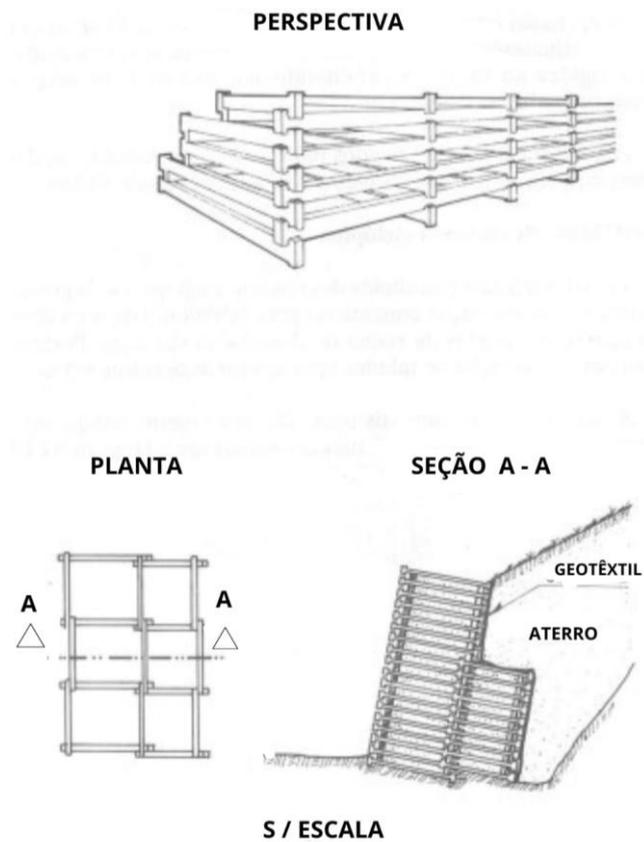
Dessa forma, em alguns casos, essas estruturas atingem alturas de até 20 metros, o que é considerado elevado, mesmo em comparação com muros de concreto armado. Em projetos definitivos, é essencial incorporar um filtro entre o crib-wall e o aterro, como mantas geotêxteis, para proteger a estrutura e melhorar sua eficiência a longo prazo (CARVALHO, 1991). A FIG. 12 e a FIG. 13 ilustraram a montagem e o muro pronto.

Figura 12 – Muro Crib-Wall



Fonte: Andrade (2021, p.217)

Figura 13 – Montagem do Crib-Wall

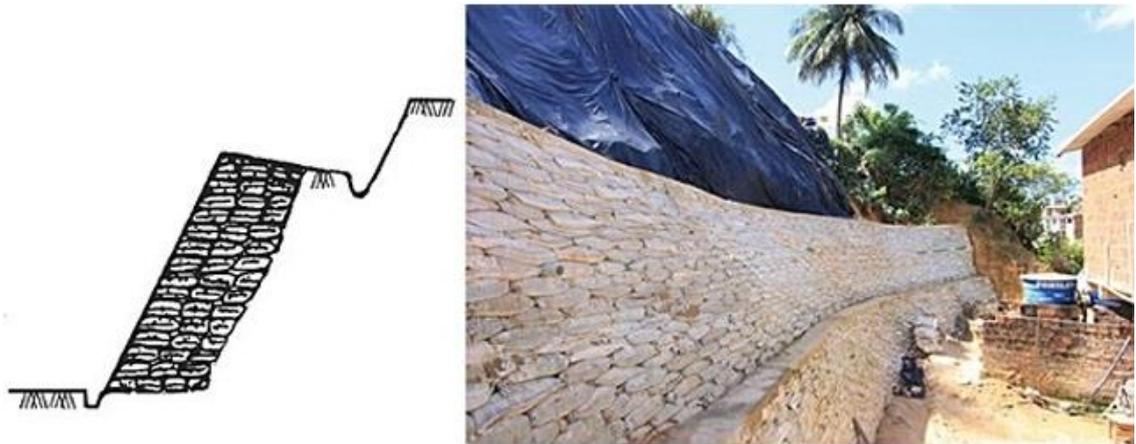


Fonte: Carvalho (1991, p.206). Adaptado pelo autor

2.3.2.5 Solo-cimento ensacado

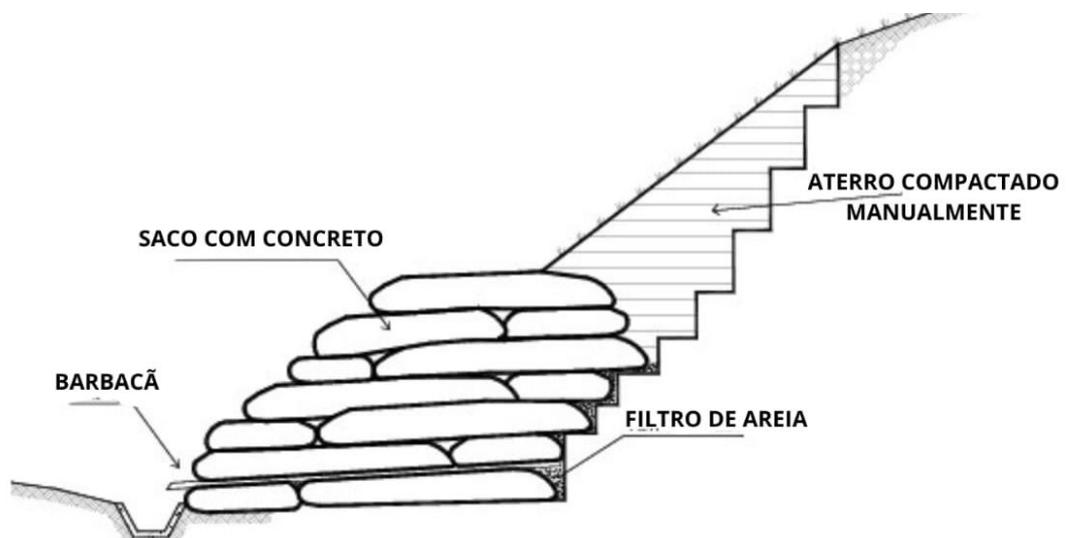
Os muros de solo-cimento consistem em camadas de sacos de poliéster ou materiais semelhantes, preenchidos com uma mistura de cimento e solo em proporção de 1:10 a 1:15 (em volume). O solo é peneirado em malha de 9 mm para remover pedregulhos, depois misturado com cimento e água. Após a homogeneização, a mistura é colocada nos sacos, preenchendo cerca de dois terços do volume, e fechada manualmente. Essa técnica dispensa fôrmas, facilita o transporte e a montagem do muro (GERSCOVICH,2010). Na FIG. 14 apresenta-se a disposição dos sacos de solo-cimento. E, a FIG. 15 apresenta a montagem dos sacos e o seu sistema de drenagem.

Figura 14 – Muro de solo-cimento ensacado



Fonte: Gerscovich, Danziger e Saramago (2019, p.259)

Figura 15 – Montagem do muro de solo-cimento ensacado



Fonte: DER-SP (2005, p.26). Adaptado pelo autor

No local da obra, os sacos são dispostos em camadas horizontais, com cada camada compactada para reduzir os vazios. Os sacos são posicionados de forma desencontrada em relação à camada abaixo, promovendo maior intertravamento e densidade. A compactação geralmente é feita manualmente com soquetes (GERSCOVICH, 2010).

Essa técnica é vantajosa por ser de baixo custo, não requerer mão de obra ou equipamentos especializados e por permitir a construção de muros curvos que se adaptam à topografia. Comparado ao concreto armado, o muro de solo-cimento custa cerca de 60% a menos. Dessa maneira, ensaios em laboratório com solos residuais jovens (com 70 a 90% de areia) indicam que o teor de cimento afeta pouco a compactação, mas aumenta significativamente a rigidez e a resistência com o tempo. Assim, após um mês de cura natural, a resistência à compressão simples pode ser até 100% maior que após sete dias. Para estabilização em contenção de encostas, recomenda-se um teor de cimento entre 7% e 8% do peso do solo. Como pode ser observado no QUADRO 3 (GERSCOVICH, 2010).

Quadro 3 - Resistencia do solo-cimento

C/S (%)	ω (%)	γ_d (kN/m ³)	E (MPa)	σ_r (kPa)
0	14,1	17,2	-	-
5	12,9	17,8	405	1177
7	13,3	18,0	767	1771
8	12,7	18,0	921	2235

Nota: C/S = porcentagem em peso do teor de cimento na mistura
 ω e γ_d são, respectivamente, teor de umidade ótima e peso específico seco máximo, resultados de compactação proctor normal
E = módulo de elasticidade
 σ_r = resistência à compressão simples da mistura de solo-cimento (cura de 7 dias)

Fonte: Gersovich (2010, p.14).

2.3.2.6 Solo-pneus

O muro de solo-pneus é um tipo de muro de gravidade, construído pela combinação de pneus usados com solo disponível no local, o que facilita a execução e reduz os custos de construção. Essa solução não só promove o aproveitamento de resíduos como também

simplifica o processo construtivo, apresentando-se como uma alternativa economicamente vantajosa e ambientalmente consciente (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019).

Essa é uma estrutura de contenção flexível, com altura variável entre 2 e 7 metros. Sendo um muro de gravidade esse se limita a alturas abaixo de 5 metros, pois requer uma base com largura proporcional de 40 a 60% da altura total. Assim sendo, a flexibilidade do muro de solo-pneus implica em maiores deformações horizontais e verticais comparadas aos muros convencionais de alvenaria ou concreto, o que torna esse tipo de muro inadequado para suportar terrenos que abrigam estruturas rígidas (GERSCOVICH, 2010).

Para sua execução, utilizam-se ferramentas simples, como enxadas, pás, picaretas e compactadores manuais, além de uma máquina de corte de pneus, se necessário. A construção é acessível, pois dispensa mão de obra especializada, e qualquer tipo de pneu com diâmetro similar pode ser aproveitado. Na amarração entre pneus, é recomendado o uso de cordas de polipropileno com 6 mm de diâmetro, devido à resistência e durabilidade do material em comparação com cordas de nylon ou sisal, que são mais suscetíveis à degradação (GEO-RIO, 2014). Na FIG.16 a seguir, observa-se a arrumação dos pneus.

Nesse panorama, nota-se que o peso específico do material solo-pneus varia conforme o tipo de pneu: ensaios de densidade indicam uma faixa de 15,5 kN/m³ para pneus inteiros e 16,5 kN/m³ para pneus cortados, proporcionando uma estrutura estável e resistente em conformidade com o tipo de solo utilizado (GEO-RIO, 2014).

Figura 16 – Muro de solo-pneus



Fonte: Andrade (2021, p.218)

2.3.2.7 Muros de flexão

Os muros de flexão são estruturas de contenção delgadas com seção transversal em formato de "L", projetadas para resistir aos empuxos do solo principalmente por meio de flexão (FIG. 17). São geralmente construídos em concreto armado e são mais viáveis economicamente para alturas de até 5 a 7 metros. Para tanto, a base da estrutura costuma ter uma largura entre 50% e 70% da altura total do muro (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019).

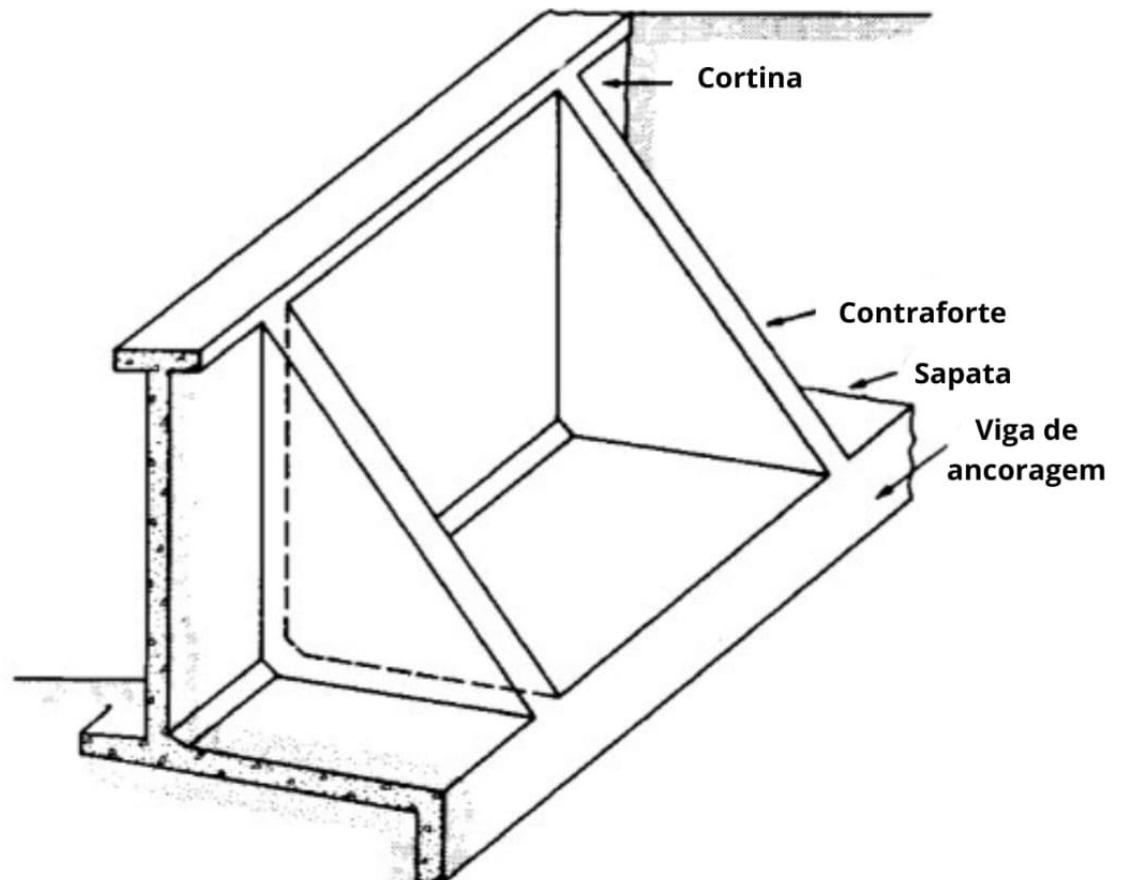
Figura 17 - Muro de flexão



Fonte: Gerscovich, Danziger e Saramago (2019, p.264)

Em casos de muros com altura superior a aproximadamente 5 metros, é recomendável o uso de contrafortes ou nervuras para melhorar a estabilidade contra o tombamento. Os contrafortes, posicionados ao longo da base interna do muro, são armados para suportar esforços de tração, uma vez posicionados na base externa, atuam em compressão. Contudo, essa segunda disposição é menos comum, pois consome muito espaço na área a jusante da estrutura. Os contrafortes costumam ser espaçados em cerca de 70% da altura do muro para garantir uma estabilidade adequada (FIG. 18) (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019).

Figura 18 – Muro com contraforte.



Fonte: Moliterno (1995, p.30). Adaptado pelo autor

2.3.3 Sistemas de drenagem

O sistema de drenagem em estruturas de arrimo tem por objetivo aliviar as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas do lençol d'água existente no maciço a ser contido, nas proximidades da obra, de modo a diminuir o empuxo total sobre ela. O efeito da água em contato com a estrutura é considerável, chegando a dobrar o empuxo calculado para o solo seco (DNIT,2006).

Para muros de arrimo com altura inferior a 2,00 metros, a drenagem é geralmente feita na face vertical do muro. Para alturas superiores, a ausência de drenagem pode ser perigosa, pois o acúmulo de água aumenta o empuxo, comprometendo a estabilidade da estrutura. Sem drenagem, é necessário considerar o empuxo pleno, resultando em projetos mais robustos e maior consumo de materiais. Portanto, um sistema de drenagem adequado é essencial para garantir segurança e eficiência econômica (DNIT, 2006).

O sistema de drenagem deve seguir as normas padrão para materiais filtrantes, evitando o carregamento de finos do solo. Recomenda-se o uso de materiais granulares com boa permeabilidade e granulometria adequada. Ademais, tubos dreno plásticos também podem ser empregados como materiais drenantes eficientes (DER, 2005).

Tubos-dreno plásticos perfurados, revestidos com envelopes adequados, podem substituir camadas drenantes. Esses envelopes devem proteger contra a erosão do solo, sendo escolhidos com base nas curvas granulométricas do tipo de solo ou aterro. Os materiais comuns incluem mantas geotêxtis, misturas de solo, areia grossa, pedriscos, seixos rolados e pedras britadas. O cálculo do diâmetro do tubo deve considerar a vazão recebida por metro linear, a declividade do tubo, o comprimento do muro e a capacidade de vazão informada pelo fabricante (DER, 2005).

A partir das FIG. 19 e FIG. 20, é possível observar os sistemas de drenagem para o muro de gabião e o muro de flexão. Nota-se que, apesar do gabião ser um muro que não necessita de sistema de drenagem, é colocado um filtro de areia com uma manta geotêxtil para escorrer a água. No muro de flexão observa-se que além dos sistemas de drenagem, são identificadas duas partes, o tardo, a parte de traz do muro, e o paramento, a face visível do muro.

Figura 19 – Dreno em muro gabião

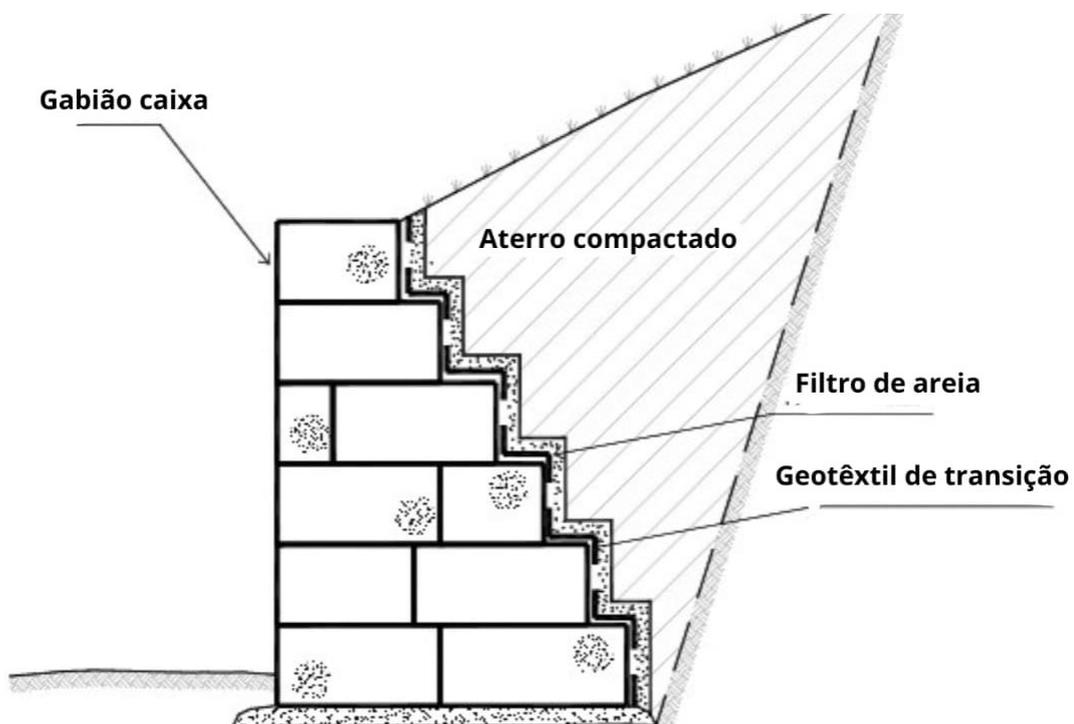
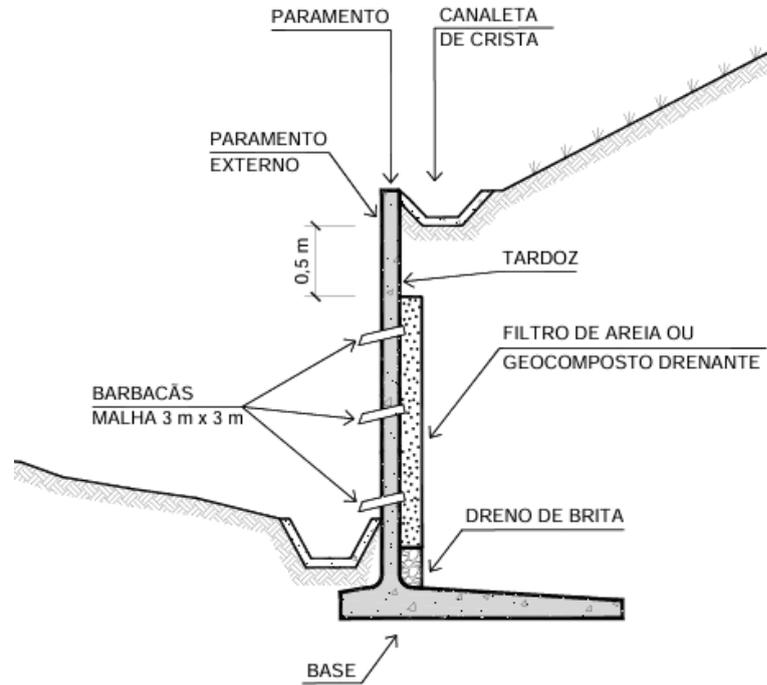


Figura 20 – Dreno em muro de flexão



Fonte: DER-SP (2005, p.22).

2.3.4 Fatores de segurança

De acordo com a norma NBR 11682 (ABNT, 2009), os fatores de segurança (FS) servem para cobrir as incertezas inerentes às etapas de projeto e construção. Conforme os riscos envolvidos, o projeto deve ser enquadrado em um nível de segurança específico, considerando a possibilidade de perdas humanas, danos materiais e impactos ambientais. Observados nos QUADROS 4 e 5.

Quadro 4 — Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso.
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado.
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009, p.17).

Quadro 5 — Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas de serviços essenciais. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens e fábricas de produtos tóxicos.
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados.
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009, p.18).

O QUADRO 6 correlaciona os danos contra as vidas humanas com os danos ambientais para determinar um fator de segurança para deslizamentos.

Quadro 6 — Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Alto	Médio	Baixo
	Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3	
Baixo	1,4	1,3	1,2	

NOTA 1: No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %.

NOTA 2: No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , ϕ , c , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Esse caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3: Essa tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009, p.18).

De acordo com a norma NBR 11682 (ABNT, 2009), o fator de segurança mínimo a ser considerado no projeto deve seguir os níveis de segurança apresentados nos QUADROS 4 e 5, conforme definido no QUADRO 6. Esses fatores referem-se às análises de estabilidade interna e externa do maciço, sendo independentes dos fatores de segurança específicos estabelecidos por normas aplicáveis ao dimensionamento de elementos estruturais, como concreto armado ou tirantes injetados.

A estabilidade interna está relacionada a superfícies potenciais de escorregamento localizadas que são estabilizadas pela estrutura de contenção como no caso de uma cunha sujeita ao empuxo ativo. Entretanto, a estabilidade externa envolve superfícies de escorregamento globais, que afetam o maciço de maneira abrangente (NBR 11682:2009).

Em estruturas de arrimo reforçadas com elementos como tirantes, tiras, grampos ou geossintéticos, as superfícies de escorregamento localizadas cortam os elementos de reforço (estabilidade interna) enquanto as superfícies globais permanecem fora da área de atuação desses elementos (estabilidade externa) (NBR 11682:2009). Assim, em casos de estabilidade de muros de gravidade e de muros de flexão, devem ser atendidos os fatores do QUADRO 7.

Quadro 7 — Requisitos para estabilidade de muros de contenção

Verificação da segurança	Fator de segurança mínimo
Tombamento	2,0
Deslizamento na base	1,5
Capacidade de carga da fundação	3,0
NOTA Na verificação da capacidade de carga da fundação, podem o ser alternativamente utilizados os critérios e fatores de segurança preconizados pela ABNT NBR 6122.	

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009, p.19).

2.3.4.1 Tombamento

Para evitar o tombamento em torno da extremidade externa do muro, o momento resistente deve ser maior que o momento solicitante. O momento resistente é gerado pelo peso do muro, enquanto o momento solicitante corresponde ao momento causado pelo empuxo total atuante na estrutura mostrado na EQUAÇÃO 1. (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2019).

$$FS = \frac{\sum Mr}{\sum Ms} \geq 2,0 \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

$\sum Mr$ = Momentos resistentes;

$\sum Ms$ = Momentos solicitantes.

2.3.4.2 Deslizamento na base

O deslizamento da estrutura acontece quando a resistência ao deslizamento na base do muro de arrimo, somada ao empuxo passivo presente à sua frente, não consegue equilibrar o empuxo ativo atuante (EQUAÇÃO 2) (BARROS,2014).

$$FS_{desl} = \frac{\sum Fr}{\sum Fs} \geq 1,5 \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

$\sum Fr$ = somatório dos esforços resistentes;

$\sum Fs$ = somatório dos esforços solicitantes;

FS_{desl} = fator de segurança contra o deslizamento.

2.3.4.3 Capacidade de carga da fundação

A capacidade de carga refere-se à avaliação da segurança contra - rupturas e deformações excessivas do terreno de fundação. Normalmente, se considera o muro como uma estrutura rígida e com a distribuição de tensões ao longo da base sendo linear (GERSCOVICH,2010). A EQUAÇÃO 3 mostra a verificação feita para essa avaliação de segurança.

$$FS = \frac{\sigma_{res}}{\sigma_{m\acute{a}x}} \geq 3,0 \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

σ_{res} – Tensão resistente do solo;

$\sigma_{m\acute{a}x}$ – Tensão máxima na base do muro.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado o estudo exposto, centra-se que o muro de arrimo é uma estrutura projetada para conter ou estabilizar taludes, prevenindo deslizamentos de terra e garantindo a segurança das áreas próximas. A sua importância está diretamente ligada à proteção de áreas urbanas e rodovias. Ademais, impede o avanço de movimentos de massa, como deslizamentos, que podem comprometer a estabilidade do solo e até causar danos materiais e humanos.

A principal função do muro de arrimo é resistir ao empuxo lateral do solo, que é a pressão exercida pela terra sobre a estrutura. Esse empuxo pode ser classificado como ativo, quando a terra exerce pressão sobre o muro, e passivo quando o muro exerce pressão sobre o solo. O cálculo do empuxo é fundamental para o projeto e dimensionamento de muros de arrimo, considerando fatores como, a inclinação do talude, a altura do muro, as condições de drenagem, e a presença de cargas adicionais que possam influenciar na distribuição das tensões.

A drenagem é fundamental para reduzir a pressão hidrostática que pode se acumular atrás do muro de arrimo, provocando o aumento do empuxo e comprometendo a segurança da estrutura. Dessa forma, sem drenagem adequada, a água pode se acumular no solo e gerar pressões excessivas sobre o muro, favorecendo sua instabilidade. Para tanto, sistemas de drenagem eficientes, como tubos drenantes, materiais permeáveis e mantas geotêxteis, são empregados para permitir o escoamento da água, minimizando os riscos de falhas estruturais.

Nesse sentido, os FS (fatores de segurança) são fundamentais para garantir a integridade dos muros de arrimo. O FS visa cobrir as incertezas do projeto como variabilidade do solo, cargas imprevistas e eventuais erros de construção. Esses são aplicados nas análises de estabilidade, resistência ao deslizamento, ao tombamento e à capacidade de carga do solo. Assim, o fator de segurança para cada tipo de análise deve ser ajustado conforme a gravidade e as condições do local, considerando riscos como danos materiais e perda de vidas humanas.

A escolha do tipo de muro de arrimo a ser utilizado depende de diversas variáveis relacionadas às especificidades do projeto. Entre os fatores determinantes, destacam-se: a altura do aterro ou talude a ser contido, a disponibilidade de materiais na região, as restrições orçamentárias, a carga solicitada sobre a estrutura, as condições do terreno e a necessidade de um sistema de drenagem. Dessa maneira, entende-se que a análise cuidadosa desses aspectos garante a seleção do sistema de contenção mais adequado, atendendo aos requisitos técnicos, econômicos e ambientais da obra.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Stephane L. P de; GUIMARÃES, Diego; ALMEIDA, Patrícia de; et al. **Fundações e Obras de Contenção**. Porto Alegre: SAGAH, 2021. E-book. pág. 213. ISBN 9786556902593. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786556902593/>. Acesso em: 13 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682. Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: http://lmcg.ufpe.br/~leo/taludes/NBR-11.682-Estabilidade-de-Taludes_ATUALIZADA.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

BARROS, P. L. A. **Obras de Contenção: Manual Técnico**. Jundiaí/SP: MACCAFERRI DO BRASIL Ltda., 2014. 219 p. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/aplica%C3%A7%C3%B5es/obras-de-contencao/>. Acesso em: 13 out. 2024.

CARVALHO, P. A. S. (Coord.). DER – Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo – **Taludes de Rodovias / Orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo, 1991. Disponível em: <https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Geotecnia.aspx>. Acesso em: 15 out. 2024

DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 4ª ed. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2019. E-book. pág. 107. ISBN 9788522128280. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522128280/>. Acesso em: 13 out. 2024.

DNIT. **Manual de drenagem de rodovias**, [S. l.], n. 2, p. 1-337, 15 ago. 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf. Acesso em: 26 outubro 2024.

ESTEVES, Ian César Amos. **Movimentos de massa: a solução por meio dos muros de contenção**. Rev. Cient. de Ciência. 2018.13 p. Disponível em: http://www.faip.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/zSVPHrhoDm0uDFQ_2019-10-23-15-8-9.pdf. Acesso em: 03 nov. 2024.

GEORIO, MANUAL. **Manual técnico de encostas - Volume III**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/660169083/Manual-GeoRio-Vol-3-Muros>. Acesso em: 15 out. 2024.

GERSCOVICH, Denise MS. **Empuxo de terra**. Rio de Janeiro: UERJ, 2010. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/deptos/professor/123/empuxos.pdf> Acesso em: 17 out. 2024.

GERSCOVICH, Denise MS. **Estruturas de contenção: muros de arrimo**. Rio de Janeiro: UERJ, 2010. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>. Acesso em: 17 out. 2024.

GERSCOVICH, Denise MS. **Estabilidade de Taludes (2ª edição)**. Oficina de textos, 2016. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/612934184/Denise-M-S-Gerscovich-Estabilidade-de-taludes-Oficina-de-Textos-2016>. Acesso em: 01 nov. 2024.

GERSCOVICH, Denise; SARAMAGO, Robson; DANZIGER, Bernadete Ragoni. **Contenções**: teoria e aplicações em obras. Oficina de Textos, 2016. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/contencoes-teoria-e-aplicacoes-em-obras-2ed/p>. Acesso em: 01 nov. 2024.

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. **O manual de deslizamento – Um guia para a compreensão de deslizamentos**. Reston, Virginia, US Geological Survey Circular, v. 1325, 2008. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3416663/mod_resource/content/1/USGS_MANUAL_MOVIMENTO_DE_MASSA.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

MOLITERNO, Antônio. **Cadernos de muro de arrimo**. São Paulo: Editora Blucher, 1995. *E-book*. pág. 41. ISBN 9788521217619. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521217619/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

REIS, Fábio A. G. V. Reis. **Geodinâmica Externa. Movimentos de massa**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09.htm>. Acesso em: 03 nov. 2024.

SÃO PAULO (Estado). DER – Departamento de Estradas de Rodagem. Secretaria dos Transportes (Org.). **Projeto de Muro de arrimo: Instrução de Projeto**. São Paulo, 2005. 27 p. Disponível em: https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/IP-DE-C00-005_A.pdf. Acesso em: 03 nov. 2024.

STEIN, Ronei T.; FILHO, André L. D P.; SILVEROL, Aline C.; et al. **Estabilidade de Taludes e Contenções**. Porto Alegre: SAGAH, 2021. E-book. p.9. ISBN 9786556901664. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786556901664/>. Acesso em: 13 out. 2024.