

FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS
Programa de Pesquisa, Produção e Divulgação Científica

JUNIO PEREIRA RIBEIRO
MARCELO CASTELO BRANCO DE SOUZA MENDONÇA
RONALDO MORAIS DA SILVA FILHO

**OBRA DE CONTENÇÃO: Estudo de caso de obra de contenção
como solução para erosão do talude, localizado no Município de
Santa Luzia – MG**

Belo Horizonte - MG
Junho – 2021

JUNIO PEREIRA RIBEIRO
MARCELO CASTELO BRANCO DE SOUZA MENDONÇA
RONALDO MORAIS DA SILVA FILHO

**OBRA DE CONTENÇÃO: Estudo de caso de obra de contenção
como solução para erosão do talude, localizado no Município de
Santa Luzia – MG**

Pré-projeto de pesquisa apresentado à disciplina de TCC II, do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais, visando avaliação.

Área de Concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. MSc Paulo Mário Cruz de Freitas

Orientador de Metodologia: Prof^a. Raquel Ferreira de Souza

Belo Horizonte - MG
Junho – 2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

Será inserida pela Banca Examinadora e substituída por esta.

CARTA DE ACEITE

Certificamos para os devidos fins que o artigo ***ESTUDO DE CASO DE OBRA DE CONTENÇÃO COMO SOLUÇÃO PARA EROÇÃO DO TALUDE, LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE SANTA LUZIA – MG*** foi aceito para publicação no **4º CADERNO DE COMUNICAÇÕES UNIVERSITÁRIAS** do Simpósio de Engenharia, Arquitetura e Gestão – SEAG, promovido pelo Centro de Extensão da FEAMIG, nos dias 14, 15 e 16/05/2021 – **ISSN 2675-1879**.

Belo Horizonte, 09 de junho de 2021.

Professora Raquel Ferreira de Souza
Coordenadora do CENEX e do PPDC da FEAMIG
E-mail: raquel.ferreira@feamig.br

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, sempre presente, iluminando e nos dando força para vencer os obstáculos da vida.

Aos nossos familiares pelo apoio, compreensão e amor.

Aos professores Aílton de Almeida e Paulo Mário Cruz de Freitas pela paciência e compartilhamento de seus conhecimentos.

A Coordenação do Curso de Engenharia Civil e demais membros docentes da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais pelos ensinamentos.

A todos os funcionários da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais pelo carinho e dedicação.

Aos amigos e colegas da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais pelo companheirismo e união.

A empresa Maccaferri pelo apoio, disponibilidade de material técnico e autorização de forma plena deste trabalho, de utilização das imagens e softwares.

A todos que direta e indiretamente ajudaram na conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso.

“Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispões para a gente é no meio da travessia”

Guimarães Rosa

RESUMO

A presente pesquisa pretende analisar a solução de contenção proposta para o desmoronamento de um talude em uma avenida localizada no município de Santa Luzia, Minas Gerais e fazer um comparativo com outra alternativa de contenção que será o muro de flexão em concreto armado, popularmente conhecido como muro de arrimo. Foram desenvolvidos os estudos, por uma empresa especializada, de contenção do talude erodido para a Prefeitura Municipal de Santa Luzia que realizou a contratação de uma empresa local para execução das obras em caráter emergencial. Será utilizado o software GawacWin para comparar o dimensionamento do gabião e o software Geo5 para dimensionar o muro de flexão, com as mesmas condições e os mesmos dados da situação criada para o gabião, demonstrando a vantajosidade e versatilidade do gabião como uma alternativa de contenção.

Palavras Chaves: Contenções, Talude, Gabião, Fator de Segurança, Muro de Flexão.

ABSTRACT

This work aims to analyze the proposed solution for restraining a batter on an avenue located in Santa Luzia, Minas Gerais State. It compares the solution proposed to another concrete retaining wall. The research and studies were done by a specialized company, for restraining solutions for the eroded talude for the City Hall's office of Santa Luzia, based on which the County has contracted a local company to execute the services at an emergency rate. The software GawacWin, is going to be used to make the comparison of the gabion's sizing and the software Geo5, to size the restraining wall. Using the same measurement patterns and data from the created situation for the gabion they will show both the advantages and versatility of the gabion as an alternative for restraining solutions.

Keywords: Restraining. Talude. Gabion. Safety fator. Restraining Wall.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Torre inclinada de Pisa – Itália	19
Figura 2.2 – Construção Estrada de Ferro Madeira Mamoré	21
Figura 2.3 – Muro de arrimo	24
Figura 2.4 – Seção do muro em “T”	25
Figura 2.5 – Execução de forma e armação – Muro de flexão em concreto	27
Figura 2.6 – Execução da concretagem – Muro de flexão em concreto	28
Figura 2.7 – Contenção das margens do Rio Reno em 1893	29
Figura 2.8 – Seção do muro de contenção das margens do Rio Reno em 1893	29
Figura 2.9 – Evolução da primeira obra em gabião	30
Figura 2.10 – Malha metálica usada em gabião	30
Figura 2.11 – Muro em gabiões	31
Figura 2.12 – Elementos constituintes do gabião tipo caixa	33
Figura 2.13 – Preparação do gabião, parte 1	34
Figura 2.14 – Preparação do gabião, parte 2	35
Figura 2.15 – Preparação do gabião, parte 3	35
Figura 2.16 – Preenchimento do gabião e detalhe dos tirantes	36
Figura 2.17 – Detalhes das etapas de preenchimento em células vizinhas	37
Figura 2.18 – Detalhes da etapa de fechamento.....	37
Figura 2.19 – Escorregamento de talude	38
Figura 2.20 – Variação da magnitude do empuxo com a inclinação do muro	41
Figura 2.21 – Empuxo de terra de Rankine	42
Figura 2.22 – Método Coulomb	44
Figura 2.23 – Método Bishop	45
Figura 3.1 – Antes e depois da obra	50
Figura 3.2 – Seção típica da contenção em gabião	51
Figura 3.3 – <i>Templates</i> GawacWin	53
Figura 3.4 – Layout Geo5.....	54
Figura 4.1 – Limpeza e escavação do gabião	60
Figura 4.2 – Execução do gabião e retarerro	62

Figura 4.3 – Recomposição do asfalto e liberação da via	62
Figura 4.4 – Etapa da análise de estabilidade do muro de flexão	63
Figura 4.5 – Etapa do dimensionamento da armação do muro de flexão	64
Figura 4.6 – Muro de flexão	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões padronizadas do gabião tipo caixa	33
Tabela 2 – Nível de segurança desejável contra perdas humanas	40
Tabela 3 – Fatores mínimos para estabilidade de taludes	40
Tabela 4 – Resultados dos Fatores de Segurança – Muro em gabião	55
Tabela 5 – Resultados dos Fatores de Segurança – Muro de flexão	55
Tabela 6 – Parâmetros médios do solo	59
Tabela 7 – Planilha de quantidades e preço – Muro em gabião	67
Tabela 8 – Planilha de quantidades e preço – Muro de flexão	68
Tabela 9 – Comparativo de custo das opções	68
Tabela 10 – Comparativo de prazo das opções	69

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Contexto	15
1.2. Problema de Pesquisa.....	16
1.3. Objetivos	16
1.4. Justificativa	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1. Geotecnia	18
2.1.1 Primeiros Estudos	18
2.1.2 Geotecnia no Brasil	20
2.1.3 Importância da Geotecnia	22
2.2. Estruturas de Contenção	23
2.2.1 Definição	23
2.2.2 Muro de Arrimo	24
2.2.2.1 Origem	24
2.2.2.2 Muro de Flexão.....	25
2.2.2.3 Propriedades	26
2.2.2.4 Metodologia Executiva	26
2.2.3 Gabião	28
2.2.3.1 Origem	28
2.2.3.2 Estrutura de Contenção em Gabião.....	31
2.2.3.3 Gabião tipo caixa	32
2.2.3.4 Metodologia Executiva	34
2.3. Estabilidade de Taludes - Dimensionamento e metodologia de cálculo	38
2.3.1 Introdução	38
2.3.2 Fator de Segurança	39
2.3.3 Empuxo	41
2.3.4 Método de Rankine	42

2.3.5	Método de Coulomb	43
2.3.6	Teoria de Bishop.....	44
3.	METODOLOGIA DA PESQUISA	46
3.1	Pesquisa quanto aos fins.....	46
3.1.1	Pesquisa exploratória	46
3.1.2	Pesquisa descritiva	46
3.1.3	Pesquisa explicativa.....	47
3.2	Pesquisa quanto aos meios.....	47
3.2.1	Pesquisa bibliográfica.....	47
3.2.2	Pesquisa experimental.....	48
3.2.3	Pesquisa de levantamento.....	48
3.2.4	Pesquisa com <i>survey</i>	48
3.2.5	Estudo de caso	49
3.3	Organização em estudo.....	49
3.4	Universo e amostra.....	51
3.5	Formas de coleta e análise dos dados.....	52
3.5.1	Dados de projeto.....	52
3.5.2	Análise dos dados obtidos.....	54
3.6	Limitações da pesquisa.....	55
4.	RESULTADOS E ANÁLISES	57
4.1	Solução adotada para contenção do talude erodido utilizando a tecnologia de gabião como alternativa	57
4.1.1	Fato motivador da obra	57
4.1.2	Solução adotada.....	58
4.1.3	Dimensionamento.....	59
4.1.4	Execução do gabião	60
4.2	Solução alternativa para contenção do talude erodido	62
4.2.1	Parâmetros de dimensionamento	62
4.2.2	Análise de estabilidade	63

4.2.3	Dimensionamento da armação	63
4.2.4	Muro de flexão final	64
4.3	Comparação do gabião como a solução alternativa no aspecto custo x benefício	65
4.3.1	Bases de Preços	65
4.3.2	Orçamento.....	66
4.3.3	Prazo de execução	69
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICES.....	76

1. INTRODUÇÃO

Devido à crescente ocupação de áreas urbanas de forma desordenada, houve um aumento de moradias em áreas de risco. Essas moradias, geralmente, estão irregulares e instaladas em locais impróprios ao assentamento humano, pois estão sujeitas a riscos naturais como a inundação, desmoronamento ou deslizamento de terra em áreas de alta declividade e a incidência de chuvas favorece substancialmente a ocorrência desses fenômenos.

É função do poder público, promover as condições dignas de moradia e entregar os serviços básicos à população. Para isso, são necessários investimentos em infraestrutura urbana, como por exemplo, a abertura de avenidas para acesso e estruturas preventivas ou corretivas para contenção de locais com possível potencial de desmoronamento.

Diante deste cenário torna-se necessário o estudo do comportamento dos taludes, através de uma avaliação geológica e topográfica para evitar que a ação antrópica seja o gatilho para novos desastres. O conhecimento de novas técnicas construtivas e a implantação de soluções de contenções compatíveis com as características do local podem auxiliar o poder público no planejamento urbano com o controle do uso do solo e na infraestrutura necessária para a expansão da cidade de forma segura.

1.1. Contexto

Estruturas de contenção são construídas com a intenção de admitir estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou rocha. São estruturas que fornecem suporte a estes maciços com o seu peso próprio ou por carregamentos externos, evitando o escorregamento ou movimentação de solo. Alguns exemplos dessas estruturas são os muros de flexão e muros de contenção por gravidade como o gabião. Apesar de serem estruturas com geometria, processos construtivos e materiais empregados distintos, todas elas são construídas para conter a ruptura de um maciço do talude suportando as pressões laterais (empuxo), de forma a garantir sua estabilidade.

Dessa forma nota-se a importância da elaboração de estudos geotécnicos para as obras de engenharia as quais apresentam movimentos de terra que envolvem um elevado custo para recuperação.

A presente pesquisa será a análise da solução de engenharia proposta para a contenção de um talude erodido localizado na Avenida Adail Tófani, no Bairro Liberdade município de Santa Luzia, Minas Gerais utilizando a tecnologia de gabião como alternativa e uma comparação entre outra alternativa de contenção, muro de flexão, para verificação da técnica mais vantajosa do local de estudo levando em consideração os aspectos do fator de segurança, ambiental, econômico e prazo, tendo em vista o caráter emergencial.

1.2. Problema de Pesquisa

Por que foi adotada a alternativa de contenção em gabião da erosão causada na Av. Adail Tófani, no Bairro Liberdade no município de Santa Luzia?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo de realizar uma análise de uma solução que foi proposta para contenção com utilização de gabião, avaliar todos os dados e premissas utilizadas para propor esta solução e fazer um comparativo com outro sistema de contenção no talude erodido.

1.3.2. Objetivos Específicos

- 1 – Analisar a solução adotada para contenção do talude erodido utilizando a tecnologia de gabião como alternativa.
- 2 – Apresentar a solução alternativa para a contenção do talude erodido.
- 3 – Comparar o gabião com a solução alternativa no aspecto de custo x benefício.

1.4. Justificativa

Devido ao carácter emergencial das obras de contenção as soluções propostas devem ser de rápida execução pois há grande possibilidade da área que ocorrerá a intervenção esteja causando transtornos no trânsito ou com riscos nas edificações e/ou estruturas vizinhas, comprometendo a segurança do local.

A utilização do gabião como contenção se mostra como uma alternativa viável em diversos aspectos pois são estruturas mais “flexíveis” do que outras soluções existentes pois, são construídos com materiais deformáveis e por isso podem se adaptar melhor no comportamento e estabilização de taludes além de sua rápida execução, custo mais atrativo e sua metodologia executiva que pode ser mais adaptável nos locais onde há restrição de trânsito de máquinas e equipamentos.

O gabião tem se mostrado como uma solução eficiente e com melhor custo benefício e vem sendo aplicado em obras corretivas e preventivas em diversos locais de segmentos econômicos diferentes. Dessa forma, com a expectativa de crescimento econômico, será imprescindível o investimento em infraestrutura e o conhecimento técnico desse tipo de solução poderá ser um diferencial no mercado de trabalho devido a tendência da alta demanda.

É relevante para sociedade que as obras em carácter emergencial sejam executadas com qualidade e no menor prazo possível para manter as vias de acesso em condições trafegáveis, oferecer condições de segurança nos taludes em áreas críticas para eliminar os impactos causados.

A necessidade da preservação do meio ambiente hoje é uma realidade e a engenharia civil tem investido em pesquisas de métodos alternativos de construção para a diminuição do consumo de cimento e outros insumos em que seu processo produtivo tenha impacto ambiental. O gabião surge como uma alternativa ecológica pois não utiliza concreto ou argamassa e ainda permite o crescimento da flora por conta das frestas em sua estrutura propiciando um conforto visual no local.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Geotecnia

Geotecnia é uma área relevante para Engenharia que estuda o comportamento dos solos e rochas utilizando aplicações de métodos científicos e princípios para interpretação e análise dos materiais. A Geotecnia é abordada em todos os projetos de engenharia desde a parte de fundações, aterros, barragens ou estruturas de contenções, Pinto (2006) complementa que este é o ramo da engenharia em que o engenheiro civil se baseia para desenvolver seus projetos.

2.1.1 Primeiros Estudos

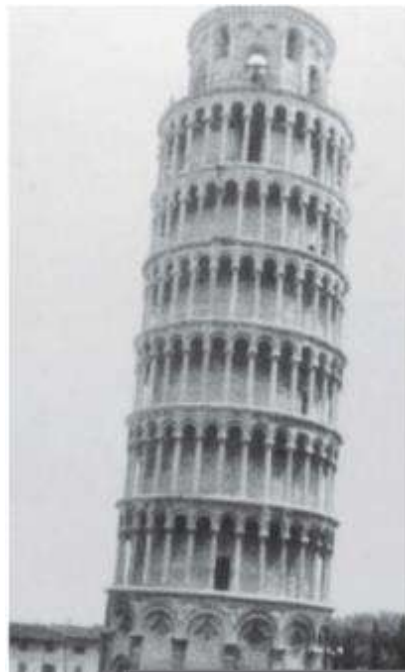
Desde a pré-história já se tem registros da utilização do solo pelo homem em obras como à construção de abrigos para proteger-se do clima ou de animais. Esses abrigos, geralmente, eram escavações de pequenas profundidades, mesmo assim já era possível verificar uma noção de estabilidade de maciços. Já na antiguidade os povos egípcios, por exemplo, que tem sua origem às margens do Rio Nilo, começaram a observar os acontecimentos cíclicos que ocorriam na região e notaram que, após uma grande cheia, o solo da planície era fertilizado com os nutrientes que o rio transportava e a suas lavouras plantadas após a cheia eram mais volumosas e consequentemente obtinham uma colheita mais satisfatória. A grande estiagem forçou o povo egípcio a construir diques de contenção de água para suportar os tempos de seca, dando origem as primeiras grandes estruturas utilizando o solo.

Segundo Braja (2020), com a descoberta dos metais, o homem pode fabricar ferramentas mais eficientes e aprimorou a sua técnica construtiva aliando o solo a outros materiais como a madeira, pedra, fibras vegetais, entre outros, possibilitando assim a construção de obras de maiores dimensões. Um grande marco de construções deste período foram as cinco grandes pirâmides do Egito, que datam de 2750 a.C. e foram construídas em um período de menos de um século.

Durante vários séculos as estruturas foram construídas sobre solos de argila de pouca resistência, camadas de areia ou silte (fragmento mineral ou rocha menor do que areia fina e maior do que argila) e muitas dessas estruturas excedeu a

capacidade de carga do solo, causando danos estruturais extensivos. Um dos casos mais famosos desse tipo de estrutura é a Torre Inclinada de Pisa, na Itália. Uma estrutura robusta com quinze mil e setecentas toneladas, vinte metros de diâmetro e altura de aproximadamente sessenta metros. A construção da Torre começou em 1173 d.C. e durou por mais de duzentos anos. As investigações recentes mostram que a Torre foi construída sobre uma camada frágil de argila com espessura de onze metros que não suportou o peso da estrutura fazendo a torre inclinar por aproximadamente cinco graus. A Figura 2.1 mostra a torre inclinada atualmente.

Figura 2.1: Torre Inclinada de Pisa – Itália



Fonte: Braja, 2020

Depois de vários problemas relacionados a fundação, cientistas e engenheiros começaram a observar a ocorrência destes eventos e os primeiros registros, a nível técnico de engenharia, datam-se a partir do século XVII com o desenvolvimento inicial dos trabalhos sobre o comportamento quantitativos dos solos e suas propriedades. As teorias dessa época levavam mais em consideração os aspectos matemáticos do que físicos sobre o equilíbrio dos maciços, porém desempenharam um papel fundamental nos estudos da geotecnia.

Segundo Braja (2020) um marco decisivo na história da geotecnia foi a publicação do livro *Erdbaumechnik*¹ pelo Prof. Karl Terzaghi no ano de 1925. Karl Terzaghi foi um engenheiro e pesquisador nascido na República Tcheca e sua teoria sobre os sistemas constituídos por uma fase sólida granular e uma fase fluida são aplicadas até hoje e seus livros foram referências para vários autores. Segundo o engenheiro canadense Ralph Peck (1985) *apud* Braja (2020) poucas pessoas, durante a vida de Terzaghi teriam discordado de que ele não era apenas o papa da mecânica dos solos, mas também o centro de intercâmbio para a pesquisa e aplicação em todo mundo. Devido a sua grande influência Terzaghi é considerado o pai da mecânica dos solos.

2.1.2 Geotecnia no Brasil

No Brasil a geotecnia deu seus primeiros passos no período colonial, com a chegada da Família Real no Brasil em 1808. Inicialmente as técnicas e conceitos de aplicação da mecânica dos solos eram ensinadas na academia militar com a criação de um curso específico. Após alguns anos, com o crescente interesse de países estrangeiros pela mineração e a necessidade de implantar uma infraestrutura no país que, até então eram inexistentes, foram criadas as primeiras instituições de ensino superior do país que foram a Escola Politécnica do Rio de Janeiro e a Escola de Minas de Ouro Preto, conforme destaca Braja (2020).

A grande atividade de engenharia no fim do século XIX e início do século XX no Brasil foram a construção de ferrovias. Nestes projetos já se usavam os conceitos de estabilidade de aterros, contenções e fundações para estruturas e obras de arte. Neste período destaca-se a construção da Estrada de Ferro Madeira Mamoré – EFMM, que tinha um grande valor estratégico para o Brasil pois, supria a necessidade de escoamento da produção de borracha e serviu como permuta para alienação de um vasto território a partir da cidade de Porto Velho. Para os historiadores a ferrovia foi um fracasso, em 1878 o único saldo positivo foi a construção de sete quilômetros de ferrovia ao custo de toneladas de máquinas, equipamentos, ferramentas, insumos e, vencidos por doença e pela fome, foram poucos os trabalhadores que sobreviveram

¹ Tradução para o Português: “Mecânica de Terraplanagem”.

de acordo com os arquivos da Biblioteca Nacional (2020). Estima-se que inúmeras vidas foram perdidas devido a insalubridade, fome e doenças como a malária e disenteria. A ferrovia, Figura 2.2, ficou popularmente conhecida como “Ferrovia do Diabo”. Poucos anos depois o preço da borracha entrou em declínio e a ferrovia aos poucos foi se deteriorando. Hoje restam poucos trechos que operam precariamente e alguns outros que foram recuperados para visitação.

Figura 2.2: Construção Estrada de Ferro Madeira Mamoré



Fonte: Acervo da Biblioteca Nacional, 2020

Entre o fim dos anos de sessenta e início dos anos setenta, após a criação de diversos institutos técnicos, difusão de pesquisas, especialização de engenheiros e o domínio da tecnologia de concreto armado o país viveu o período conhecido como “Milagre Econômico”. O entusiasmo com os resultados das pesquisas geológicas nas áreas da mineração incentivou o avanço tecnológico da geotecnia no país.

No período do “Milagre Econômico” todos os setores da economia tiveram expressivos crescimentos, a criação de várias estatais como por exemplo a Telebrás, Embratel e Infraero deram um grande impulso à economia na época. Com a crise do petróleo, o governo brasileiro criou o Programa Nacional do Álcool que deu força a indústria automobilística e gerou uma forte movimentação no agronegócio e por fim, são deste período algumas das maiores obras de engenharia do país como a Rodovia Transamazônica, Ponte Rio Niterói e o início das obras para construção da

hidroelétrica de Itaipu. A construção civil foi uma das maiores vertentes do crescimento à época devido aos grandes investimentos destes setores.

Entende-se, diante do exposto nos capítulos anteriores que, os investimentos em pesquisa e tecnologia na área de geotecnia foram fundamentais para suprir as demandas técnicas que os setores da economia necessitaram para o seu crescimento e expõe a necessidade da continuidade desses investimentos uma vez que, o conhecimento técnico e o domínio da tecnologia de construção estão ligados diretamente à estratégia do desenvolvimento econômico do país.

2.1.3 Importância da Geotecnia

É fundamental saber as características do solo, não há construção sem um prévio estudo geotécnico. Na engenharia civil o solo é o elemento que faz o suporte das obras e é muito importante o estudo da sua composição e propriedades para classificação do tipo de solo. É fundamental também o estudo do seu comportamento para determinação de resistências, tensões, permeabilidade entre outras características. Todos esses estudos são necessários visando eliminar e minimizar situações de riscos de forma sustentável e segura, sem degradar o meio ambiente. De acordo com Dos Santos (2008), o maior instrumento para redução dos riscos está na gestão técnica do empreendimento, desde a fase dos estudos preliminares até a entrega da obra finalizada e seu futuro plano permanente de monitoramento técnico.

Muitos desses estudos são realizados em laboratórios e é necessário a coleta de amostras significativa de solos para os ensaios. Todos os ensaios e até a coleta de amostras são padronizadas conforme as normas da ABNT. Os ensaios mais utilizados para análise das características dos solos são:

- Ensaio de Adensamento, Compactação (Norma ABNT NBR 7182/2016);
- Compressão Simples e Axial (Norma ABNT NBR 12025/2012);
- CBR - Índice de Suporte Califórnia (Norma ABNT NBR 9895/2016);
- Granulometria (Norma ABNT NBR 7217/1987 e 7181/2016);
- Limites de Consistência (Norma ABNT NBR 6459/2016 e 7180/2016);
- Permeabilidade (Norma ABNT NBR 13292/1995);
- Peso Específico (Norma ABNT NBR 6508/2016).

Há também as investigações geotécnicas realizadas em campo, essas investigações são conhecidas como sondagem, que consistem em uma perfuração no solo, de cerca de quatro polegadas de diâmetro, até a profundidade desejável. A sondagem fornece as informações sobre o tipo de solo, profundidade de cada camada, nível do lençol freático e com essas informações é possível verificar se o terreno consegue suportar a carga que está prevista no empreendimento.

A geotecnia é fortemente aplicada para engenharia de barragens, fundações, pavimentação, túneis e na área ambiental. As áreas de atuação podem abranger atividades de consultoria para mapeamentos geotécnicos com estudos de comportamento dos solos e estabilização química, aterros sanitários e fundações. Para a recuperação de áreas degradadas, obras de caráter preventivo em locais com risco de deslizamento de talude ou obras emergenciais geralmente são executadas estruturas de contenção e as estruturas de contenções mais utilizadas são o muro de flexão e o gabião que surge como uma alternativa mais econômica e adaptável a algumas situações.

2.2. Estruturas de Contenção

2.2.1 Definição

As estruturas de contenção são obras civis que tem como finalidade promover a estabilidade contra os empuxos de água, rocha, terra e/ou qualquer outro esforço promovido por estruturas, usando o próprio peso. As estruturas de contenção mais utilizadas são os muros de arrimo que podem ser executados em alvenaria de blocos de concreto ou em concreto armado e nos últimos anos a estrutura de contenção tipo gabião vem ganhando espaço e mercado devido ao seu custo atrativo e sua extensa aplicabilidade.

Para se definir o tipo de estrutura de contenção mais adequada, são necessários realizar os estudos de geotecnia para aplicar a melhor técnica e opção para suportar as cargas laterais, levando em consideração os materiais a serem empregados. Toda estrutura de contenção tem a finalidade de manter a estabilidade independente das sobre cargas.

2.2.2 Muro de Arrimo

2.2.2.1 Origem

Há indícios que o a técnica do muro de arrimo surgiu na época dos maias e dos egípcios e é possível ver a sua evolução durante os últimos séculos ou décadas.

Pode-se definir muro de arrimo (Figura 2.3) como estrutura de contenção criada com a função de resistir aos empuxos laterais que são encontrados nos taludes naturais, por escavações ou até mesmo pela água. Este tipo de estrutura é usado quando existe diferentes tipos de níveis, conseqüentemente tem-se tipos diferentes de carregamentos, logo haverá um descarregamento desta carga. O muro de arrimo deve suportar as carga laterais encontradas pois, a adversidade de limites pode trazer sérios danos a estrutura como perda de estabilidade global, ruptura de elementos estruturais ou ligação entre elementos, ruptura conjunta do terreno, movimentos excessivos da estrutura de suporte e problemas que água pode causar através de escoamento irregular ou repasses de água ou partículas pela estrutura.

Figura 2.3: Muro de arrimo em concreto armado



Fonte: Gomes e Lima, 2018

Especialistas divergem em relação a variedade de tipos de muros de arrimo gerando assim uma diversificação na classificação, neste estudo será abordado sobre os muros de contenção de gravidade e em concreto armado.

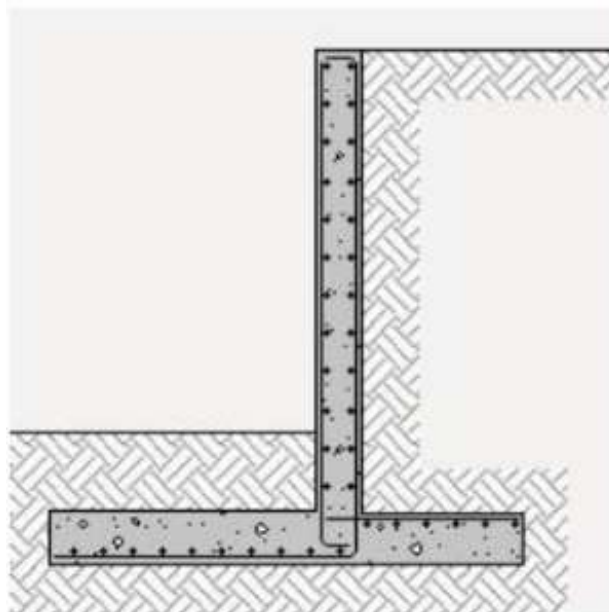
2.2.2.2 Muro de Flexão

Os muros de flexão em concreto armado diferem dos muros de gravidade, pois mostram uma adição de esforços resistentes de flexão, são estruturas rígidas que não aceitam nenhum tipo de deformação.

Estes muros são estruturas com seção transversal em forma de “L” na maioria dos casos, no entanto podem também apresentar seção transversal em forma de “T” em situações de maiores alturas. São denominados desta forma, pela razão de resistirem aos empuxos por flexão, empregando parte do peso próprio do solo que se sustenta sobre a base da estrutura, para manter sua estabilidade. (Figura 2.4).

Segundo Domingues (1997), os muros em concreto são compostos basicamente de duas lajes de concreto armado, a laje vertical é considerada engastada na base com o extremo superior em balanço, já a laje horizontal se apoia no terreno, com finalidade estrutural de equilibrar o empuxo e servir de sapata.

Figura 2.4: Seção do muro em “T”



Fonte: Junior e Lemes, 2014

2.2.2.3 Propriedades

- a. São mais leves que os muros de arrimo por gravidade.
- b. Sua geometria característica compensa seu menor peso: o fato de ter uma forma de “T” ou “L” invertido faz com que o peso do próprio terreno auxilie na obtenção da força de atrito que combate o deslizamento e impede o seu tombamento.
- c. Como consequência, os esforços de flexão na união do “T” são bastante grandes, exige pesadas armaduras de aço e a execução de contraforte para alturas maiores.
- d. Construídos em concreto armado, tornam-se antieconômicos para alturas acima a cinco ou sete metros. A base apresenta largura entre cinquenta e setenta por cento da altura do muro.

2.2.2.4 Metodologia Executiva

As etapas construtivas do muro consistem basicamente nos serviços de escavação, concreto magro, forma, armação e concretagem.

Inicialmente o local de execução do muro deve ser limpo, isento de resíduos vegetais para possibilitar a sua locação topográfica e executando na sequência a escavação para a base do muro. As escavações abrangem os serviços de abertura de valas e cavas que podem ser executados manualmente ou com a utilização de retroescavadeira ou escavadeira.

Após a escavação é realizada a regularização e lançamento do concreto magro. Este concreto não tem função estrutural e sua utilização é garantir que a armação seja preservada.

As formas serão projetadas de modo a comportar o efeito da vibração de adensamento e da carga do concreto e a permitir que o concreto acabado não seja danificado e quando de sua remoção, as peças devem apresentar uma superfície lisa e uniforme. Os painéis podem ser confeccionados com chapas de madeira, metálicas ou outro material resistente estruturadas com tábuas, pontaletes ou com peças metálicas. As dimensões, o nivelamento e a verticalidade das formas são verificados e no interior da forma deve ser removidos todos os resíduos antes da concretagem.

As armações serão colocadas nas formas, nas posições indicadas no projeto, sobre espaçadores de polietileno, calços de argamassa de cimento e areia, pedaços de vergalhões ou ainda peças especiais (caranguejos), quando for o caso, de modo a garantir os afastamentos necessários das formas. As armações devem estar isentas de concreto endurecido ou outro material contaminante antes da concretagem. A Figura 2.5 apresenta as etapas de forma e armação.

Figura 2.5: Execução de forma e armação – Muro de flexão em concreto



Fonte: Construdeia, 2014

Quando houver ocorrência de água no lençol freático deve ser instalado um sistema de drenagem para diminuir o empuxo causado pela água presente no solo. Normalmente são utilizados tubos de drenagem chamados de barbacãs, estes são assentados junto as formas do muro e devem ficar desobstruídos após a concretagem.

O concreto utilizado deve ser estrutural e poderá ser preparado na obra ou em central de concreto. Antes do lançamento do concreto deve ser realizado o ensaio de abatimento (slump test) e todas as formas, armações e possíveis elementos embutidos no concreto também devem passar pela conferência topográfica e inspeção da equipe técnica responsável. O concreto deve ser bem adensado na forma, mecanicamente, por meio de vibradores de imersão com diâmetro e agulha vibratória adequada às dimensões da peça a fim de permitir sua ação em toda a massa vibrar sem provocar penetração forçada. A cura deverá se prolongar por um período suficiente até atingir a resistência esperada. A Figura 2.6 apresenta a etapa de concretagem.

Figura 2.6: Execução da concretagem – Muro de flexão em concreto



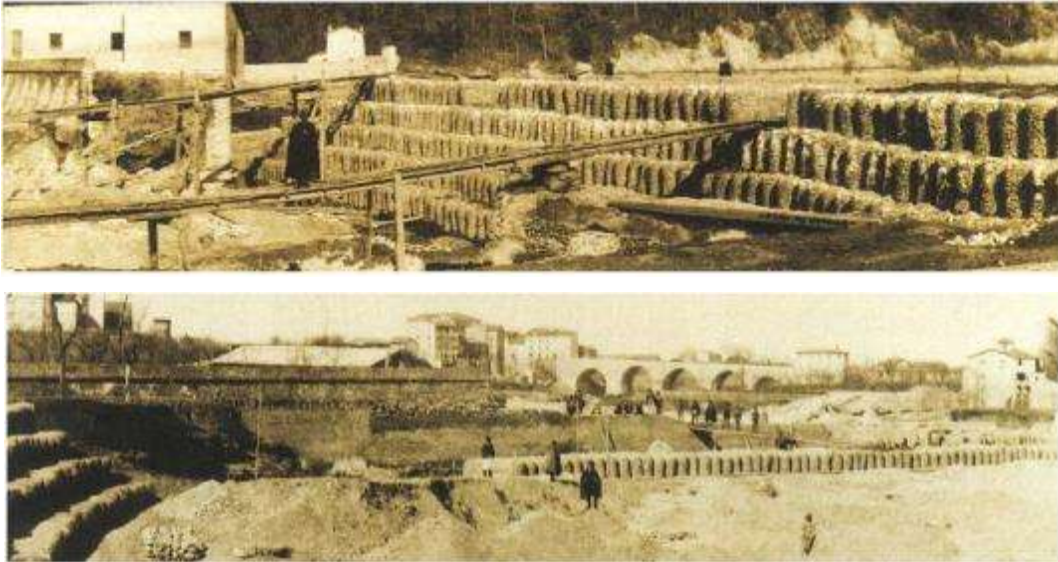
Fonte: Construdeia, 2014

2.2.3 Gabião

2.2.3.1 Origem

O gabião é de origem italiana e foram aplicados pela primeira vez, em sua moderna versão, no final no século XIX. Nessa época existia algumas oficinas de serralheria de trabalho artesanais a base de ferro. Os donos dessas oficinas criaram gaiolas de ferro, que logo depois, ficaram conhecidas como *gabbione*, que no idioma italiano significa gaiola, e quando traduzido ao idioma português tornou-se gabões. Essas gaiolas foram criadas com o intuito de confinar algum tipo de material para que pudessem ser aplicadas como elementos para conter alguns trechos de estradas que sofriam com desmoronamentos. A primeira aparição do gabião como obra de engenharia, aconteceu nas margens do Rio Reno, onde foi feita uma contenção logo após acontecer um transbordamento, em Casalecchio, na Emilia Romagna, ao norte da Itália (Figura 2.7). Para essa obra foram utilizados gabões tipo saco.

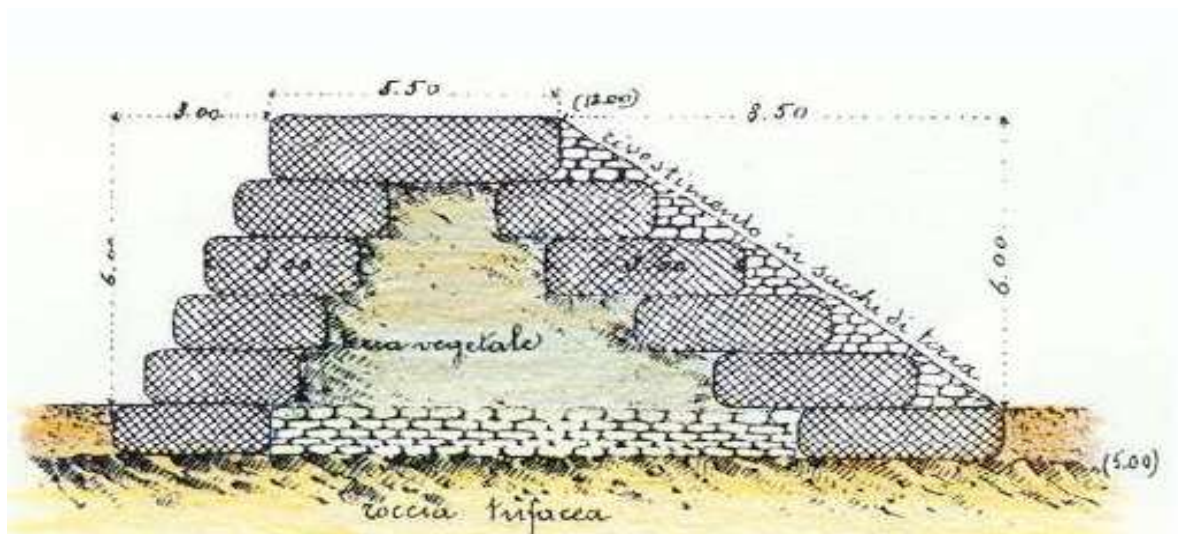
Figura 2.7: Contenção das margens do Rio Reno em 1893



Fonte: Agostini, 1891 *apud* Junior, 2018

A solução proposta foi usar um centro em solo vegetal coberto por pedras confinadas pelas gaiolas designadas como gabião. De certa maneira a proposta serviu como uma contenção para o solo às margens do Rio Reno (Figura 2.8). Desta maneira, assim foi criado o primeiro gabião moderno da história, desde então, sua aplicação é crescente e as áreas de aplicação cada dia mais amplas.

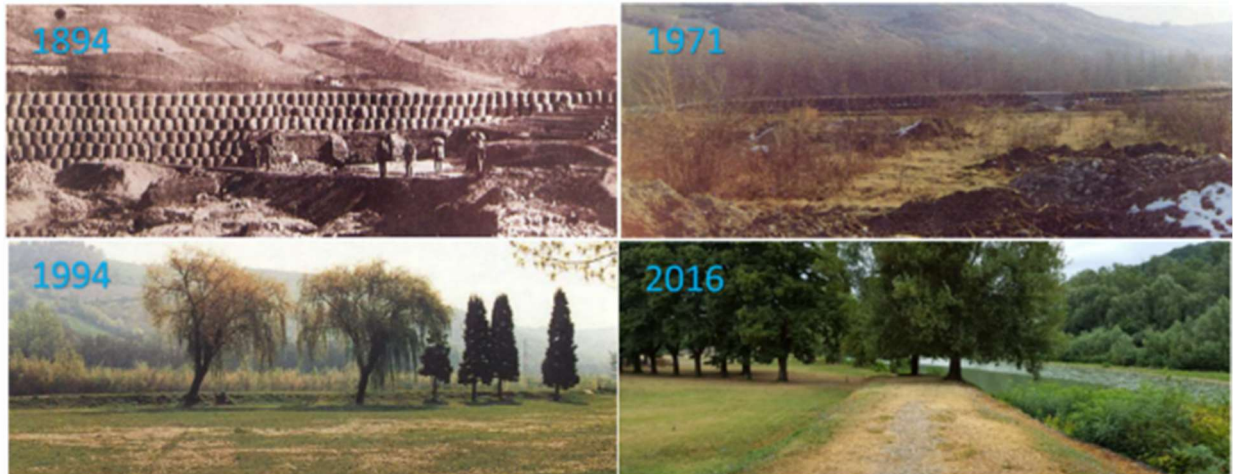
Figura 2.8: Seção do muro de contenção das margens do Rio Reno em 1893



Fonte: Agostini, 1891 *apud* Junior, 2018

Esta obra realizada nas margens do Rio Reno continua funcional até os dias atuais (Figura 2.9) e apresenta vestígios da malha metálica utilizada no gabião da época (Figura 2.10).

Figura 2.9: Evolução da primeira obra em gabião



Fonte: Agostini, 1891 *apud* Junior, 2018

Figura 2.10 Malha metálica usada no gabião



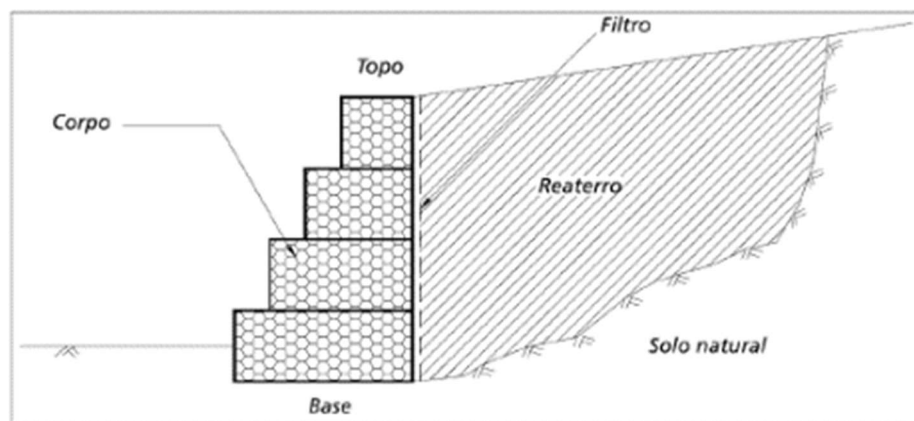
Fonte: Agostini, 1891 *apud* Junior, 2018

Esta solução em gabião começou a ser utilizada no Brasil no início dos anos 70 e hoje existem diversas obras em todas as regiões do país.

2.2.3.2 Estrutura de Contenção em Gabião

As estruturas de contenção a gravidade em gabões são um tradicional sistema de contenção. Segundo Barros (2010), contenções em gabões são constituídas por gaiolas metálicas com telas de malha hexagonal de dupla torção construídas com fios de aço galvanizado e preenchidas com pedras organizadas manualmente. Essas estruturas são muito vantajosas, pois possuem um conjunto de características funcionais que não encontramos em outros tipos de estruturas (Figura 2.11).

Figura 2.11 Muro em gabões



Fonte: Barros, 2010

A determinação do material a ser utilizado, quanto as características do material de preenchimento tanto da malha, é fundamental para obtenção de uma estrutura eficaz.

Para Barros (2010) a malha que melhor atende aos requisitos técnicos é a hexagonal de dupla torção, produzida com arames de baixo teor de carbono, revestidos com liga de zinco 95%, alumínio 5% e terras raras, podendo também possuir revestimento plástico. Barros (2010) classifica as estruturas em gabões como:

- Monolíticas, isto é, após a união dos gabões entre si, obtêm-se uma estrutura homogênea que apresenta as mesmas características de resistência ao longo de toda estrutura.
- Resistentes, visto que a malha hexagonal de dupla torção utilizada na composição dos gabões proporciona uma melhor distribuição dos esforços a

que a estrutura é submetida, além de impedir o desfiamento da tela caso algum ponto do arame se rompa.

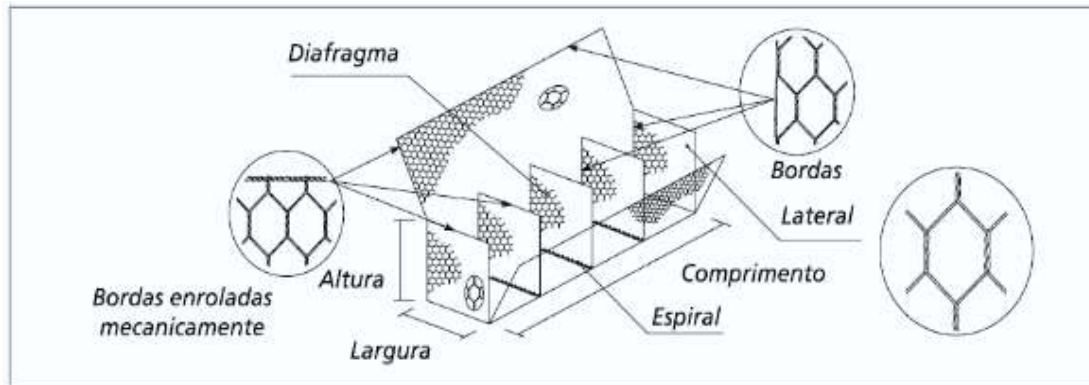
- Duráveis. Quando os gabiões são aplicados em ambientes não agressivos, o material que compõe a malha resiste muito além de 50 anos. Já no caso de utilização em ambientes quimicamente agressivos, utiliza-se um revestimento plástico adicional (PVC) para prolongar a vida útil da malha.
- Armadas, pois a tela metálica, além de conter as pedras, tem a função de distribuir os esforços de tração que agem sobre a estrutura.
- Flexíveis, pois permitem a adaptação das estruturas a acomodações e movimentos do solo sem perder sua estabilidade e eficiência. Ainda permite que a estrutura se deforme muito antes de entrar em colapso, garantido a possibilidade de intervir, minimizando gastos e evitando de possíveis acidentes.
- Permeáveis, pois a elevada porosidade dos gabiões (vazios entre as pedras) torna a estrutura auto drenante, com isso, dispensa a necessidade da aplicação de um sistema de drenagem.
- De baixo impacto ambiental, pois integram-se facilmente ao meio ambiente e não interferem no fluxo de água por serem permeáveis.
- Práticas e versáteis. Apresenta alta facilidade construtiva, visto que a construção de um muro em gabião dispensa a necessidade de formas e de mão-de-obra especializada para montagem dos mesmos. Podem ser construídos sob qualquer condição ambiental, com ou sem equipamento mecânico inclusive em locais de difícil acesso. É eclético pois permite alterações na estrutura mesmo após finalizada.
- Econômicas, pois quando comparadas a outras soluções, apresentam custos diretos e indiretos mais baixos.

2.2.3.3 Gabião tipo caixa

O gabião tipo caixa é uma estrutura em formato de prisma, que é produzido a partir de um único elemento em malha hexagonal de dupla torção que forma suas

faces traseira, frontal, a base e a tampa. A este elemento são unidos os diafragmas e as paredes laterais (Figura 2.12).

Figura 2.12: Elementos constituintes do gabião tipo caixa



Fonte: Barros, 2010

Barros (2010) afirma que as estruturas de contenção em gabiões são as mais adequadas para construção de obras de contenção. O gabião tipo caixa é produzido em dimensões padronizadas, sendo:

Tabela 1: Dimensões padronizadas do gabião tipo caixa

Dimensões Gabião tipo caixa				
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Diafragmas (un.)	Volume (m ³)
1,50	1,00	0,5	-	0,75
2,00	1,00	0,5	1	1,00
3,00	1,00	0,5	2	1,50
4,00	1,00	0,5	3	2,00
5,00	1,00	0,5	4	2,50
5,00	1,50	0,5	4	3,75
1,50	1,00	1,00	-	1,50
2,00	1,00	1,00	1	2,00
3,00	1,00	1,00	2	3,00
4,00	1,00	1,00	3	4,00
5,00	1,50	1,00	5	7,50

Fonte: Barros, 2010

2.2.3.4 Metodologia Executiva

Os gabiões tipo caixa, são fornecidos dobrados e agrupados em fardos e para iniciar sua montagem devemos retirá-los dos fardos e transportá-los ainda dobrados para algum local com superfície plana e rígida onde será iniciado seu desdobramento e serão retiradas as irregularidades da malha conforme indica a Figura 2.13.

Figura 2.13: Preparação do gabião, parte 1



Fonte: Barros, 2010

Segundo Barros (2010), para os gabiões tipo caixa inicia-se dobrando e levantando a face frontal e a tampa até a posição vertical assim como a face posterior. Com isso, obtém-se o formato de uma caixa aberta. Após formada essa caixa, deve ser unir os fios de borda que sobressaem nos cantos da malha torcendo-os entre si. Para realizar a costura e a união dos gabiões é necessário um arame para amarração que é adquirido junto a compra dos mesmos. Utilizando esse arame amarra-se as arestas verticais que estão em contato e os diafragmas (Figura 2.14), desta forma o gabião ficará separado em células iguais. Para cada aresta de um metro de comprimento, são necessários aproximadamente um metro e quarenta centímetros de arame. A tampa, nesta etapa, deve ser deixada dobrada sem ser amarrada.

Com o elemento já montado, deve-se transportá-lo para o lugar aonde ele será utilizado e posicioná-lo de forma correta. Os elementos são amarrados ainda vazios uns aos outros, ao longo de todas as arestas de contato (menos as das tampas)

formando assim a primeira camada da estrutura. As tampas devem ser dobradas em direção à face externa e dispostas de tal maneira que o enchimento seja facilitado.

Figura 2.14: Preparação do gabião, parte 2

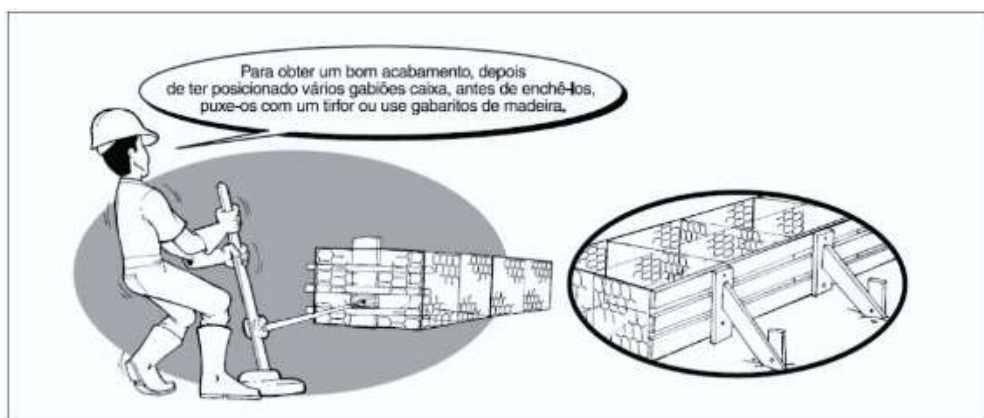


Fonte: Barros, 2010

Deve-se confirmar que as características de solo como: nivelamento do plano de apoio e a resistência estejam conforme consideradas em projeto, pois caso contrário, a camada superior do terreno que terá contato com o gabião, deverá ser substituída por material granular de boas características, pois uma resistência menor que a prevista poderá colocar em risco a estabilidade do muro.

A fim de garantir um bom acabamento e uma estética agradável nas estruturas em gabião deve-se recorrer a utilização de gabaritos no parâmetro externo para manter-se o alinhamento da estrutura e evitar deformações (Figura 2.15).

Figura 2.15: Preparação do gabião, parte 3



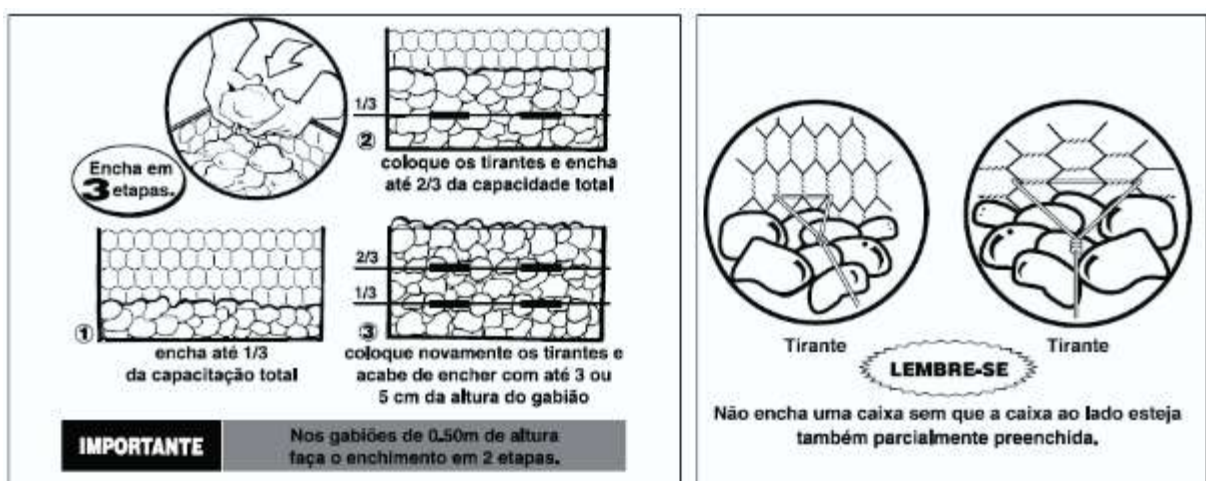
Fonte: Barros, 2010

Para o preenchimento devem ser usadas pedras, compactas, limpas e não solúveis em água, deve sempre ser priorizado material de maior peso específico, pois o comportamento da estrutura a gravidade depende diretamente do seu peso próprio. As dimensões adequadas para as pedras usadas devem ser uma vez e meia a duas vezes a dimensão da malha hexagonal.

As pedras devem ser acomodadas para reduzir ao máximo o índice de vazios das caixas de gabião (entre 30% e 40%) até alcançar aproximadamente trinta centímetros de altura, no caso de gabiões com um metro de altura, ou vinte e cinco centímetros para os de meio metro de altura. Devem, então, ser colocados dois tirantes (tensores) horizontalmente em cada célula. Estes tirantes devem ser amarrados a duas torções (mínimo quatro arames distintos) da face frontal e a duas da face posterior de cada célula.

Após esta etapa preenchimento, para gabiões com um metro de altura, deve ser preenchido outro terço da célula e repetida a operação anteriormente mencionada para os tirantes. Deve ser tomado o cuidado para que a diferença entre o nível das pedras de duas celas vizinhas não ultrapasse trinta centímetros, para evitar a deformação do diafragma ou das faces laterais, que caso ocorra poderá dificultar o preenchimento e o fechamento da tampa (Figura 2.16).

Figura 2.16: Preenchimento do gabião e detalhe dos tirantes

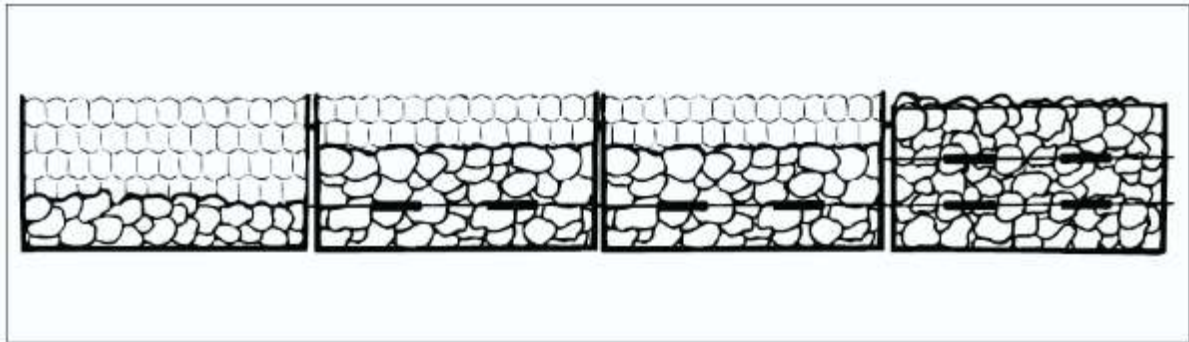


Fonte: Barros, 2010

Para os gabiões com meio metro de altura, deve-se preencher inicialmente, até metade da altura da caixa, colocar os tirantes e então completar o enchimento.

O preenchimento dos gabiões tipo caixa pode ser realizado manualmente ou com o auxílio de equipamentos mecânicos.

Figura 2.17: Detalhes das etapas de preenchimento em células vizinhas



Fonte: Barros, 2010

Depois de completado o preenchimento das células dos gabiões, a tampa que havia ficado dobrada, deve então ser desdobrada e posicionada sobre a caixa com a finalidade de fechar superiormente o gabião, sendo amarrada a todas as bordas superiores dos painéis verticais ao longo de todo seu perímetro. A amarração deve também, unir toda as arestas de contato com o gabião vizinho conforme Figura 2.18.

Figura 2.18: Detalhe da etapa de fechamento



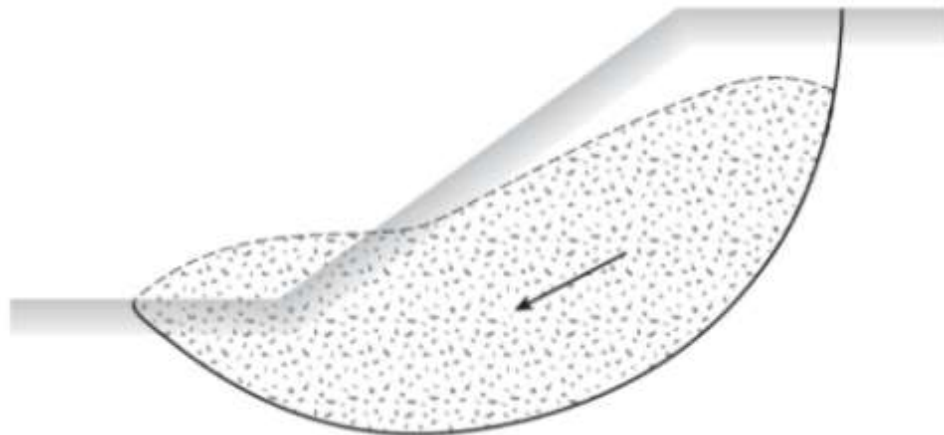
Fonte: Barros, 2010

2.3. Estabilidade de Taludes - Dimensionamento e metodologia de cálculo

2.3.1 Introdução

Frequentemente, os engenheiros civis se deparam com a necessidade de verificar a segurança de superfícies inclinadas dos solos, que são chamados de taludes. Esses taludes podem ser naturais (encostas) ou construídos pelo homem (cortes e aterros). O fenômeno gravitacional tende a mover o solo para baixo, conforme indicado na Figura 2.19. Se a componente da gravidade for elevada podem ocorrer ruptura do talude que é o deslizamento da massa de solo para baixo.

Figura 2.19: Escorregamento de talude



Fonte: Braja, 2020

Segundo Braja (2020) essa verificação envolve a determinação da resistência ao cisalhamento que é a resistência interna por área unitária que a massa de solo pode oferecer para resistir a rupturas e deslizamentos ao longo de qualquer plano no seu interior. Esse processo é chamado de análise de estabilidade de taludes, a tarefa do engenheiro é analisar o plano de ruptura e dimensionar a estrutura de contenção para atender o fator de segurança.

Para auxiliar o engenheiro na análise de estabilidade de taludes foram desenvolvidos programas e software que são capazes de lidar com uma grande

variedade de situações diferentes, que podem ocorrer na prática e assim limitar a um mínimo de situações que necessitam de análises mais profundas e complementares.

Um dos softwares utilizados é o GawacWin que foi desenvolvido para prover aos projetistas um instrumento rápido e confiável para a análise de estabilidade de taludes com utilização da estrutura de contenção do tipo gabião. Este software utiliza os métodos de cálculos das Teorias de Rankine, Coulomb, Bishop entre outros, para verificação da estabilidade global da estrutura. Com a manipulação de complexos cálculos, o software realiza uma análise tridimensional considerando os cenários mais pessimista levando os resultados a favor da segurança.

2.3.2 Fator de Segurança

Segundo a norma NBR 11682 (ABNT, 2009) o fator de segurança é a relação entre os esforços estabilizantes (atuantes) para determinado método de cálculo adotado. A tarefa do engenheiro é determinar o fator de segurança (FS) mais adequado para a contenção de um talude, levando em consideração o local da obra e áreas vizinhas, potencial de danos ambientais, materiais e a finalidade da contenção.

Segundo Braja (2020) o fator de segurança de definido por:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Onde: F_s = fator de segurança com relação à resistência

τ_f = resistência média ao cisalhamento do solo

τ_d = tensão média de cisalhamento desenvolvida ao longo da superfície potencial de ruptura

Os parâmetros praticados para elaboração de projetos são:

$$F_s = \left\{ \begin{array}{l} > 1 \rightarrow \text{obra estável} \\ = 1 \rightarrow \text{talude em estado de ruptura iminente} \\ < 1 \rightarrow \text{não tem significado físico} \end{array} \right\}$$

A norma NBR 11682 (ABNT, 2009), estabelece que, dependendo dos riscos envolvidos, deve-se inicialmente enquadrar o projeto em uma das classificações de nível de segurança, definidos a partir dos riscos de perdas humanas, conforme indicado na Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Nível de segurança desejável contra perdas 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: ABNT NBR 11682, 2009

Tabela 3: Fatores mínimos para estabilidade de taludes

Nível de segurança conta perdas de vidas humanas	Nível de segurança conta danos materiais e ambientais		
	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 de ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10%. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semi-probabilístico indicado no Anexo D da referida norma.

Nota 2: No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , c e ϕ , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1.1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

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

Fonte: ABNT NBR 11682, 2009

O fator de segurança pode ter variações dependendo do tipo de metodologia de cálculo adotado, porém todos fazem referência ao “Equilíbrio Limite”. Na sequência iremos abordar os tipos de cálculos utilizados pelo software e os princípios básicos envolvidos na análise da estabilidade de taludes.

2.3.3 Empuxo

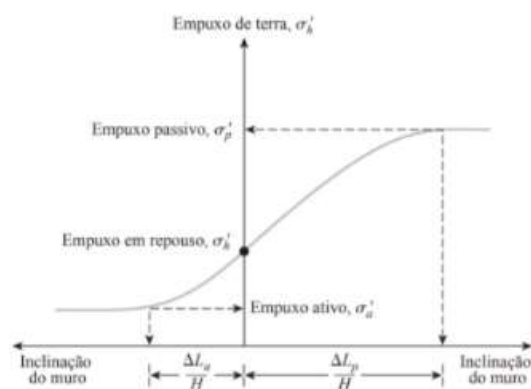
Empuxos são as forças que uma massa de solo exerce sobre alguma estrutura que com ela esteja em contato, são muito importantes, principalmente para o dimensionamento de estruturas de contenção. Braja (2020) esclarece que o planejamento e a construção dessas estruturas exigem o conhecimento amplo sobre as forças laterais que atuam entre as estruturas de contenção e as massas de solos contidas. A distribuição do empuxo lateral da terra depende de muitos fatores, como os parâmetros de resistência ao cisalhamento, natureza do movimento do muro, inclinação e altura da superfície e do muro.

Caputo (1996) informa que os empuxos podem ser classificados da seguinte forma:

- Empuxo no repouso: que é a pressão atuante quando a estrutura não se desloca (antes da escavação).
- Empuxo ativo: é a pressão limite induzida entre o solo e o muro quando existe uma tendência de movimentação do solo no sentido de expandir horizontalmente.
- Empuxo passivo: é a pressão limite induzida entre o solo e o muro quando existe uma tendência de movimentação do solo no sentido de se comprimir horizontalmente.

A Figura 2.20 apresenta os esforços que os tipos de empuxo incidem sobre o muro.

Figura 2.20: Variação da magnitude do empuxo com a inclinação do muro



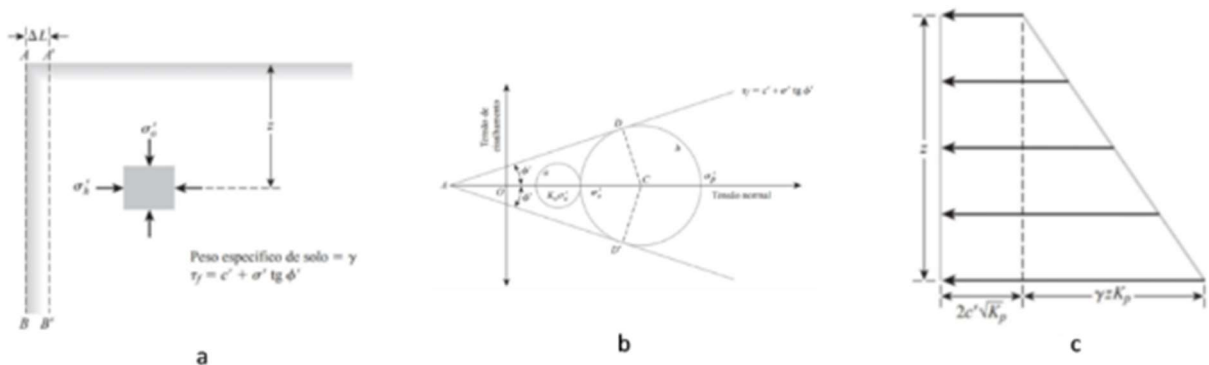
Fonte: Braja, 2020

2.3.4 Método de Rankine

William John Macquorn Rankine nasceu na Escócia no século XIX e trabalhou nos setores nas áreas da engenharia mecânica, naval, civil além da física. Um dos seus trabalhos mais famosos foi na área da Termodinâmica e na construção do motor a vapor. Na engenharia civil Rankine dedicou seus estudos para desenvolvimento de técnicas de muros de contenção onde produziu a Teoria dos Empuxos que hoje é aplicada em solos que sofrem esforços sísmicos e para os cálculos de resistência ao cisalhamento.

O Método de Rankine é mais aplicado quando toda massa de solo no espaço entre o talude e o muro (retroaterro) encontra-se em um estado de equilíbrio plástico e é muito utilizada em muros de contenções de grande altura. Segundo Braja (2020) o conceito pode ser explicado na Figura 2.21 que é um muro sem atrito que se estende a uma profundidade infinita (Figura 2.21a) tendo sua condição inicial de tensão representado pelo círculo de Mohr (Figura 2.21b) e a variação do empuxo de acordo com a profundidade (Figura 2.21c).

Figura 2.21: Empuxo de terra de Rankine



Fonte: Braja, 2020

Para analisar o estado da tensão de um elemento indicado na Figura 2.21a Rankine definiu a seguinte equação:

$$\sigma_v = \gamma \cdot z$$

Onde: σ_v = tensão vertical

γ = peso específico do solo

z = profundidade do elemento

Para determinar a pressão de terra ativa e passiva Rankine desenvolveu as seguintes equações:

$$\text{Pressão ativa: } \sigma'_a = \gamma z K_{a(R)} = \gamma z K'_{a(R)} \cos \alpha$$

Em que $K'_{a(R)}$ = Coeficiente de empuxo ativo de Rankine

$$K'_{a(R)} = \frac{K_{a(R)}}{\cos \alpha}$$

De maneira similar,

$$\text{Pressão passiva: } \sigma'_p = \gamma z K_{p(R)} = \gamma z K'_{p(R)} \cos \alpha$$

Em que $K'_{p(R)}$ = Coeficiente de empuxo passivo de Rankine

$$K'_{p(R)} = \frac{K_{p(R)}}{\cos \alpha}$$

2.3.5 Método de Coulomb

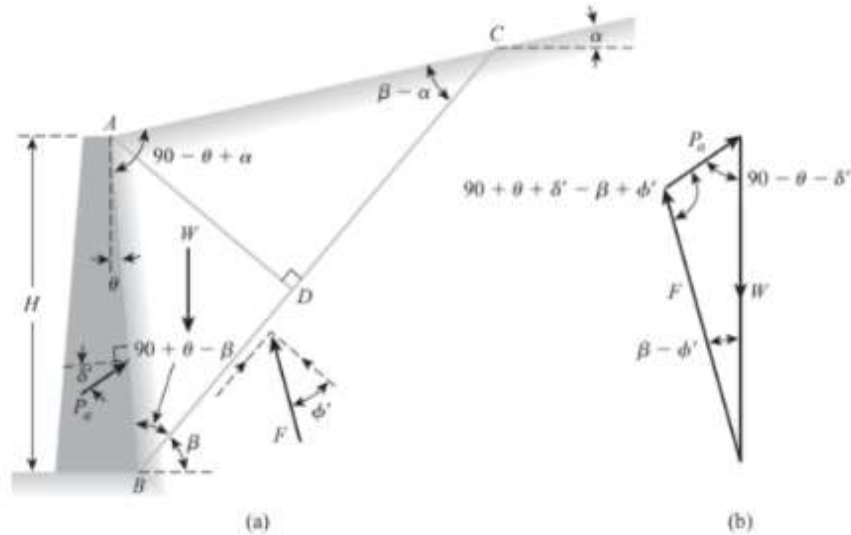
Charles Augustin de Coulomb foi um físico e engenheiro francês do século XVIII que realizou grandes trabalhos nas áreas de eletricidade e magnetismo e também desenvolveu um modelo matemático que descreve a resposta de materiais às tensões de cisalhamento e normal. Essa teoria é usada para definir a resistência ao cisalhamento de solos e diferentes tensões efetivas.

No Método de Coulomb, considera-se o equilíbrio limite de uma cunha de solo com seção triangular que é uma porção de solo que pode ocorrer o deslizamento, delimitada pela face posterior do muro e pelas superfícies de retroaterro e de ruptura. A vantagem desse método reside no fato que se pode considerar a ocorrência de atrito entre a estrutura de arrimo e o solo, além de possibilitar a análise de estruturas com o paramento não vertical.

Entende-se que o Método de Coulomb tem aplicação mais ampla, pois vale para condições irregulares de geometria de muro, de superfície e de retroaterro, sem desprezar a resistência mobilizada entre o muro e o solo.

Braja (2020) detalha que a face posterior do muro que suporta o solo, cuja superfície tem um inclinação constante em um ângulo α com a horizontal, conforme mostra a Figura 2.22a a direção BC é uma superfície possível de ruptura e as forças que agem sobre a cunha são mostradas na Figura 2.22b.

Figura 2.22: Método Coulomb



Fonte: Braja, 2020

O triângulo das forças para a cunha é mostrado na Figura 2.22b, da Lei dos senos tem-se:

$$\frac{W}{\text{sen}(90^\circ + \theta + \delta' - \beta + \phi')} = \frac{P_a}{\text{sen}(\beta - \phi')}$$

Onde: W = peso da cunha do solo

P_a = empuxo ativo por unidade de comprimento do muro, inclinada com ângulo

δ' = ângulo de atrito entre o solo e o muro

θ = valor constante de tabela

ϕ' = valor constante de tabela

β = valor do empuxo ativo

2.3.6 Teoria de Bishop

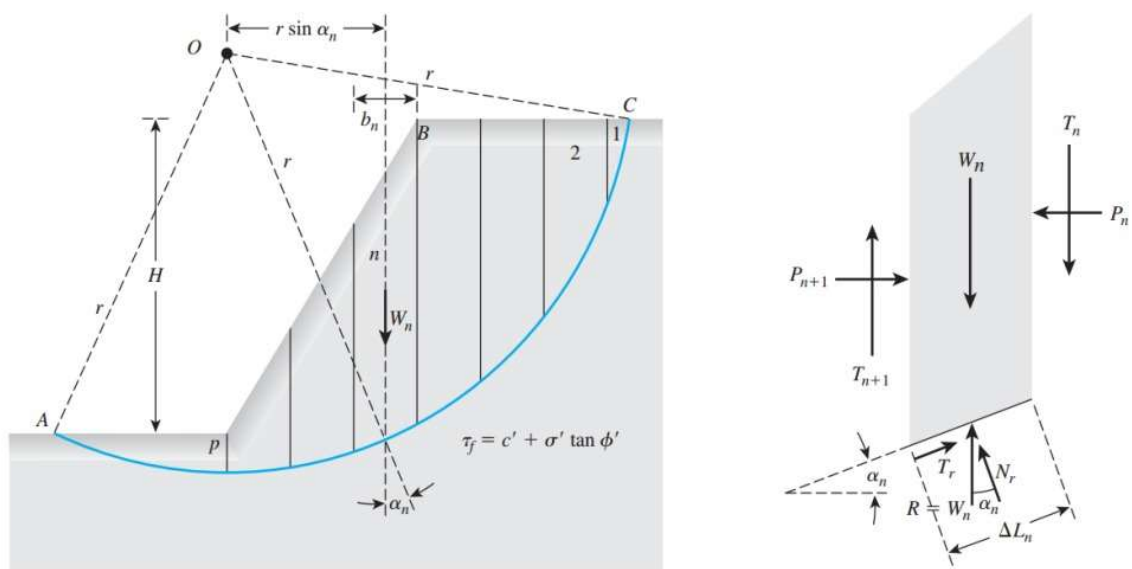
Alan Wilfred Bishop, foi um físico e engenheiro Britânico que faleceu em 1988 que desenvolveu um método menos rigorosos capaz de analisar superfícies potenciais de ruptura com forma circular.

Neste método, conhecido como “Método das Fatias” ou Método Bishop simplificado considera que as forças de interação entre as fatias são horizontais e se anulam, desconsiderando as forças tangenciais entre elas. O equilíbrio das forças realizado na vertical, fazendo com que o método satisfaça a mais uma condição de equilíbrio, além do equilíbrio de momentos e relação ao centro do ponto médio da base da fatia. Braja (2020) destaca que nesse método, o efeito das forças nas faces de cada fatia é levado em conta só até certo ponto, confirmando o entendimento em relação ao ponto médio da base da fatia. Através da Figura 2.23 visualiza-se as fatias e suas dimensões para estudo das forças atuantes e seu equilíbrio.

Este método de equilíbrio limite incorporam as seguintes hipóteses:

- Superfície de ruptura bem definida;
- Condição de ruptura da massa de solo é generalizada e incipiente;
- O Método de Coulomb é atendido ao longo da superfície;
- O Fator de Segurança é único.

Figura 2.23: Método Bishop



Fonte: Braja, 2020

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Pesquisa quanto aos fins

A metodologia pode ser definida como a sistemática para alcançar um resultado. O dicionário Houaiss define a palavra metodologia como a ciência que estuda os métodos aos quais ela mesmo recorre, ou seja, o caminho percorrido de uma pesquisa até a sua conclusão. Em resumo, metodologia quer dizer o passo a passo utilizado para a obtenção de um determinado resultado. Segundo Gil (2020) a pesquisa desenvolve-se por um processo construtivo por várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados.

O motivo para se iniciar uma pesquisa é se existe um questionamento ou uma dúvida sobre um determinado tema, é buscar resposta para alguma coisa. Os critérios adotados por Gil (2002) classificam as pesquisas em três grupos: exploratórias, descritivas e explicativas.

3.1.1 Pesquisa exploratória

Pesquisa exploratória fornece informação que amplia a familiaridade com o assunto abordado, fornece suporte à construção de conceitos e hipóteses iniciais e posteriormente uma maior compreensão, entendimento e precisão do tema. A pesquisa exploratória envolve experiências práticas com o problema pesquisado e análise de hipóteses e dados que estimulem a compreensão. Gerhardt e Silveira (2009) destacam que esta etapa representa o período de investigação informal e relativamente livre no qual o pesquisador procura obter entendimento dos fatores que exercem influência na situação que constitui o objeto de pesquisa.

3.1.2 Pesquisa descritiva

A pesquisa descritiva exige do pesquisador uma séria de informações sobre o qual se deseja pesquisar. As pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômenos ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. Esse tipo de pesquisa, geralmente,

assume a forma de levantamento com produção de inúmeros dados apenas quantificáveis sem um exame crítico das informações. Segundo Gil (2020) salientam-se aquelas pesquisas que tem por objetivo estudar as características de um grupo: distribuição por idade, sexo, nível de escolaridade, saúde física, mental, etc.

3.1.3 Pesquisa explicativa

A pesquisa explicativa registra fatos, analisa-os, interpreta-os e identifica suas causas que contribuem para ocorrência dos fenômenos ou variáveis que afetam o processo. Este tipo de pesquisa é o que mais aprofunda o conhecimento e exige maior investimento na análise, teorização e reflexão do objeto de estudo para explicar a razão e o porquê das coisas. Gil (2002) complementa que esse tipo de pesquisa se preocupa em identificar os fatores que determinam ou que auxiliam para a ocorrência do fato.

A presente pesquisa se encaixa no grupo de Pesquisas Exploratórias, pois tem como principal finalidade o estudo de caso de uma contenção de talude com gabião e desenvolver um comparativo com outra alternativa de contenção que será o muro de arrimo e ainda, esclarecer as vantagens da utilização do gabião.

3.2 Pesquisa quanto aos meios

Para desenvolver uma pesquisa, é fundamental selecionar o método de pesquisa a utilizar. De acordo com as características da pesquisa, poderão ser escolhidas diferentes enquadramentos de pesquisa, sendo possível aliar o qualitativo ao quantitativo.

3.2.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de publicações científicas, livros, artigos, referências teóricas já analisadas e esse tipo de pesquisa não se dedica a coleta de dados e estudos experimentais. A pesquisa bibliográfica é indispensável nos estudos históricos já que não há outra maneira de conhecer os fatos passados a não ser por base de dados bibliográficos. Para Gerhardt e Silveira (2009)

os exemplos mais característicos desse tipo de pesquisa são sobre ideologias ou aquelas que se sobrepõem à análise das diversas posições acerca de um problema.

3.2.2 Pesquisa experimental

De acordo com Gil (2002) a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Na pesquisa experimental é determina-se um objeto de estudo, seleciona-se as variáveis capazes de influenciá-lo e define-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Este tipo de pesquisa pode ter limitações quando se trata-se de objetos sociais (pessoas, grupos ou instituições) pois a natureza ética e humana como idade, sexo, histórico familiar pode dificultar a manipulação experimental.

3.2.3 Pesquisa de levantamento

A pesquisa de levantamento é um tipo de pesquisa que se realiza para obtenção de dados, opiniões de um grupo de pessoas ou informações de sobre determinada característica ou assunto relacionado à um grupo de pessoas. Desse modo a pesquisa de levantamento visa descrever a distribuição das características que ocorrem naturalmente em um grupo da população. O processo desta pesquisa é a solicitação de informações a um grupo significativo de pessoas acerca do assunto estudado para, em seguida, obterem as conclusões correspondentes aos dados coletados através da análise quantitativa. Gerhardt e Silveira (2009) esclarecem que os estudos descritivos são os que mais se adequam aos levantamentos, como por exemplo os estudos de opiniões e atitudes.

3.2.4 Pesquisa com *survey*

A pesquisa com *survey* busca informação diretamente com um grupo de interesse a respeito dos dados que se deseja obter, Gil (2002) complementa que as pesquisas desse tipo se caracterizam pela interrogação direta das pessoas cujo

comportamento se deseja conhecer. Neste tipo de pesquisa a análise é feita a partir da dados coletados através de formulários e questionários e o pesquisado pode optar por não ser identificado, garantindo o seu sigilo. São exemplos de pesquisa com *survey* as pesquisas de opinião e realização de mapeamento botânico.

3.2.5 Estudo de caso

O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo de um determinado assunto / tema de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado. O estudo de caso é definido por Yin (2001) como o delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno contemporâneo, dentro do seu contexto real, onde os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos.

Segundo Gil (2002) o estudo de caso é um estudo aprofundado de um ou pouco objetivos, desta forma possibilitando um grau de detalhamento maior. O proposto do estudo de caso é explanar situações da vida real, desenvolver teorias, realizar explicação referente a fenômenos ou variáveis de grau elevado de complexidade.

Dado as explicações de alguns tipos de pesquisas quantos aos meios a presente pesquisa é uma pesquisa classificada como Estudo de Caso pois será realizado um profundo estudo de uma situação real que é a aplicação do gabião como contenção de um talude e com o objetivo de explicar a sua vantajosidade em relação a outro tipo de contenção, que será o muro de arrimo, através de cálculos e auxílio de softwares.

3.3 Organização em estudo

O objeto de estudo da pesquisa é uma obra de contenção com utilização de gabião que foi realizada na Avenida Adail Tófani no bairro Liberdade, pela Prefeitura de Santa Luzia – MG. A figura 3.1 demonstra o talude erodido com o trânsito em meia pista e depois o local com a obra finalizada e a via desobstruída.

Figura 3.1: Antes e depois da obra



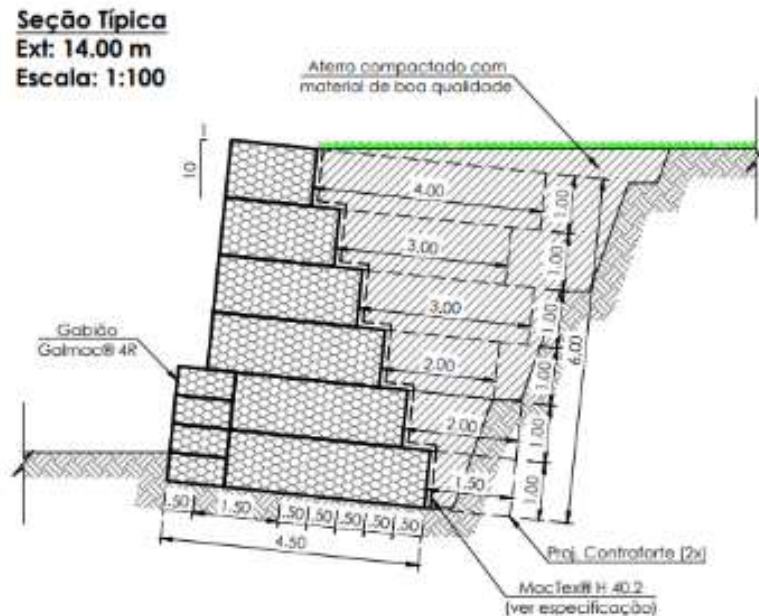
Fonte: Os autores

Os estudos e projetos básicos, que foram fornecidos para a Prefeitura e que serviram como suporte técnico para execução das obras, foram desenvolvidos pela empresa Maccaferri, que é a pioneira e detentora da tecnologia de estruturas de contenção do tipo gabião. A obra foi executada entre Maio à Agosto de 2020 em caráter emergencial devido as questões de segurança e estabilidade do trecho da avenida em que ocorreu o deslizamento de terra.

A Maccaferri é uma empresa multinacional com mais de 140 anos de existência, de origem italiana. A sede da empresa para os negócios na América Latina está localizada em Jundiaí – SP e a empresa possui escritórios regionais em todo Brasil, inclusive um escritório em Belo Horizonte na região da Pampulha.

A estrutura de contenção possui quatorze metros de comprimento, aproximadamente seis metros de altura, possui um volume de cerca de trezentos e vinte metros cúbicos e foi executada com o sistema de gabião tipo caixa.

Figura 3.2: Seção típica da contenção em gabião



Fonte: Maccaferri, 2020

3.4 Universo e amostra

Segundo Gil (2002), universo é um conjunto definido de elementos que possuem determinadas características. Nesse estudo de caso, o universo é composto pela variedade de soluções para obras de contenção.

Definido o universo do estudo de caso, partiu-se para a coleta da amostra. A amostra de acordo com Marconi e Lakatos (2002), é uma parcela convenientemente selecionada do universo a ser pesquisado, é, então, um subconjunto do universo. Os tipos de amostragem podem ser classificados em dois grandes grupos: amostragem probabilística e não-probabilística.

- Probabilística: é aquela na qual a seleção é aleatória e cada elemento da população tem probabilidade de fazer parte da amostra, é rigorosamente científica. Os modelos de amostragem probabilísticas mais usuais são: amostra aleatória simples, amostra sistemática, amostra estratificada, amostra por conglomerado.
- Não probabilística: é aquela em que a coleta é baseada em critérios definidos previamente, não apresentam fundamentação matemática ou estatística,

dependendo unicamente de critérios do pesquisador. Os modelos de amostragem não probabilísticas mais usuais são: amostra por conveniência, amostra por julgamento, amostra por cotas, amostra bola de neve, amostra desproporcional.

Existem várias técnicas disponíveis na engenharia para o universo de contenções de talude e a presente pesquisa se adequa melhor como amostragem não probabilística pois a escolha do tema foi específica e a amostra selecionada foi o gabião.

3.5 Formas de coleta e análise dos dados

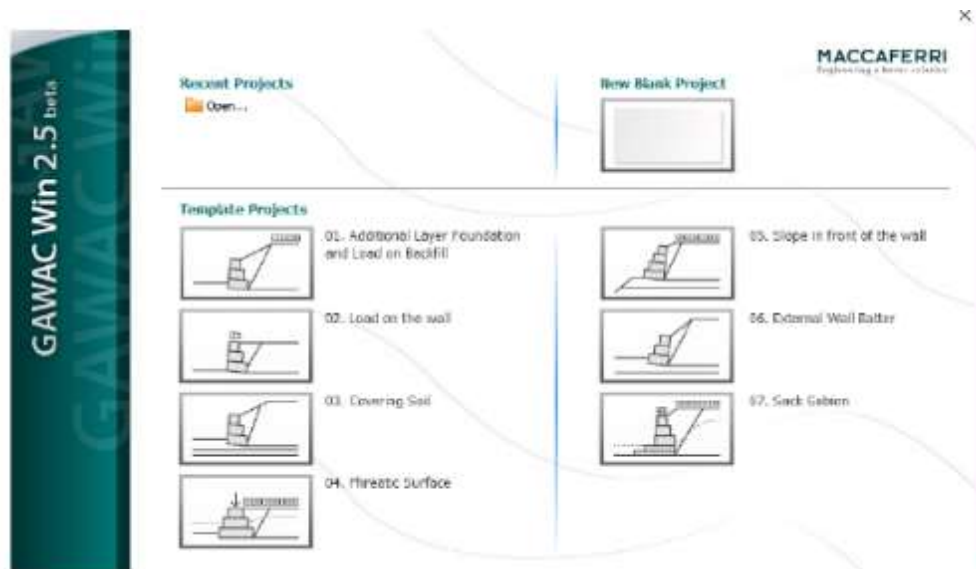
De acordo com Yin (2001), o método de estudo de caso possibilita o envolvimento de diferentes fontes de evidência e conforme o conceito definido pelo autor a presente pesquisa será baseada nos dados utilizados pela empresa que, a partir de estudos viabilizou a fase executiva do projeto. A partir destes estudos serão simulados os dados fazendo a comparação do gabião e do muro de arrimo quanto ao fator de segurança e fator econômico.

3.5.1 Dados de projeto

Dentro dessa fase de pesquisa serão analisadas algumas informações necessárias que foram consideradas como premissas para execução dos estudos de viabilidade técnica e projeto básico de contenção do talude e especificações dos materiais. Essas informações serão repassadas pela equipe técnica da empresa que foi responsável pelo desenvolvimento dos estudos, tendo como participação a equipe de engenharia e os autores dessa pesquisa. Serão coletados no site da Prefeitura Municipal de Santa Luzia a Planilha Orçamentária, o Termo de Referência e a documentação contratual da empresa executora.

Iremos utilizar o software GawacWin, que é disponibilizado de maneira pública para que possamos realizar as análises da contenção em gabião obtendo de modo final os fatores de segurança. Este software tem *templates* padrões permitem a modulação do muro (Figura 3.3) que podem ajustar a geometria do gabião, por camada, de acordo com as dimensões e condições do local.

Figura 3.3: Templates GawacWin



Fonte: Software GawacWin

As condições gerais de projeto como a altura, largura das camadas de acordo com a modulação do gabião serão inseridas no software. Automaticamente o software considera as especificações da malha, peso específico e índice de porosidade do gabião. Os dados de projetos obtidos com a empresa serão observados em campo nas visitas técnicas que estão previstas para a próxima etapa desta presente pesquisa.

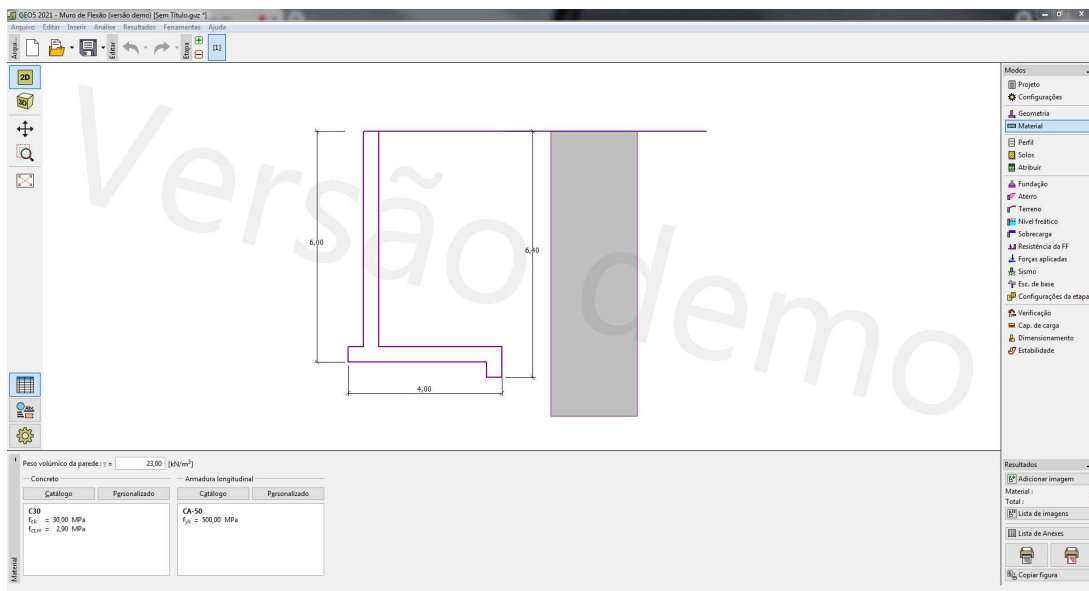
Para inserção dos dados de fundação é necessário um estudo geotécnico com investigação do subsolo, entretanto, devido a experiência da empresa em projetos similares, pode-se simular alguns destes dados de modo a chegar em valores mais fidedignos possíveis. O software desenvolve os cálculos de acordo com as propriedades do tipo de solo adotado e se houver presença de água no solo pode ser inserido a altura do nível de água.

Na definição das camadas de terrapleno deverá ser levando em consideração as condições do local e da geometria prevista do gabião, os dados do comprimento, inclinação dos trechos de terrapleno e dados sobre as propriedades do solo são informadas ao software para o cálculo. Toda metodologia executiva prevista no projeto será verificada em campo e através da análise do acervo fotográfico da obra.

Para o dimensionamento do muro de flexão utilizaremos o software Geo5 da empresa Fine onde utilizaremos as mesmas premissas do tipo de solo, sobrecarga adotados na análise do gabião.

Os tipos de análise já estão pré-configuradas no Geo5, no entanto, é possível escolhermos o método desejado que será desenvolvido, dentre eles estão disponíveis as teorias de Coulomb e Rakine. O software permite escolher as normas dos materiais que serão adotados no dimensionamento do muro, neste caso NBR 6118 (ABNT, 2014). Também é calculado a armação necessária do muro de flexão de acordo com a definição da classe do aço e concreto.

Figura 3.4: Layout Geo5



Fonte: Software Geo5

Nesta etapa será lançado no sistema as cargas provenientes do pavimento sobre o terrapleno e o equilíbrio das cargas no muro como exemplo o empuxo vertical, empuxo horizontal e o peso do muro. A partir de um prévio estudo do trânsito local pôde-se obter as cargas médias sobre o solo.

3.5.2 Análise dos dados obtidos

Após o preenchimento dos dados de entrada dos softwares será processado os relatórios de saída onde serão verificados os resultados de estabilidade global e

verificações externas (deslizamento, tombamento e pressão na fundação) como resultado o fator de segurança calculado para cada item, conforme indicado na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4: Resultados dos Fatores de Segurança – Muro em gabião

Externa				Interna	Global
FS para Deslizamento	FS para Tombamento	FS - Tensão na Base esq.	FS - Tensão na Base dir.	FS Interna (crítica)	FS Global
3.58	7.60	4.49	6.10		2.93
Satisfied	Satisfied	Satisfied	Satisfied		Satisfied

Fonte: Software GawacWin

Tabela 5: Resultados dos Fatores de Segurança – Muro de flexão

Fator de segurança = 7,25 > 1,50 Resistência do muro ao tombamento É SATISFATÓRIA
Verificação de deslizamento Reação horizontal $H_{res} = 258,47$ kN/m Força horizontal ativa $H_{act} = 26,70$ kN/m
Fator de segurança = 9,68 > 1,50 Resistência do muro ao deslizamento É SATISFATÓRIA
Verificação global - MURO É SATISFATÓRIA

Fonte: Software Geo5

Também será verificado o melhor custo benefício das duas opções de contenção considerando os aspectos técnicos, econômicos, ambientais, Fator de Segurança e prazo.

Quanto ao custo executivo da implantação faremos o levantamento dos quantitativos e utilizaremos a tabela Sinapi da Caixa Econômica Federal como parâmetros para a composição dos custos unitários do projeto para a comparação entre as duas opções.

3.6 Limitações da pesquisa

Devido ao cenário de pandemia mundial do Covid-19 tivemos dificuldade de acesso ao acervo das bibliotecas onde estão a maioria das bibliografias indicados pelo nosso Orientador de conteúdo e dessa forma ficamos restrito à disponibilidade dos livros que encontramos nas pesquisas pela internet que geralmente se encontram nas

edições anteriores. O assunto que exige desenvolvimento relacionado a este tema tem-se restrições de dados e informações de forma gratuita na internet e por isso tivemos dificuldades em diversificar os autores referenciados.

Este cenário também influenciou nos encontros periódicos com nosso Orientador de conteúdo e de metodologia que foram integralmente realizados através das plataformas de reuniões on-line. Mesmo com utilização dos recursos de compartilhamento de imagens, vídeos e arquivos essas reuniões geram uma improdutividade e diminui a compreensão do conteúdo.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir da análise da documentação fornecida pela empresa que realizou os estudos prévios e dimensionamento da estrutura de gabião proposta para contenção do talude situado em Santa Luzia e dos cálculos realizados para o dimensionamento de um muro de flexão, considerando as mesmas premissas adotadas para a contenção em gabião e por último o comparativo de custo e de execução de ambas as soluções.

4.1 Solução adotada para contenção do talude erodido utilizando a tecnologia de gabião como alternativa

Com a atual velocidade que o desenvolvimento urbano e de rede viária exigem da engenharia, soluções eficientes e modernas vêm sendo desenvolvidas para atenderem às necessidades de contenção. Estas soluções devem aliar alta performance à simplicidade construtiva e custo atraente, pois, caso contrário, transformam-se em fator complicador para a viabilização de projetos.

Uma análise geral dos benefícios e limites de cada alternativa permite concluir que soluções que utilizam telas metálicas, como as estruturas de gravidade em gabiões, apresentam características de construção, comportamento e custos que as tornam vantajosas para uma grande gama de aplicações.

4.1.1 Fato motivador da obra

Devido às chuvas de alta intensidade que aconteceram no mês de Janeiro de 2020, diversos pontos da região metropolitana de Belo Horizonte, sofreram com deslizamentos de terra, alagamentos e destruição de vias e este trecho abordado em nosso estudo de caso não foi diferente. Por problemas de subdimensionamento de drenagem urbana local, o índice elevado de precipitações ocasionou o encharcamento do solo e conseqüentemente comprometeu sua estabilidade levando o maciço a sofrer uma ruptura e em seguida o deslizamento do solo.

Pelo fato de que o local do deslizamento estivesse comprometendo o tráfego da avenida, a obra foi caracterizada como emergencial. Dessa forma, a Prefeitura

realizou uma carta-convite, que é o meio de convocar empresas para participarem na modalidade de licitação denominada convite. Essa modalidade de licitação é a única modalidade que a lei não exige publicação de edital, já que a convocação se faz por escrito. Para que a licitação na modalidade convite seja regular é imprescindível que se apresentem no mínimo três licitantes devidamente qualificados, caso não seja obtido esse número, impõe-se a repetição do ato, convocando outros possíveis interessados. A empresa vencedora pela licitação foi a Flat Engenharia e Construções LTDA, uma empresa de Belo Horizonte, que realiza obras públicas de infraestrutura.

4.1.2 Solução adotada

Após o resultado da concorrência da obra, ao perceberem que se tratava de uma obra de contenção, a empresa entrou em contato com a Maccaferri solicitando uma sugestão/apoio para a definição de uma solução visando o custo benefício mas atentando-se a prazo de execução da obra que era curto e que a mesma deveria iniciar de imediato. Em seguida, um engenheiro da Maccaferri deslocou-se até o ponto que seria executada a contenção para realizar uma avaliação técnica do local e para levantamento de dados. Por se tratar de uma obra emergencial a prefeitura não teve tempo hábil para elaboração de levantamento topográfico e nem para ensaios de caracterização de solo e sondagem.

A visita técnica in loco do engenheiro foi indispensável para análise real do problema, foi levantado as dimensões necessárias para dimensionamento do muro e feita uma análise visual do solo, onde constatou-se que não havia matéria orgânica nem presença de solo mole no local. Levando em conta as características da obra, de caráter emergencial de escasso tempo hábil para execução e além das principais características do gabião como: estrutura versátil e de fácil execução, não necessita de mão de obra específica, podem ser usados em superfícies com as piores características de solos, além disso, as estruturas de contenção em gabiões adaptam-se às acomodações e movimentos do terreno, sem perda de sua estabilidade e eficiência.

Outra característica não menos importante é de o gabião ser uma estrutura auto drenante composta por trinta por cento de vazios o que inibe futuros problemas

referente a drenagem do solo, isso faz do gabião uma solução moderna e eficiente para a contenção de taludes e encostas, dessa maneira, chegou-se à conclusão de que esta era a melhor alternativa.

4.1.3 Dimensionamento

Para um pré-dimensionamento dos muros em gabiões segue a regra básica de que a base do muro corresponde a setenta por cento de sua altura. Após o pré-dimensionamento, o próximo passo foi realizar os cálculos de estabilidade considerando a geometria pré-dimensionada.

Foram considerados os parâmetros do solo conforme Tabela 6 proposta por Joppert (2007), o tipo de solo adotado foi a argila porosa vermelha e amarelada com faixa de SPT ≥ 10 .

Tabela 6: Parâmetros médios do solo

Tipo de solo	Faixa de SPT	Módulo de elasticidade (t/m ²)	Peso específico (g)		Ângulo atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (tf/m ²)
			Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Argila porosa vermelha e amarela	0 - 2	200 - 500	1,5	1,7	20°	0,75
	3 - 5	500 - 1000	1,6	1,7	23°	1,5
	6 - 10	1000 - 2000	1,7	1,8	25°	3,0
	≥ 10	2000 - 3000	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0

Fonte: Joppert, 2007

Para o cálculo do muro em gabião foi utilizado o software GawacWin, software desenvolvido pela própria empresa Maccaferri. Os métodos utilizados nos cálculos fazem referência ao “Equilíbrio Limite”, que utilizam as teorias de Rankine, Coulomb, Bishop, entre outros (método Simplex) para a verificação de estabilidade global da estrutura. O programa leva em consideração as características mecânicas dos gabiões Maccaferri e peso específico padrão dos agregados. Os resultados dos cálculos não serão realísticos no caso da utilização de outros tipos de materiais.

O relatório com a memória do cálculo do muro em gabião que foi desenvolvida no software GawacWin está disponível nos anexos desta presente pesquisa

4.1.4 Execução do gabião

As obras ocorreram em meados do mês de maio de 2020 até o início de agosto de 2020. As atividades iniciaram com a limpeza e escavação do local, retirando todo material solto e preparando a praça de trabalho para execução do gabião conforme indicado na Figura 4.1.

Figura 4.1: Limpeza e escavação do gabião



Fonte: Acervo Técnico Flat Engenharia

Após a conclusão da limpeza e escavação inicia-se a etapa de execução do gabião. Toda montagem das gaiolas, preenchimento com pedra de mão, assentamento da manta geotêxtil é feita de forma manual com auxílio de equipamentos. Apesar da grande parte dos serviços serem realizados de forma manual a produtividade média aferida durante a execução foi de seis metros cúbicos por homem/dia trabalhado o que pode ser considerado um excelente desempenho executivo. A agilidade em sua execução é uma das grandes vantagens dessa tecnologia.

Existente atualmente no mercado empresas especializadas na construção da tecnologia do gabião que investem em treinamentos práticos de seus funcionários, fazendo a produtividade ser ainda maior.

A medida que o gabião vai ganhando a altura, o aterro e a aplicação da manta geotêxtil na parte interior do gabião (tardoz), também devem ser executados, conforme indicado na Figura 4.2.

Figura 4.2: Execução do gabião e reaterro



Fonte: Acervo Técnico Flat Engenharia

As outras etapas de execução deste empreendimento foram a construção da nova rede de drenagem e por último a recomposição do asfalto e liberação do trânsito na avenida, Figura 4.3.

Figura 4.3: Recomposição do asfalto e liberação da via



Fonte: Acervo Técnico Flat Engenharia

As obras foram executadas no período de déficit hídrico, onde predomina a estiagem e este fator favoreceu o desempenho produtivo do gabião. Para a execução do gabião, foram necessários quinze dias trabalhados. Dessa forma, a premissa inicial que era o atendimento em caráter emergencial foi atendida pois a obra foi entregue com qualidade e no prazo menor que o contrato que era de noventa dias.

4.2 Solução alternativa para contenção do talude erodido

A solução alternativa escolhida para estudo nesta presente pesquisa, dentre várias opções, foi o muro de flexão. O dimensionamento será de forma mais genérica apenas para o estudo acadêmico e também à título de observação e comparação.

4.2.1 Parâmetros de dimensionamento

Serão adotadas as mesmas diferenças de nível do terreno e comprimento que foram consideradas no dimensionamento do gabião. O muro de flexão terá altura de seis metros, considerando a sapata de fundação, e comprimento de quatorze metros.

Os parâmetros utilizados para definir o tipo de solo foram os mesmos adotados pela empresa para o dimensionamento do gabião, que foi através da análise visual in loco, onde foi constatado em uma observação superficial que não havia matéria orgânica no solo e utilizados os conceitos da mecânica dos solos para determinar a sua caracterização. O tipo de solo adotado para o dimensionamento do muro de flexão foi uma argila porosa vermelha e amarelada consistência média a rija.

Para o dimensionamento da geometria do muro foram adotados os conceitos dos autores Moliterno (1980) e Marchetti (2007) que estipulam alguns parâmetros que possibilitam o dimensionamento, considerando estes conceitos as dimensões ficaram da seguinte forma:

- Altura do muro (H): 5,60m
- Largura da sapata do muro (40% à 70% do H): adotado 4,00m
- Espessura da sapata do muro: adotado 0,40m
- Viga de borda do radier: adotado 0,40 x 0,40m
- Espessura da parede do muro: adotado 0,40m

- Espessura da base do muro: adotado 0,40m

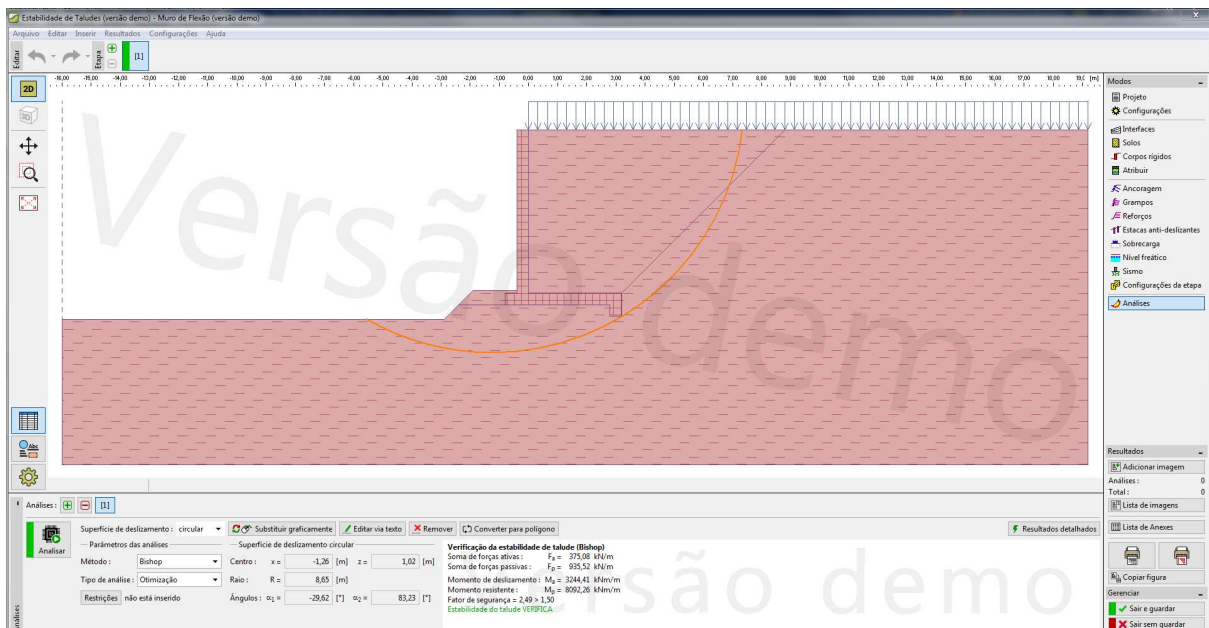
4.2.2 Análise de estabilidade

Considerando os parâmetros citados no subtítulo anterior foram elaborados os cálculos de estabilidade considerando um Fator de Segurança mínimo de 1,50 que é um índice razoável considerado por projetistas especialistas nesse tipo de estrutura.

Para os cálculos da análise de estabilidade, tombamento e pressão na fundação foi utilizando o software Geo5 da empresa Fine considerando o método de Coulomb para os cálculos.

Na figura 4.4, foram detalhadas as etapas de desenvolvimento da análise de estabilidade do muro de flexão e todas as condições verificadas relacionadas ao tombamento e deslizamento foram satisfatórias.

Figura 4.4: Etapa da análise de estabilidade do muro de flexão

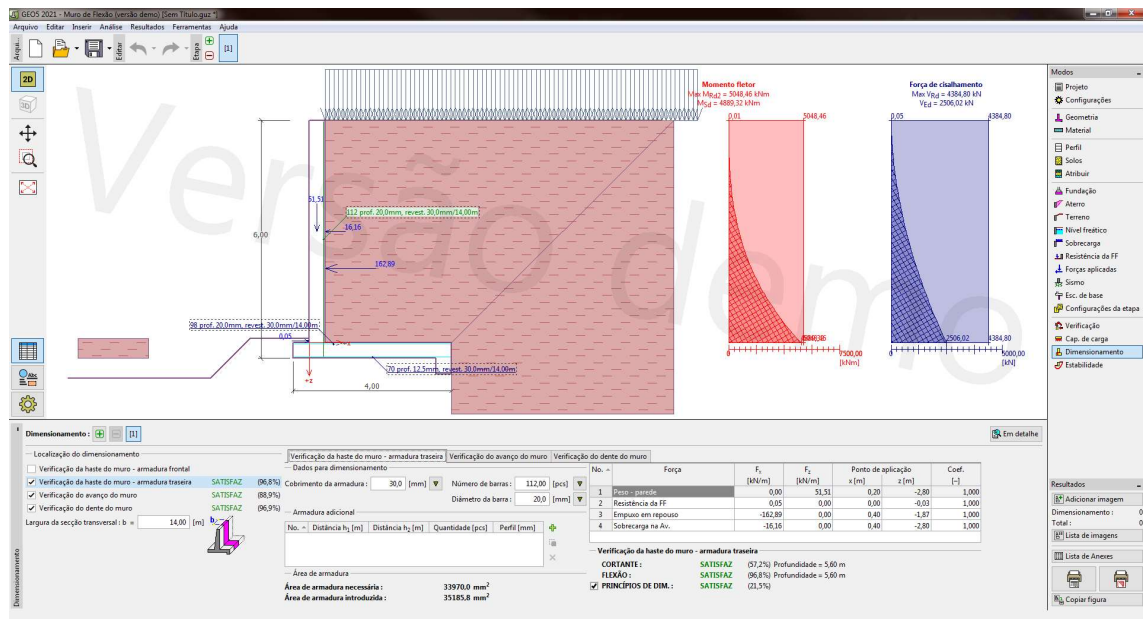


Fonte: Software Geo5

4.2.3 Dimensionamento da armação

O software Geo5 foi utilizado para o dimensionamento da armação do muro, onde foram verificados o empuxo, o peso da estrutura, a sobrecarga na avenida e considerado a extensão do muro que é de quatorze metros

Figura 4.5: Etapa do dimensionamento da armação do muro de flexão



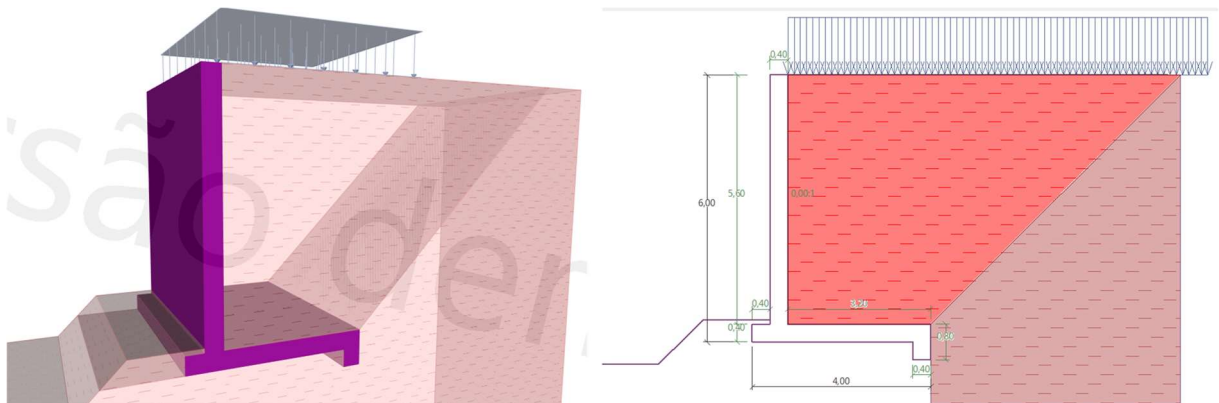
Fonte: Software Geo5

4.2.4 Muro de flexão final

Após o desenvolvimento de todas as etapas de dimensionamento, o Fator de Segurança do muro de flexão obteve o índice de 2,10 que é considerado satisfatório. Os relatórios finais do dimensionamento do muro estão em anexo nesta presente pesquisa.

A figura 4.6 demonstra o muro de flexão com detalhamento de suas dimensões e em perfil 3D.

Figura 4.6: Muro de flexão



Fonte: Desenvolvidos pelos próprios autores no software Geo5

Na sequência do nosso trabalho faremos um comparativo entre as duas soluções propostas, muro em gabião e muro de flexão, levando em consideração alguns aspectos técnicos, financeiro e também no aspecto relativo ao tempo de execução.

4.3 Comparação do gabião como a solução alternativa no aspecto custo x benefício

Para realizar o comparativo de custos entre as duas soluções adotadas, foram utilizados os quantitativos levantados do estudo do muro em gabião e os quantitativos do dimensionamento do muro de flexão levantados pelos autores desta pesquisa.

Os custos aqui levantados serão apenas os serviços necessários para execução do gabião e do muro de flexão, não levando em consideração outros serviços como: limpezas e retirada de vegetação, locação topográfica da obra, mobilizações de materiais, equipamentos e mão de obra, montagem de canteiro e custos indiretos.

4.3.1 Bases de Preços

Os preços utilizados no orçamento de ambas as soluções foram coletados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, que pertence à Caixa Econômica Federal, com data base de Fevereiro de 2021, abrangência da região de Belo Horizonte, considerando os encargos de mão de obra sem desoneração.

O SINAPI foi criado em 1969, em parceria com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE que consiste em um banco de dados de preços de insumos e serviços da construção civil, onde o seu cadastro é sempre atualizado pela Caixa. O SINAPI passou a ser utilizado como balizador de preços dos empreendimentos financiados pela Caixa com o intuito de dar maior transparência e precisão nos conceitos e indicadores de cada serviço no âmbito nacional. O banco de dados do SINAPI é público e encontra-se disponível no site da Caixa.

Na planilha orçamentária, que é parte integrante da documentação da carta-convite para execução da contenção em gabião, os parâmetros de preços utilizados foram do SINAPI.

4.3.2 Orçamento

Os quantitativos considerados na planilha de quantidades e preços para o muro em gabião são os mesmos quantitativos que foram considerados na carta-convite, retirados do site da Prefeitura. Fizemos apenas a seleção dos serviços necessários exclusivamente para execução do gabião e recomposição da via, retirando os serviços complementares que constam na planilha e não são objetos de nossos estudos e podem interferir na análise geral.

Os quantitativos do muro de flexão foram levantados pelos autores desta pesquisa, considerando como base os mesmos itens constantes na planilha de quantidades do muro de gabião para que a análise seja equivalente na comparação de ambas as soluções. A memória de cálculo do levantamento das quantidades do muro de flexão está anexada à esta pesquisa.

Os preços unitários de cada item na planilha foram retirados do SINAPI e representam os custos diretos. Não estamos considerando BDI, impostos, administração local ou demais tarifas que podem onerar os valores unitários, portanto, será comparado custo muro em gabião com o custo muro de flexão.

A planilha foi elaborada considerando a sequência executiva e a metodologia empregada específica para cada tipo de construção, como por exemplo, a necessidade de executar uma escavação maior no muro de flexão do que no muro de gabião devido a execução da sapata, gerando automaticamente um maior volume de transporte de material para bota fora, volume de aterro e execução de pavimentação. Teremos a necessidade de instalação de andaimes para execução de forma e também para servir de plataforma de trabalho segura durante a concretagem, o que no gabião isso não é necessário, uma vez que o reaterro acompanha o andamento da execução do gabião.

Foram analisados o dimensionamento da armação produzido pelo software Geo5 e após o comparativo da relação quilograma de aço por metro cúbico de concreto encontramos uma densidade que é razoável para esta estrutura, 96 kg/m³.

A Tabela 7 apresenta a planilha de quantidades e preços dos serviços relacionados ao muro de gabião, considerando os quantitativos da planilha original da obra, porém com os preços atualizados.

Tabela 7: Planilha de quantidades e preços – Muro em gabião

ITEM	CÓD. SINAPI	DESCRIÇÃO	UND	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
MURO EM GABIÃO						
1.1	101207	ESCAVAÇÃO VERTICAL A CÉU ABERTO, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA: 0,8 M ³ / 111 HP), FROTA DE 2 CAMINHÕES BASCULANTES DE 18 M ³ , DMT DE 1,0 KM E VELOCIDADE MÉDIA 14 KM/H. AF/05/2020	M3	164,00	6,92	RS 1.134,88
1.2	92746	MURO DE GABIÃO, ENCHIMENTO COM PEDRA DE MÃO TIPO RACHÃO, DE GRAVIDAD, COM GAIOLAS DE COMPRIMENTO IGUAL A 5 M, PARA MUROS COM ALTURA MAIOR QUE 4 M E MENOR OU IGUAL A 6 M. FORNECIMENTO E EXECUÇÃO AF/12/2015	M3	273,00	586,04	RS 159.988,92
1.3	96385	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE ATERRO COM SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF 09/2017	M3	99,00	7,34	RS 726,66
1.4	97914	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M3, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF 01/2018	M3XKM	2.970,00	1,84	RS 5.464,80
1.5	100574	ESPALHAMENTO DE MATERIAL COM UTILIZACAO DE TRATOR DE ESTEIRAS	M3	164,00	1,01	RS 165,64
1.6	96397	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO - EXCLUSIVE CARGA E TRANSPORTE. AF 09/2017	M3	10,00	175,82	RS 1.758,20
1.7	95996	EXECUÇÃO DE PAVIMENTO COM APLICAÇÃO DE CONCRETO ASFÁLTICO, CAMADA DE BINDER	M3	5,00	1.012,78	RS 5.063,90
1.8	95875	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE 10 M3 DE MASSA ASFÁLTICA PARA PAVIMENTAÇÃO URBANA	M3XKM	100,00	1,50	RS 150,00
1.9	96401	EXECUÇÃO DE IMPRIMAÇÃO COM ASFALTO DILUÍDO CM-30. AF 09/2017	M2	75,00	6,66	RS 499,50
1.10	96402	EXECUÇÃO DE PINTURA DE LIGACAO COM EMULSÃO ASFÁLTICA RR-2C	M2	75,00	1,87	RS 140,25
TOTAL DA PLANILHA:						RS 175.092,75

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

A Tabela 8 apresenta a planilha de quantidades e preços dos serviços relacionados ao muro de flexão, considerando os quantitativos levantados pelos autores desta pesquisa e a mesma base de preços da planilha do gabião.

Tabela 8: Planilha de quantidades e preços – Muro de flexão

ITEM	CÓD. SINAPI	DESCRIÇÃO	UND	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
MURO DE FLEXÃO						
1						
1.1	101207	ESCAVAÇÃO VERTICAL A CÉU ABERTO, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA: 0,8 M³ / 111 HP), FROTA DE 2 CAMINHÕES BASCULANTES DE 18 M³, DMT DE 1,0 KM E VELOCIDADE MÉDIA 14 KM/H. AF 05/2020	M3	590,24	6,92	RS 4.084,46
1.2	101617	PREPARO DE FUNDO DE VALA COM LARGURA MAIOR OU IGUAL A 1,50 M	M2	24,00	2,37	RS 56,88
1.3	96620	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO ME PISOS, LAJES SOBRE SOLO OU RADIER	M3	1,20	456,95	RS 548,34
1.4	92919	ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM	KG	5.566,59	13,46	RS 74.926,30
1.5	97063	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE ANDAIME MODULAR FACHADEIRO COM PISO METÁLICO	M2	169,92	8,55	RS 1.452,82
1.6	96541	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FORMA PARA SAPATA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENESADA RESINADA.	M2	169,92	146,69	RS 24.925,56
1.7	96556	CONCRETAGEM DE SAPATAS FCK 30 MPA, LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO	M3	58,24	577,72	RS 33.646,41
1.8	96385	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE ATERRO COM SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO - EXCLUSIVE ESCAVACÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF 09/2017	M3	532,00	7,34	RS 3.904,88
1.9	97914	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M3, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM), AF 01/2018	M3XKM	15.960,00	1,84	RS 29.366,40
1.10	100574	ESPALHAMENTO DE MATERIAL COM UTILIZACAO DE TRATOR DE ESTEIRAS	M3	532,00	1,01	RS 537,32
1.11	96397	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO - EXCLUSIVE CARGA E TRANSPORTE. AF 09/2017	M3	76,80	175,82	RS 13.502,98
1.12	95996	EXECUÇÃO DE PAVIMENTO COM APLICAÇÃO DE CONCRETO ASFÁLTICO, CAMADA DE BINDER	M3	12,80	1.012,78	RS 12.963,58
1.13	95875	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE 10 M3 DE MASSA ASFÁLTICA PARA PAVIMENTAÇÃO URBANA	M3XKM	256,00	1,50	RS 384,00
1.14	96401	EXECUÇÃO DE IMPRIMAÇÃO COM ASFALTO DILUÍDO CM-30. AF 09/2017	M2	108,00	6,66	RS 719,28
1.15	96402	EXECUÇÃO DE PINTURA DE LIGACAO COM EMULSÃO ASFÁLTICA RR-2C	M2	108,00	1,87	RS 201,96
TOTAL DA PLANILHA:						RS 201.221,18

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

De acordo com as planilhas de quantidades e preços, a diferença de valores entre o muro em gabião e o muro de flexão é considerável. O muro chega a ser quase treze por cento mais caro do que o gabião. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de o muro de flexão necessitar de serviços adicionais como execução de forma, armação e concreto além de ter os quantitativos de escavação, reaterro e recomposição do asfalto maiores devido à metodologia executiva. A Tabela 9 detalha a diferença de preço e percentual econômico entre as duas opções.

Tabela 9: Comparativo de custo das opções

ESTRUTURA	VALOR	DIFERENÇA DE PREÇO	PERCENTUAL ECONÔMICO
Muro em Gabião	R\$ 175.092,75	R\$ 26.128,43	12,98%
Muro de Flexão	R\$ 201.221,18		

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

4.3.3 Prazo de execução

O prazo de execução é um fator decisivo para definição do tipo de estrutura que poderá ser utilizada em uma contenção. Para realizar a comparação do prazo executivo do muro em gabião e do muro de flexão, utilizamos os mesmos índices de mão de obra e equipamentos que foram considerados nas composições de preços unitárias – CPU, utilizadas no SINAPI e a produtividade que foi aferida durante a execução do gabião.

Importante ressaltar que não foram previstas no cronograma as horas perdidas devido a chuvas ou outras intempéries. A praticabilidade adotada foi a jornada de trabalho de quarenta horas semanais, ou seja, oito horas por dia em cinco dias da semana e não consideramos as folgas relacionadas aos dias de feriado.

O prazo previsto para execução do gabião foi de vinte e quatro dias trabalhados enquanto o prazo previsto para a execução do muro de flexão foi de trinta e sete dias trabalhados, o que equivale à trinta e cinco por cento a mais de dias trabalhados, conforme indicado na Tabela 10. Os cronogramas elaborados para a execução do muro em gabião e do muro de flexão estão em anexo nesta pesquisa.

Tabela 10: Comparativo de prazo das opções

ESTRUTURA	DIAS TRABALHADOS	DIFERENÇA DE DIAS	PERCENTUAL DE PRAZO
Muro em Gabião	24	13	35,14%
Muro de Flexão	37		

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Um dos principais fatores que influenciam no prazo de execução do muro de flexão é a necessidade de ter mais etapas construtivas, onde o término de uma etapa depende do início da outra, outro motivador que interfere no tempo de execução é o prazo para a cura do concreto. A atividade de cura do concreto é uma predecessora das demais atividades que, enquanto não for concluída, as etapas construtivas seguintes não poderão ser iniciadas. A execução do gabião torna-se uma alternativa mais econômica e mais viável executivamente, tendo em vista o caráter emergencial da obra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos estudos apontaram que a solução de gabião se mostrou mais eficiente pois, trata de uma contenção versátil que se adapta às movimentações e acomodações do terreno sem o comprometimento de sua eficiência além de ser uma estrutura auto drenante.

Em nossos estudos apresentamos uma solução alternativa, o muro de flexão e realizamos um comparativo desta solução com o muro em gabião. O muro em gabião apresentou um menor preço e menor prazo de execução, o que torna uma opção mais atrativa economicamente e mais viável em virtude do caráter emergencial.

A execução do gabião se destaca pela facilidade de montagem, onde dispensa mão de obra especializada, é uma estrutura eclética que permite alterações na sua estrutura mesmo após finalizada e pela segurança durante a execução pois, os colaboradores estão expostos a riscos menores do que o muro de flexão durante as atividades.

Pensando em obras sustentáveis que utilizam um processo construtivo ambientalmente responsável com a utilização responsável dos recursos naturais a solução em gabião utilizam materiais de jazidas locais para obras mais rápidas e produtivas, reduzindo a importação e exportação de insumos na construção e o desperdício de materiais reduzindo assim os impactos ambientais. A estética do gabião integra-se facilmente ao meio ambiente e não interfere do lençol freático por ser uma estrutura permeável.

Como este trabalho foi elaborado para fins acadêmicos, recomenda-se para análise futura, um dimensionamento mais detalhado do muro de flexão e um orçamento considerando todas as atividades envolvidas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724 – Trabalho Acadêmico**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520 – Citações**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023 – Referências**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027 – Sumário**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028 – Resumo e Abstract**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484 – Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682 – Estabilidade de Taludes**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025 – Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de provas cilíndricos – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895 – Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 – Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13292 – Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.** Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508 – Solo – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682 – Estabilidade de Taludes.** Rio de Janeiro, 2009

BARROS, P. L. **Obras de Contenção.** [s.l.]. Maccaferri, 2010.

BRAJA, M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 9. ed. rev. São Paulo: CENGAGE, 2020. 561 p.

BIBLIOTECA NACIONAL. **Madeira Mamoré, a ferrovia do Diabo**, [s. l.], 30 abr. 2020. Disponível em: <https://www.bn.gov.br/acontece/noticias/2020/04/madeira-mamore-ferrovia-diabo>. Acesso em: 23 set. 2020.

CAIXA. **Tudo sobre o SINAPI**. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 18 abr. 2021.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6. ed. rev. e aum. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 234 p. v. 1.

CONSTRUDEIA. **Muro de concreto armado**. [S. l.], 15 jul. 2014. Disponível em: <https://www.construdeia.com/muro-de-concreto-armado/>. Acesso em: 6 out. 2020.

DOMINGUES, P. C. **Indicações para projetos de muros de arrimo em concreto armado**. Orientador: José Samuel Giongo. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

DOS SANTOS, Á. R. **Acidentes: é um erro perigoso culpar a natureza**. São Paulo, 30 mar. 2008. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff3003200824.htm>. Acesso em: 29 set. 2020.

FINE. **Software Geotécnico GEO5**. Disponível em: <https://www.finesoftware.com.br/software-para-geotecnia/> Acesso em: 02 abr. 2021.

GERSCOVICH, Denise M S. **Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2010. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

GERHARDT, Tatiana Engel e SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa:** Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa** 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A 2002.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A 2008.

GOMES, C. R. F e LIMA, S. R. **Muros de flexão: DIMENSIONAMENTO E SEUS ASPECTOS CONSTRUTIVOS**. Orientador: Professor Msc Ricardo Sampaio Romão Filho. 2018. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2018.

JOPPER, I. JR. **Fundações e contenções de edifícios**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini 2007.

JUNIOR, F e LEMES, R. **Estudo comparativo entre estruturas de contenção:** Contenção à Gravidade em Gabiões, Solo Reforçado Terramesh System e Muro à Flexão em Concreto Armado. Orientador: Prof. Esp. Paulo Eduardo Oliveira da Rocha. 2014. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Padre Anchieta, Jundiaí, 2014.

JUNIOR, P. **Gabiões e estruturas de arrimo:** Análise teórico-numérico-experimental do comportamento mecânico. Orientador: Prof. Dr. Pérsio Leister de Almeida Barros. 2018. 213 f. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Civil) - UNICAMP, Campinas, 2018.

LUIZ, B. J. **Projeto Geotécnico De Uma Estrutura De Contenção Em Concreto**. Escola Politécnica da UFRJ, 2014.

LUVIZÃO, G. **Revitalização da margem do rio do tigre: contenção**. 2010. 170 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2010. Disponível em: https://rgsgsc.files.wordpress.com/2013/11/gislaine_luvizao.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.

MACCAFERRI, **Contenção em Gabiões**. Minas Gerais, 2020.

MARCHETTI, Osvaldemar, **Muros de Arrimo**. 5. Ed. São Paulo. Blucher, 2007.

MARANGON, M. **Empuxos de terra**. 2018. ed. Juiz de Fora: [s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2013/06/MARANGON-2018-Cap%C3%ADtulo-06-Empuxos-de-Terra-20181.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

METODOLOGIA. *In*: **Dicionário Houaiss**. 1. Ed. São Paulo: Objetiva, 2009.

MOLITERNO, Antônio. **Cadernos de Muros de Arrimo**. 1. Ed. São Paulo. Blucher, 1980.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SILVA, V. C. **Contenções: Métodos Analíticos para Avaliar Contribuição de Estacas para o Fator de Segurança de Taludes**. Orientador: Prof. Sc. Leonardo de Bona Becker. 2013. 84 f. Projeto de Graduação - UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2. ed. São Paulo: Editora Bookman, 2001. 200 p.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Dimensionamento Gabião – GawacWin

GawacWin 2003

Página 1

Programa licenciado para: MACCAFERRI WEB BRASIL

Projeto: TCC

Arquivo: tcc

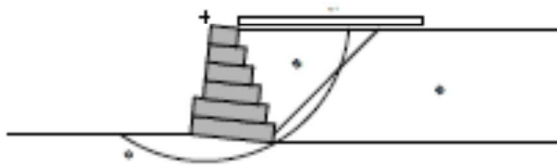
Data: 30/12/1899

DADOS DE ENTRADA

Dados sobre o muro

Inclinação do muro : 6.00 graus
 Peso específico da pedra : 24.20 kN/m³
 Porosidade dos gabões : 30.00 %
 Geotêxtil no terrapleno : Sim
 Redução do atrito : 5.00 %
 Geotêxtil sob a base : Não
 Redução do atrito : %
 Malha e diâm. do arame: 8x10, ø 2.7 mm CD

Camada	Compr. m	Altura m	Início m
1	4.50	1.00	-
2	4.00	1.00	0.00
3	3.00	1.00	0.50
4	2.50	1.00	0.50
5	2.00	1.00	0.50
6	1.50	1.00	0.50



Dados sobre o terrapleno

Inclinação do 1º trecho : 0.00 graus
 Comprimento do 1º trecho : 10.00 m
 Inclinação do 2º trecho : 0.00 graus
 Peso específico do solo : 18.00 kN/m³
 Ângulo de atrito do solo : 25.00 graus
 Coesão do solo : 30.00 kN/m²

Camadas Adicionais no Terrapleno

Camada	Altura Inicial m	Inclinação graus	Peso específico kN/m ³	Coesão kN/m ²	Ângulo de atrito graus
1	0.00	45.00	18.00	30.00	25.00

Não assumimos nenhuma responsabilidade pelos cálculos e desenhos aqui apresentados, visto que eles se constituem apenas em sugestões para a melhor utilização dos produtos MACCAFERRI.

Dados sobre a fundação

Altura da sup. superior	:	0.00 m
Comprimento inicial	:	10.00 m
Inclinação	:	0.00 graus
Peso específico do solo	:	18.00 kN/m ³
Ângulo de atrito do solo	:	30.00 graus
Coesão do solo	:	25.00 kN/m ²
Pressão adm. na fundação	:	kN/m ²
Altura do nível d'água	:	m

Camadas Adicionais na Fundação

Camada	Prof. m	Peso específico kN/m ³	Coesão kN/m ²	Ângulo de atrito graus
--------	------------	--------------------------------------	-----------------------------	---------------------------

Dados sobre a superfície freática

Altura inicial	:	m
Inclinação do 1º trecho	:	graus
Comprimento do 1º trecho	:	m
Inclinação do 2º trecho	:	graus
Comprimento do 2º trecho	:	m

Dados sobre as cargas

Cargas distribuídas sobre o terrapleno	Primeiro trecho	:	5.00 kN/m ²		
	Segundo trecho	:	kN/m ²		
Cargas distribuídas sobre o muro	Carga	:	kN/m ²		
Linhas de carga sobre o terrapleno					
Carga 1	:	kN/m	Dist. ao topo do muro	:	m
Carga 2	:	kN/m	Dist. ao topo do muro	:	m
Carga 3	:	kN/m	Dist. ao topo do muro	:	m
Linha de carga sobre o muro					
Carga	:	kN/m	Dist. ao topo do muro	:	m

Dados sobre as ações sísmicas

Coefficiente horizontal	:	Coefficiente vertical	:
-------------------------	---	-----------------------	---

RESULTADOS DAS ANÁLISES**Empuxos Ativo e Passivo**

Empuxo Ativo	:	125.49 kN/m
Ponto de apl. ref. ao eixo X	:	3.95 m
Ponto de apl. ref. ao eixo Y	:	1.30 m
Direção do empuxo ref. ao eixo X	:	40.37 graus
Empuxo Passivo	:	0.00 kN/m
Ponto de apl. ref. ao eixo X	:	0.00 m
Ponto de apl. ref. ao eixo Y	:	0.00 m
Direção do empuxo ref. ao eixo X	:	0.00 graus

Deslizamento

Força normal sob a base	:	385.66 kN/m
Ponto de apl. ref. ao eixo X	:	2.14 m
Ponto de apl. ref. ao eixo Y	:	-0.22 m
Força tangente sob a base	:	55.60 kN/m
Força resistente na base	:	278.91 kN/m

Coef. de Segurança Contra o Deslizamento : 3.58

Tombamento

Momento Atuante	:	124.76 kN/m x m
Momento Resistente	:	948.58 kN/m x m

Coef. de Segurança Contra o Tombamento : 7.60

Tensões Atuantes na Fundação

Excentricidade	:	0.10 m
Tensão normal na borda externa	:	98.71 kN/m ²
Tensão normal na borda interna	:	72.69 kN/m ²
Tensão máx. admissível na fundação	:	443.56 kN/m ²

Estabilidade Global

Distância Inicial à esquerda	:	m
Distância Inicial à direita	:	m
Distância Inicial abaixo da base	:	m
Máxima profundidade permitida no cálculo	:	m
Centro do arco ref. ao eixo X	:	0.76 m
Centro do arco ref. ao eixo Y	:	6.40 m
Raio do arco	:	7.90 m
Número de superfícies pesquisadas	:	45
Coef. de Segurança Contra a Rup. Global	:	2.93

Estabilidade Interna

Camada	H m	N kN/m	T kN/m	M kN/m x m	τ M _{ax} kN/m ²	τ Adm. kN/m ²	σ M _{ax} kN/m ²	σ Adm. kN/m ²
1	5.18	308.04	64.31	580.83	16.08	70.17	81.68	
2	4.13	151.62	-15.94	205.23	-5.31	52.86	56.01	552.79
3	3.09	101.08	-10.62	117.80	-4.25	46.25	43.37	
4	2.04	58.97	-6.20	57.85	-3.10	39.09	30.05	
5	0.99	25.27	-2.66	20.28	-1.77	30.83	15.74	

Apêndice 2 – Relatório de análise do muro de flexão

Análise do muro de arrimo

Introduzir dados

Projeto

Data : 07/04/2021

Configurações

(apenas para a tarefa atual)

Materiais e Normas

Estruturas de concreto : NBR 6118-2014
Fator parcial para concreto : 1,40

Análise de muro

Cálculo do empuxo de terra ativo : Coulomb
Cálculo do empuxo de terra passivo : Coulomb
Análise sísmica : Mononobe-Okabe
Forma da cunha de terra : Calcular como inclinação
Consideração da base : A chave de base é considerada como sapata inclinada
Excentricidade permitida : 0,333
Metodologia de verificação : Fatores de segurança

Fatores de segurança			
Situação permanente do projeto			
Fator de segurança para tombamento :		SF _o =	1,50 [-]
Fator de segurança para a resistência ao deslizamento :		SF _s =	1,50 [-]
Fator de segurança para a capacidade de carga :		SF _b =	1,50 [-]

Material da estrutura

Peso volúmico $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$
Análise das estruturas de concreto realizadas de acordo com o padrão NBR 6118-2014.

Concreto: C30
Força de compressão cilíndrica $f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$
Força de tração $f_{ct,m} = 2,90 \text{ MPa}$

Armadura longitudinal: CA-50
Tensão de escoamento $f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$

Geometria da estrutura

No.	Coordenada X [m]	Prof. Z [m]
1	0,00	0,00
2	0,00	5,60
3	3,20	5,60
4	3,20	6,00
5	3,20	6,40
6	2,80	6,40
7	2,80	6,00
8	-0,80	6,00
9	-0,80	5,60
10	-0,40	5,60
11	-0,40	0,00


A origem [0,0] está localizada no ponto superior direito da parede.
Área da secção da parede = 4,00 m².

1

[GEOS - Muro de Flexão (versão demo) | versão 5.2021.25.0 | Copyright © 2021 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.com.br]

--

Parâmetros básicos do solo

No.	Nome	Padrão	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
1	Argila porosa vermelha e amarela		25,00	30,00	18,00	8,00	0,00

Todos os solos são considerados como coesivos para a análise da pressão em repouso.

Parâmetros do solo


Argila porosa vermelha e amarela

Peso específico : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
 Estado de tensão : efetivo
 Ângulo de atrito interno : $\phi_{ef} = 25,00^\circ$
 Coesão do solo : $c_{ef} = 30,00 \text{ kPa}$
 Ângulo de atrito estru.-solo : $\delta = 0,00^\circ$
 Solo : não coesivo
 Peso volúmico saturado : $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Aterro

Solo atribuído : Argila porosa vermelha e amarela
 Talude = $45,00^\circ$

Perfil geológico e solos atribuídos

No.	Espessura da camada t [m]	Profundidade z [m]	Solo atribuído	Padrão
1	-	0,00 .. ∞	Argila porosa vermelha e amarela	

Fundação

Tipo de fundação : solo do perfil geológico

Perfil do terreno

O terreno atrás da estrutura é liso.

Inserir sobrecargas superficiais

No.	Sobrecarga novo	Sobrecarga mudar	Ação	Mag.1 [kN/m ²]	Mag.2 [kN/m ²]	Ord.x x [m]	Comp. l [m]	Prof. z [m]
1	Sim		variável	5,00				no terreno

No.	Nome
1	Sobrecarga na Av.

Resistência na face frontal da estrutura

Resistência na face frontal da estrutura: em repouso
 Solo na face frontal da estrutura - Argila porosa vermelha e amarela
 Espessura do solo na frente da estrutura $h = 0,50 \text{ m}$

Formato do terreno em frete da estrutura

No.	Coordenada x[m]	Prof. z[m]
1	0,00	0,00
2	0,00	-0,50
3	-1,50	-0,50
4	-2,50	0,50
5	-3,50	0,50

Origem [0,0] está localizado no lado esquerdo inferior da construção.
 A coordenada positiva +z tem sentido decrescente.

2

--

Definições da etapa de construção

Situação do projeto : permanente

A parede está livre para se mover. O empuxo ativo está consequentemente assumido.

Verificação Não-1

Forças atuantes na construção

Nome	F_{hor} [kN/m]	Pt. aplic. z [m]	F_{vert} [kN/m]	Pt. aplic. x [m]	Projeto coeficiente
Peso - parede	0,00	-1,86	92,00	1,29	1,000
Resistência da FF	-1,30	-0,17	0,00	0,20	1,000
Peso - cunha de terra	0,00	-2,07	144,66	1,87	1,000
Empuxo ativo	51,60	-1,45	73,96	3,24	1,000
Sobrecarga na Av.	9,19	-1,87	16,00	2,40	1,000

Verificação completa do muro

Verificação da estabilidade ao tombamento

Momento resistente $M_{res} = 666,36$ kNm/m

Momento de tombamento $M_{ovr} = 91,88$ kNm/m

Fator de segurança = 7,25 > 1,50

Resistência do muro ao tombamento É SATISFATÓRIA

Verificação de deslizamento

Reação horizontal $H_{res} = 258,47$ kN/m

Força horizontal ativa $H_{act} = 26,70$ kN/m

Fator de segurança = 9,68 > 1,50

Resistência do muro ao deslizamento É SATISFATÓRIA

Verificação global - MURO É SATISFATÓRIA

Cap. de carga do solo de fundação

Forças atuantes no centro da base da sapata

No.	Momento [kNm/m]	Força norm. [kN/m]	Força de Cisalhamento [kN/m]	Excentricidade [-]	Tensão [kPa]
1	90,67	330,92	26,28	0,068	95,31

Cargas de serviço atuantes no centro da base da sapata

No.	Momento [kNm/m]	Força norm. [kN/m]	Força de Cisalhamento [kN/m]
1	90,67	330,92	26,28

Verificação do solo de fundação

Tensão na base da fundação : retangular

Verificação de excentricidade

Excentricidade máx. da força normal $e = 0,068$

Excentricidade máx. permitida $e_{alw} = 0,333$

Excentricidade da força normal É SATISFATÓRIA

Verificação da cap. de carga da sapata

Tensão máx. na base da sapata $\sigma = 95,31$ kPa

Cap. de carga do solo de fundação $R_d = 200,00$ kPa

Fator de segurança = 2,10 > 1,50

Cap. de carga do solo de fundação É SATISFATÓRIA

Verificação total - capacidade de carga do solo de fundação É SATISFATÓRIA

Dimensionamento Não. 1

Verificação da haste do muro - armadura traseira

Forças atuantes na construção

Nome	F _{hor} [kN/m]	Pt. aplic. z [m]	F _{vert} [kN/m]	Pt. aplic. x [m]	Projeto coeficiente
Peso - parede	0,00	-2,80	51,51	0,20	1,000
Resistência da FF	-0,05	-0,03	0,00	0,00	1,000
Empuxo em repouso	162,89	-1,87	0,00	0,40	1,000
Sobrecarga na Av.	16,16	-2,80	0,00	0,40	1,000

Verificação da haste do muro - armadura traseira

Verificação da parede na junta de construção 5,60 m do topo da parede

Armadura e dimensões da secção transversal

112 prof. 20,0 mm, revest. 30,0 mm

Área de armadura introduzida = 35185,8 mm²

Área de armadura necessária = 33970,0 mm²

Largura da secção transversal = 14,00 m

Altura da secção transv. = 0,40 m

Rácio de armadura $\rho = 0,70 \% > 0,15 \% = \rho_{min}$

Posição do eixo neutro $x = 0,07 \text{ m} < 0,09 \text{ m} = x_{max}$

Força de cisalhamento última $V_{Rd} = 4384,80 \text{ kN} > 2506,02 \text{ kN} = V_{Ed}$

Momento último $M_{Rd} = 5048,46 \text{ kNm} > 4889,32 \text{ kNm} = M_{Sd}$

A secção transversal é SATISFATÓRIA.

Verificação do avanço do muro

Forças atuantes na construção

Nome	F _{hor} [kN/m]	Pt. aplic. z [m]	F _{vert} [kN/m]	Pt. aplic. x [m]	Projeto coeficiente
Peso - parede	0,00	-1,86	92,00	1,29	1,000
Resistência da FF	-1,30	-0,17	0,00	0,20	1,000
Peso - cunha de terra	0,00	-2,07	144,66	1,87	1,000
Empuxo ativo	51,60	-1,45	73,96	3,24	1,000
Sobrecarga na Av.	9,19	-1,87	16,00	2,40	1,000

Verificação do avanço do muro

Armadura e dimensões da secção transversal

70 prof. 12,5 mm, revest. 30,0 mm

Área de armadura introduzida = 8590,3 mm²

Área de armadura necessária = 7638,8 mm²

Largura da secção transversal = 14,00 m

Altura da secção transv. = 0,40 m

Rácio de armadura $\rho = 0,17 \% > 0,15 \% = \rho_{min}$

Posição do eixo neutro $x = 0,02 \text{ m} < 0,09 \text{ m} = x_{max}$

Força de cisalhamento última $V_{Rd} = 4430,48 \text{ kN} > 583,13 \text{ kN} = V_{Ed}$

Momento último $M_{Rd} = 1331,22 \text{ kNm} > 561,33 \text{ kNm} = M_{Sd}$

A secção transversal é SATISFATÓRIA.

Verificação do dente do muro

Forças atuantes na construção

Nome	F_{hor} [kN/m]	Pt. aplic. z [m]	F_{vert} [kN/m]	Pt. aplic. x [m]	Projeto coeficiente
Peso - parede	0,00	-0,20	29,44	2,40	1,000
Peso - cunha de terra	0,00	-2,07	144,66	1,87	1,000
Empuxo ativo	51,60	-1,45	73,96	3,24	1,000
Sobrecarga na Av.	9,19	-1,87	16,00	2,40	1,000
Tensão de contato	0,00	0,00	-242,98	2,21	1,000

Verificação do dente do muro

Armadura e dimensões da secção transversal

98 prof. 20,0 mm, revest. 30,0 mm

Área de armadura introduzida = 30787,6 mm²

Área de armadura necessária = 29746,4 mm²

Largura da secção transversal = 14,00 m

Altura da secção transv. = 0,40 m

Rácio de armadura $\rho = 0,61\% > 0,15\% = \rho_{min}$

Posição do eixo neutro $x = 0,07\text{ m} < 0,09\text{ m} = x_{max}$


Força de cisalhamento última $V_{Rd} = 4384,80\text{ kN} > 295,16\text{ kN} = V_{Ed}$

Momento último $M_{Rd} = 4467,59\text{ kNm} > 4327,99\text{ kNm} = M_{Ed}$

A secção transversal é SATISFATÓRIA.

Apêndice 3 – Memória de Cálculo dos quantitativos do muro de flexão

		MEMÓRIA DE CÁLCULO		FOLHA: 01/02			
		CLIENTE:	FEAMIG	FEITO POR:	MARCELO	DATA:	13/04/2021
		TABLA:	TCC II	CONFERIDO POR:	RONALDO	DATA:	14/04/2021
		ATIVIDADE A SER EXECUTADA:					
MURO EM CONCRETO ARMADO L = 14,0m							
<u>ESCAVAÇÃO</u>							
- Caldeão (área do muro): $4,00 \times 8,00 \times 14,00 = 398,00 \text{ m}^3$							
- Talude: $(8,00 \times 8,00) / 2 \times 14,00 = 352,00 \text{ m}^3$							
- Viga de bordo do muro: $0,40 \times 0,40 \times 14,00 = 2,24 \text{ m}^3$							
Total escavação: <u>590,24 m³</u>							
<u>REGULARIZAÇÃO DE FUNDO DE VALA</u>							
- Área da sapata do muro: $4,00 \times 8,00 = 24,00 \text{ m}^2$							
Total regularização: <u>24,00 m²</u>							
<u>CONCRETO MAGRO</u>							
- Área da sapata do muro: $4,00 \times 8,00 \times 0,05 = 1,20 \text{ m}^3$							
Total concreto magro: <u>1,20 m³</u>							
<u>ARMAÇÃO</u>							
Haste do muro (\varnothing 20,0mm): 112 unid. \times 8,00m \times 2,468 kg/m = 1857,15 kg							
Aranço do muro (\varnothing 12,5mm): 70 unid. \times 4,00m \times 0,983 kg/m = 269,64 kg							
Dente do muro (\varnothing 20,0 mm): 98 unid. \times 4,00m \times 2,468 kg/m = 968,67 kg							
Barras horizontais parede muro (\varnothing 16,0 mm): $8,00 / 0,15 = 40$ unid. \times 14,00 \times 1,578 = 889,68 kg							
Barras horizontais sapata muro (\varnothing 16,0 mm): $(4,00 / 0,15) \times 3 = 81$ unid. \times 14,00 \times 1,578 = 17489,45 kg							
Total armação: <u>5560,50 kg</u>							
<u>ANDAIMES</u>							
Parede do muro: $14,00 \times (5,40 - 1,50) \times 2 = 109,20 \text{ m}^2$							
Total andaimes: <u>109,20 m²</u>							
<u>FORMA</u>							
Parede do muro: $(5,40 \times 14,00) \times 2 + (5,40 \times 0,40) \times 2 = 155,52 \text{ m}^2$							
Sapata do muro: $(0,40 \times 14,00) \times 2 + (0,40 \times 4,00) \times 2 = 14,40 \text{ m}^2$							
Total forma: <u>169,92 m²</u>							
<u>CONCRETO ESTRUTURAL</u>							
Sapata do muro: $4,00 \times 14,00 \times 0,40 = 22,40 \text{ m}^3$							
Viga de bordo do muro: $14,00 \times 0,40 \times 0,40 = 2,24 \text{ m}^3$							
Parede do muro: $8,00 \times 14,00 \times 0,40 = 33,60 \text{ m}^3$							
Total concreto estrutural: <u>58,24 m³</u>							

		MEMÓRIA DE CÁLCULO		FOLHA	
				02/02	
CLIENTE:		FEAMIG		FEITO POR:	
				MARCELO	
DATA:		TCC II		DATA:	
				12/04/2021	
REFERÊNCIA / TÍTULO:		MURO EM CONCRETO ARMADO L = 14,0m		CONFERIDO POR:	
				RONALDO	
				DATA:	
				14/04/2021	

REATERRO

Volume de escavação - Volume do muro: $590,24 - 58,24 = 532,00 \text{ m}^3$

Total reaterro: $532,00 \text{ m}^3$

TRANSPORTE DE MATERIAL

Volume de reaterro x DMT de 30km = $532,00 \times 30 = 15960,00 \text{ m}^3 \times \text{km}$

Total transporte de material: $15960,00 \text{ m}^3 \times \text{km}$

ESPALHAMENTO DE MATERIAL

Volume de reaterro = $532,00 \text{ m}^3$

Total espalhamento de material: $532,00 \text{ m}^3$

BASE PARA PAVIMENTO

Considerando 2 camadas de espessura de 30cm = $18,00 \times 8,00 \times 0,60 = 76,80 \text{ m}^3$

Total base para pavimento: $76,80 \text{ m}^3$

PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO ASFÁLTICO

Considerando 1 camada de espessura de 10cm = $18,00 \times 8,00 \times 0,10 = 12,80 \text{ m}^3$

Total pavimento asfáltico: $12,80 \text{ m}^3$

TRANSPORTE DE MASSA ASFÁLTICA

Volume de pavimento x DMT de 20km = $12,80 \times 20 = 256,00 \text{ m}^3 \times \text{km}$

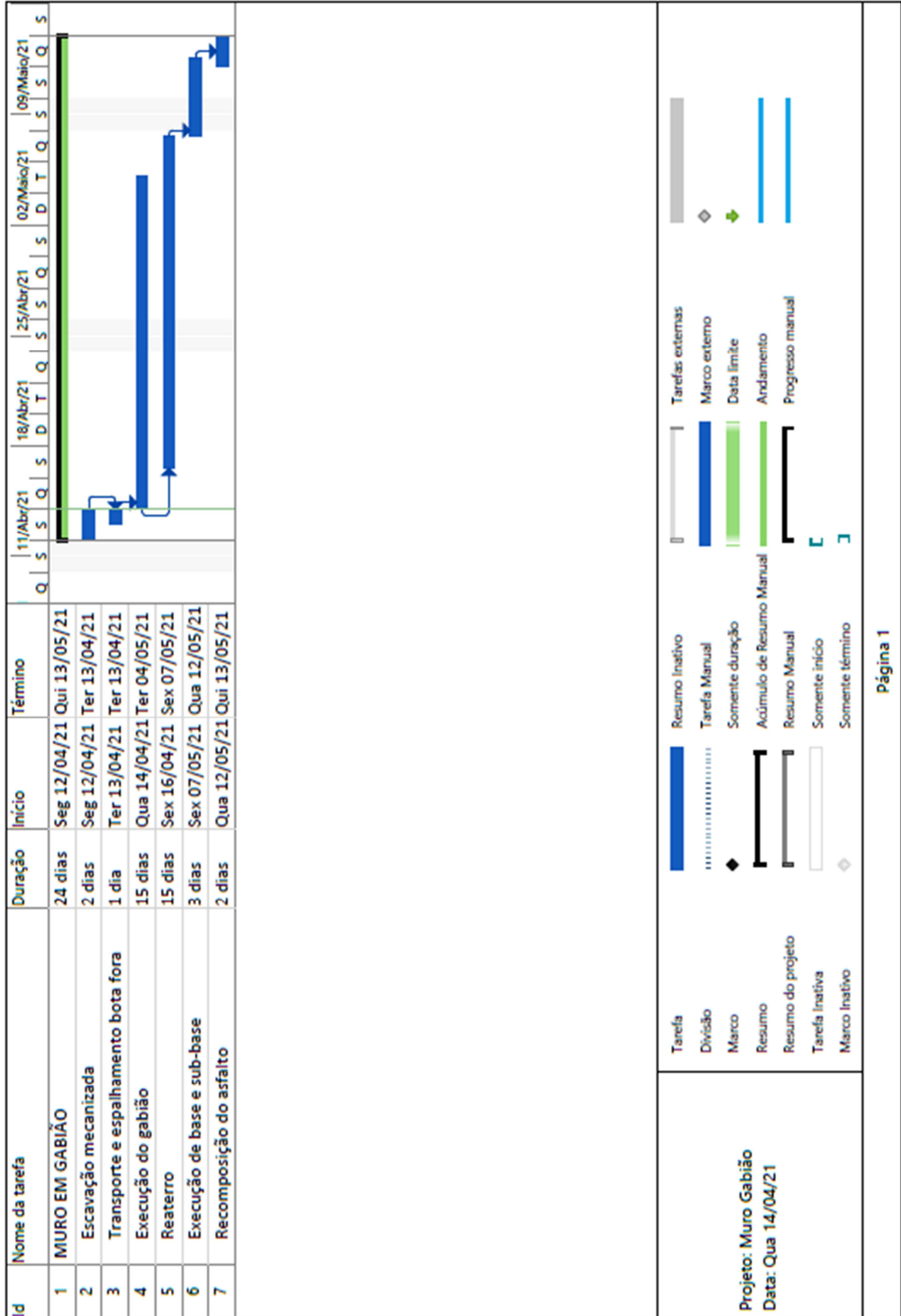
Total transporte de massa asfáltica: $12,80 \text{ m}^3 \times \text{km}$

IMPRIMAÇÃO E PINTURA ASFÁLTICA

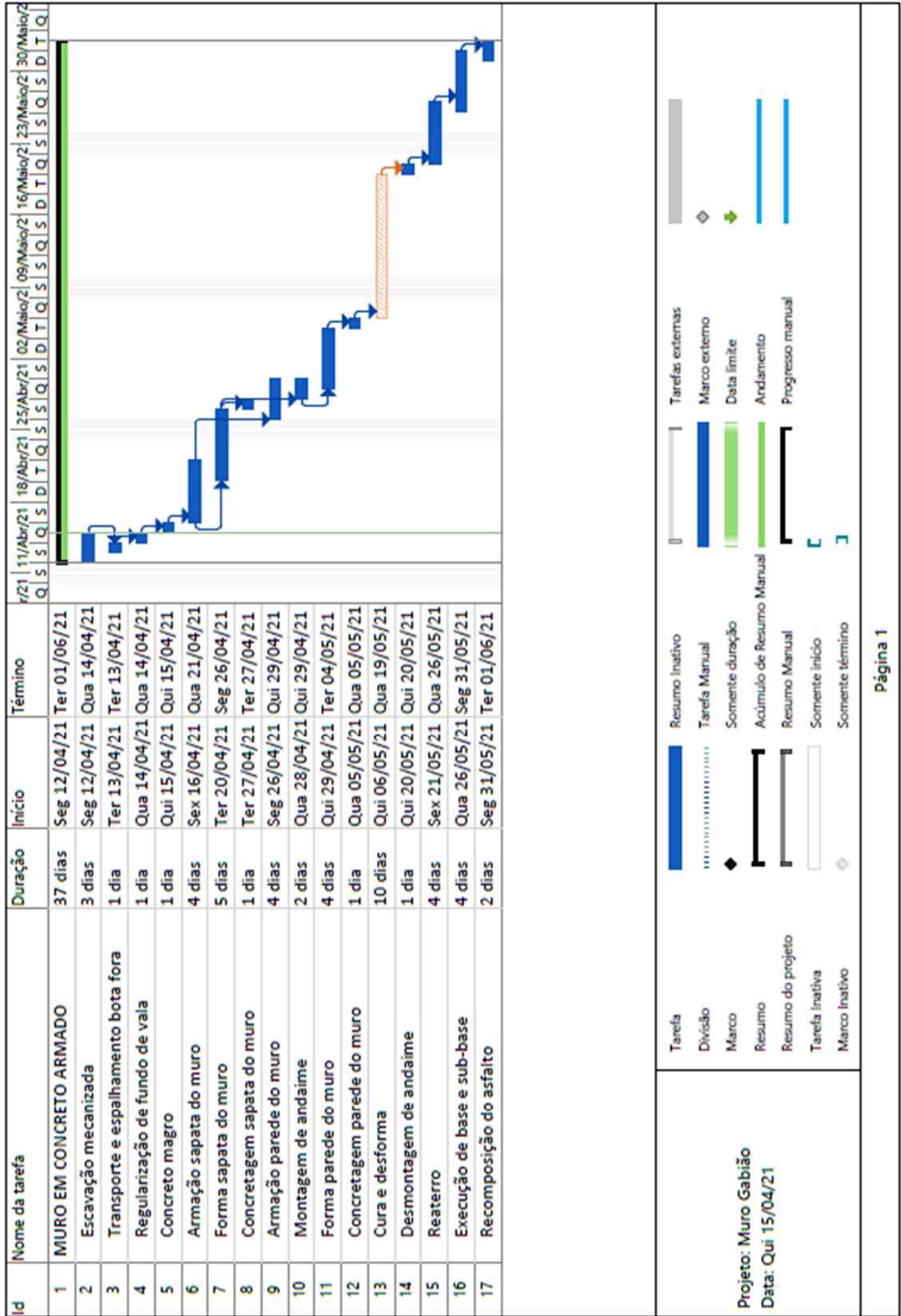
Área de recomposição: $18,00 \times 8,00 =$

Total imprimação e pintura: $12,80 \text{ m}^3 \times \text{km}$

Apêndice 4 – Cronograma – Muro em Gabião



Apêndice 5 – Cronograma – Muro de flexão



Apêndice 6 – Termo de Autorização Maccaferri



FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS
 PROGRAMA DE PESQUISA, PRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA - PPDC
 Gamelera, Rua Gastão Bráulio dos Santos, 837 – Nova Gamelera
 CEP 30510-120 - Tel (31)3372-3703

TERMO DE AUTORIZAÇÃO

À/ Ao (empresa): **Maccaferri do Brasil LTDA**
 CNPJ: 43.876.960/0003-94
 Coordenador: **Bráulio Victor Rodrigues**
 Endereço: **Avenida Professor Magalhães Penido, 659, São Luiz, Belo Horizonte – MG.**

Ilmo. Sr. Coordenador

Informamos a V. Sa. que os alunos estão desenvolvendo uma pesquisa em nível de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) vinculada ao Centro de Pesquisa, Produção e Divulgação Científica (PPDC) da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais, a saber:

Título: OBRA DE CONTENÇÃO: Estudo de caso de obra de contenção como solução para erosão de talude, localizado no Município de Santa Luzia – MG.

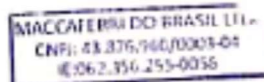
Orientador (es): Prof. MSc Paulo Mário Cruz de Freitas

Período: 10^º

Diante disso, os alunos supracitados solicitam autorização para a coleta de dados e citação da empresa na referida pesquisa e se comprometem a utilizar das informações coletadas, exclusivamente, para fins acadêmicos e a divulgar os resultados, prioritariamente, para vossa empresa.

Belo Horizonte, 06 de Abril de 2021.

Firma o presente,



Bráulio Victor Rodrigues
 Assinatura e Carimbo do Coordenador

Apêndice 7 – Artigo Aprovado – 4º Caderno de Comunicação Universitárias

ESTUDO DE CASO DE OBRA DE CONTENÇÃO COMO SOLUÇÃO PARA EROÇÃO DO TALUDE, LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE SANTA LUZIA – MG.

Junio Pereira Ribeiro¹
 Marcelo Castelo Branco de Souza Mendonça²
 Ronaldo Moraes da Silva Filho³
 Paulo Mário Cruz de Freitas⁴

RESUMO

A presente pesquisa pretende analisar a solução de contenção proposta para o desmoronamento de um talude em uma avenida localizada no município de Santa Luzia, Minas Gerais e fazer um comparativo com outra alternativa de contenção que será o muro de flexão em concreto armado, popularmente conhecido como muro de arrimo. Foram desenvolvidos os estudos, por uma empresa especializada, de contenção do talude erodido para a Prefeitura Municipal de Santa Luzia que realizou a contratação de uma empresa local para execução das obras em caráter emergencial. Será utilizado o software GawacWin para comparar o dimensionamento do gabião e o software Geo5 para dimensionar o muro de flexão, com as mesmas condições e os mesmos dados da situação criada para o gabião, demonstrando a vantajosidade e versatilidade do gabião como uma alternativa de contenção.

Palavras-chave: Contenções. Talude. Gabião. Fator de Segurança. Muro de Flexão

Correspondência/Contato

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais

FEAMIG

Rua Gastão Braulio dos Santos, 837
 CEP 30510-120
 Fone (31) 3372-3703
 parametrica@feamig.br
 http://www.feamig.br/revista

Editores responsáveis

Wilson José Vieira da Costa
 wilsoncosta@feamig.br

Raquel Ferreira de Souza
 raquel.ferreira@feamig.br

¹ Graduando em Engenharia Civil – FEAMIG juniopribeiro@gmail.com

² Graduando em Engenharia Civil – FEAMIG marcelocastelo.85@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Civil – FEAMIG ronaldomoraissf@gmail.com

⁴ Engenheiro Civil; Mestre em Geologia (Hidrogeologia); Docente da FEAMIG; Orientador.

1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente ocupação de áreas urbanas de forma desordenada, houve um aumento de moradias em áreas de risco. Essas moradias, geralmente, estão irregulares e instaladas em locais impróprios ao assentamento humano, pois estão sujeitas a riscos naturais como a inundação, desmoronamento ou deslizamento de terra em áreas de alta declividade e a incidência de chuvas favorece substancialmente a ocorrência desses fenômenos.

É função do poder público, promover as condições dignas de moradia e entregar os serviços básicos à população. Para isso são necessários investimentos em infraestrutura urbana, como por exemplo, a abertura de avenidas para acesso e estruturas preventivas ou corretivas para contenção de locais com possível potencial de desmoronamento.

Diante deste cenário torna-se necessário o estudo do comportamento dos taludes, através de uma avaliação geológica e topográfica para evitar que a ação antrópica seja o gatilho para novos desastres.

Estruturas de contenção são construídas com a intenção de admitir estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou rocha. São estruturas que fornecem suporte a estes maciços com o seu peso próprio ou por carregamentos externos, evitando o escorregamento ou movimentação de solo. Alguns exemplos dessas estruturas são os muros de flexão e muros de contenção por gravidade como o gabião.

A presente pesquisa será a análise da solução de engenharia proposta para a contenção de um talude erodido localizado na Avenida Adail Tófani, no Bairro Liberdade município de Santa Luzia, Minas Gerais utilizando a tecnologia de gabião como alternativa e uma comparação entre outra alternativa de contenção, muro de flexão, para verificação da técnica mais vantajosa do local de estudo levando em consideração ao aspectos do fator de segurança, ambiental, econômicos e prazo de execução, tendo em vista o caráter emergencial.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Geotecnia

Geotecnia é uma área relevante para Engenharia que estuda o comportamento dos solos e rochas utilizando aplicações de métodos científicos e princípios para interpretação e análise dos materiais. A Geotecnia é abordada em todos os projetos de engenharia desde a parte de fundações, aterros, barragens ou estruturas de contenções, Pinto (2006) complementa

que este é o ramo da engenharia em que o Engenheiro Civil se baseia para desenvolver seus projetos.

A geotecnia é fortemente aplicada para engenharia de barragens, fundações, pavimentação, túneis e na área ambiental. As áreas de atuação podem abranger atividades de consultoria para Mapeamentos Geotécnicos com estudos de comportamento dos solos e estabilização química, aterros sanitários, empresas especializadas em fundações. Para a recuperação de áreas degradadas, obras de caráter preventivo em locais com risco de deslizamento de talude ou obras emergenciais geralmente são executadas estruturas de contenção e as estruturas de contenções mais utilizadas são o muro de flexão e também o gabião que surge como uma alternativa mais econômica e “adaptável” a algumas situações.

2.2 Muro de arrimo

Pode-se definir muro de arrimo (Figura 1) como estrutura de contenção criadas com a função de resistir aos empuxos laterais que são encontrados nos taludes naturais, por escavações ou até mesmo pela água. Este tipo de estrutura é usado quando temos diferentes tipos de níveis o que faz com que tenha tipos diferentes de carregamentos, logo teremos um descarregamento desta carga. O muro de arrimo deve suportar as carga laterais encontradas, pois a adversidade de limites pode trazer sérios danos a estrutura como perda de estabilidade global, ruptura do elementos estruturais ou ligação entre elementos, ruptura conjunta do terreno, movimentos excessivos da estrutura de suporte, problemas que a água pode causar através de escoamento irregular ou repasses de água ou partículas pela estrutura.

Figura 1: Muro de arrimo em concreto armado



Fonte: Gomes e Lima, 2018

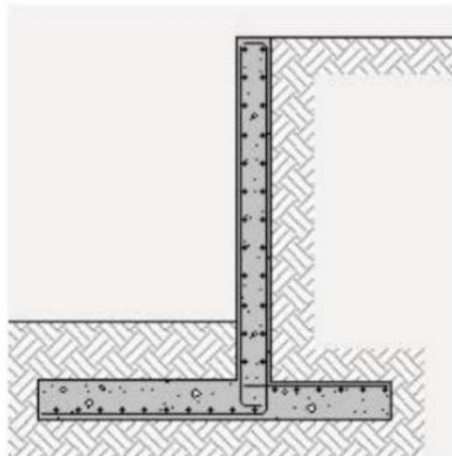
Especialistas divergem em relação a variedade de tipos de muros de arrimo gerando assim uma diversificação na classificação, neste estudo iremos abordar sobre os muros de contenção de gravidade e em concreto armado.

2.3 Muro de flexão

Os muros de flexão em concreto armado diferem dos muros de gravidade, pois mostram uma adição de esforços resistentes de flexão, são estruturas rígidas que não aceitam nenhum tipo de deformação.

Estes muros são estruturas com seção transversal em forma de “L” na maioria dos casos, no entanto podem também apresentar seção transversal em forma de “T” em situações de maiores alturas. São denominados desta forma, pela razão de resistirem aos empuxos por flexão, empregando parte do peso próprio do solo que se sustenta sobre a base da estrutura, para manter sua estabilidade. (Figura 2).

Figura 2: Seção do muro em “T”



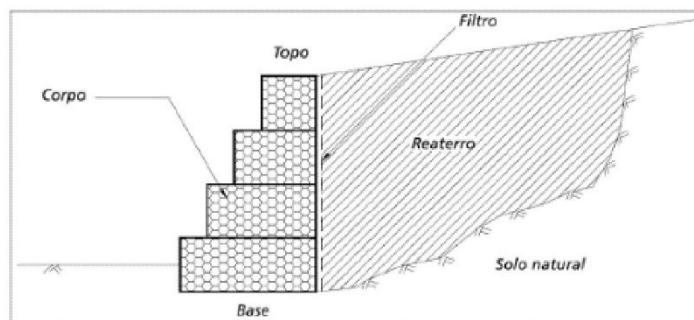
Fonte: Junior e Lemes, 2014

2.4 Muro em gabião

As estruturas de contenção a gravidade em gabiões são um tradicional sistema de contenção. Segundo Barros (2010), contenções em gabiões são constituídas por gaiolas

metálicas com telas de malha hexagonal de dupla torção construídas com fios de aço galvanizado e preenchidas com pedras organizadas manualmente. Essas estruturas são muito vantajosas, pois possuem um conjunto de características funcionais que não encontramos em outros tipos de estruturas (Figura 3).

Figura 3: Muro em gabiões



Fonte: Barros, 2010

2.5 Estabilidade de taludes – Dimensionamento e metodologia de cálculo

Frequentemente, os engenheiros civis se deparam com a necessidade de verificar a segurança de superfícies inclinadas dos solos, que são chamados de taludes. Esses taludes podem ser naturais (encostas) ou construídos pelo homem (cortes e aterros). O fenômeno gravitacional tende a mover o solo para baixo, conforme indicado na Figura 4. Se a componente da gravidade for elevada podem ocorrer ruptura do talude que é o deslizamento da massa de solo para baixo.

Figura 4: Escorregamento de talude



Fonte: Braja, 2020

2.5.1 Fator de Segurança

Segundo a norma NBR 11682 (ABNT, 2009) o fator de segurança é a relação entre os esforços estabilizantes (atuantes) para determinado método de cálculo adotado. A tarefa do engenheiro é determinar o fator de segurança (FS) mais adequado para a contenção de um talude, levando em consideração o local da obra e áreas vizinhas, potencial de danos ambientais, materiais e a finalidade da contenção.

Segundo Braja (2020) o fator de segurança é definido por:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Onde: F_s = fator de segurança com relação à resistência

τ_f = resistência média ao cisalhamento do solo

τ_d = tensão média de cisalhamento desenvolvida ao longo da superfície potencial de ruptura

Os parâmetros praticados para elaboração de projetos são:

$$F_s = \begin{cases} > 1 \rightarrow \text{obra estável} \\ = 1 \rightarrow \text{talude em estado de ruptura iminente} \\ < 1 \rightarrow \text{não tem significado físico} \end{cases}$$

A norma NBR 11682 (ABNT, 2009), estabelece que, dependendo dos riscos envolvidos, deve-se inicialmente enquadrar o projeto em uma das classificações de nível de segurança, definidos a partir dos riscos de perdas humanas, conforme indicado na Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Nível de segurança desejável contra perdas 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: ABNT NBR 11682, 2009

Tabela 2: Fatores mínimos para estabilidade de taludes

Nível de segurança conta danos materiais e ambientais \ Nível de segurança conta perdas de vidas humanas	Alto	Médio	Baixo
	Alto	1,5	1,5
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Nota 1: No caso de grande variabilidade dos resultados de ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10%. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semi-probabilístico indicado no Anexo D da referida norma.

Nota 2: No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , c e ϕ , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1.1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

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

Fonte: ABNT NBR 11682, 2009

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir da análise da documentação fornecida pela empresa que realizou os estudos prévios e dimensionamento da estrutura de gabião proposta para contenção do talude situado em Santa Luzia e dos cálculos realizados para o dimensionamento de um muro de flexão, considerando as mesmas premissas adotadas para a contenção em gabião e por último o comparativo de custo e de execução de ambas as soluções.

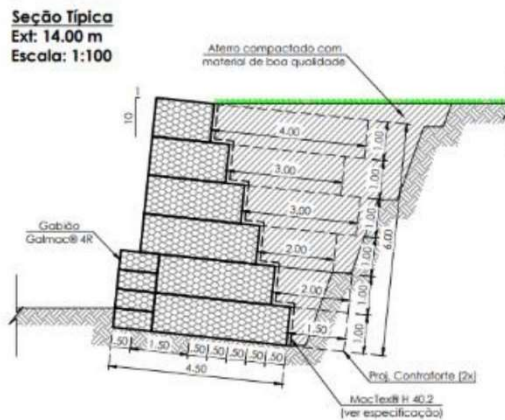
3.1 Solução adotada para contenção do talude erodido utilizando a tecnologia de gabião como alternativa

Levando em conta as características da obra, de caráter emergencial de escasso tempo hábil para execução e além das principais características do gabião como: estrutura versátil e de fácil execução, não necessita de mão de obra específica, podem ser usados em superfícies com as piores características de solos, além disso, as estruturas de contenção em gabiões

adaptam-se às acomodações e movimentos do terreno, sem perda de sua estabilidade e eficiência.

Outra característica não menos importante é de o gabião ser uma estrutura auto drenante composta por trinta por cento de vazios o que inibe futuros problemas referente a drenagem do solo, isso faz do gabião uma solução moderna e eficiente para a contenção de taludes e encostas, dessa maneira, chegou-se à conclusão de que esta era a melhor alternativa. Na Figura 5 observa-se a seção tipo adotada para o muro em gabião.

Figura 5: Seção tipo da contenção em gabião



Fonte: Maccaferri, 2020

Para o cálculo do muro em gabião foi utilizado o software GawacWin, software desenvolvido pela empresa Maccaferri. Os métodos utilizados nos cálculos fazem referência ao “Equilíbrio Limite”, que utilizam as teorias de Rankine, Coulomb, Bishop, entre outros (método Simplex) para a verificação de estabilidade global da estrutura. O programa leva em consideração as características mecânicas dos gabiões Maccaferri e peso específico padrão dos agregados. Os resultados dos cálculos não serão realísticos no caso da utilização de outros tipos de materiais. A Tabela 3 informa os resultados obtidos pelo software.

Tabela 3: Resultados dos Fatores de Segurança – Muro em gabião

Externa				Interna	Global
FS para Deslizamento	FS para Tombamento	FS - Tensão na Base eq.	FS - Tensão na Base dif.	FS interna (ortog.)	FS Global
3.58	7.60	4.49	6.10		2.93

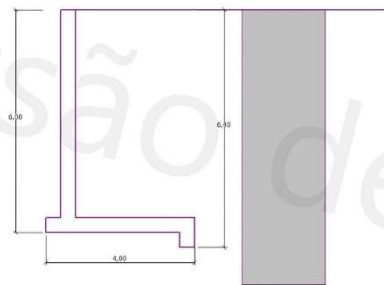
Fonte: Software GawacWin

3.2 Solução alternativa para contenção do talude erodido

A solução alternativa escolhida para estudo nesta presente pesquisa, dentre várias opções, foi o muro de flexão. O dimensionamento será de forma mais genérica apenas para o estudo acadêmico e também à título de observação e comparação. Serão adotadas as mesmas diferenças de nível do terreno e comprimento que foram consideradas no dimensionamento do gabião.

Os parâmetros utilizados para definir o tipo de solo foram os mesmos adotados para o dimensionamento do gabião, que foi através da análise visual in loco, onde foi constatado em uma observação superficial que não havia matéria orgânica no solo e utilizados os conceitos da mecânica dos solos para determinar a sua caracterização. Na Figura 6 observa-se a seção tipo adotada para o muro de flexão.

Figura 6: Seção tipo da contenção do muro de flexão



Fonte: Software Geo5

Para os cálculos da análise de estabilidade, tombamento e pressão na fundação foi utilizando o software Geo5 da empresa Fine considerando o método de Coulomb para os cálculos. A Tabela 4 informa os resultados obtidos pelo software.

Tabela 4: Resultados dos Fatores de Segurança – Muro de Flexão

Fator de segurança = 7,25 > 1,50
Resistência do muro ao tombamento É SATISFATÓRIA
Verificação de deslizamento
Reação horizontal $H_{res} = 258,47$ kN/m
Força horizontal ativa $H_{act} = 26,70$ kN/m
Fator de segurança = 9,68 > 1,50
Resistência do muro ao deslizamento É SATISFATÓRIA
Verificação global - MURO É SATISFATÓRIA

Fonte: Software Geo5

3.3 Comparação do gabião como a solução alternativa no aspecto custo x benefício

Para realizar o comparativo de custos entre as duas soluções adotadas, foram utilizados os quantitativos levantados do estudo do muro em gabião e os quantitativos do dimensionamento do muro de flexão levantados pelos autores desta pesquisa.

Os preços utilizados no orçamento de ambas as soluções foram coletados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, que pertence à Caixa Econômica Federal, com data base de Fevereiro de 2021, abrangência da região de Belo Horizonte, considerando os encargos de mão de obra sem desoneração.

De acordo com as planilhas de quantidades e preços, a diferença de valores entre o muro em gabião e o muro de flexão é considerável. O muro chega a ser quase treze por cento mais caro do que o gabião. Essa diferença pode ser explicada pelo fato do muro de flexão necessitar de serviços adicionais como execução de forma, armação e concreto além de ter os quantitativos de escavação, reaterro e recomposição do asfalto maiores devido à metodologia executiva. A Tabela 5 detalha a diferença de preço e percentual econômico entre as duas opções.

Tabela 5: Comparativo de custo das opções

ESTRUTURA	VALOR	DIFERENÇA DE PREÇO	PERCENTUAL ECONÔMICO
Muro em Gabião	R\$ 175.092,75	R\$ 26.128,43	12,98%
Muro de Flexão	R\$ 201.221,18		

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Para realizar a comparação do prazo executivo do muro em gabião e do muro de flexão, utilizamos os mesmos índices de mão de obra e equipamentos que foram considerados nas composições de preços unitárias – CPU constantes nas planilhas de quantidades, utilizadas do SINAPI e a produtividade que foi aferida durante a execução do gabião.

Com base nos cronogramas elaborados, chegamos no prazo previsto para execução do gabião de vinte e quatro dias trabalhados enquanto o prazo previsto para a execução do muro de flexão foi de trinta e sete dias trabalhados, o que equivale à trinta e cinco por cento a mais de dias trabalhados, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6: Comparativo de prazo das opções

ESTRUTURA	DIAS TRABALHADOS	DIFERENÇA DE DIAS	PERCENTUAL DE PRAZO
Muro em Gabião	24	13	35,14%
Muro de Flexão	37		

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos estudos apontaram que a solução de gabião se mostrou mais eficiente pois, trata de uma contenção versátil que se adapta às movimentações e acomodações do terreno sem o comprometimento de sua eficiência além de ser uma estrutura auto drenante.

Em nossos estudos apresentamos uma solução alternativa, o muro de flexão e realizamos um comparativo desta solução com o muro em gabião. O muro em gabião apresentou um menor preço e menor prazo de execução, o que torna uma opção mais atrativa economicamente e mais viável em virtude do caráter emergencial.

A execução do gabião se destaca pela facilidade de montagem, onde dispensa mão de obra especializada, é uma estrutura eclética que permite alterações na sua estrutura mesmo após finalizada e pela segurança durante a execução pois, os colaboradores estão expostos a riscos menores do que o muro de flexão durante as atividades.

Pensando em obras sustentáveis que utilizam um processo construtivo ambientalmente responsável com a utilização responsável dos recursos naturais a solução em gabião utilizam materiais de jazidas locais para obras mais rápidas e produtivas, reduzindo a importação e exportação de insumos na construção e o desperdício de materiais reduzindo assim os impactos ambientais. A estética do gabião integra-se facilmente ao meio ambiente e não interfere do lençol freático por ser uma estrutura permeável.

Como este trabalho foi elaborado para fins acadêmicos, recomenda-se para análise futura, um dimensionamento mais detalhado do muro de flexão e um orçamento considerando todas as atividades envolvidas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682 – Estabilidade de Taludes**. Rio de Janeiro, 2009.

BARROS, P. L. **Obras de Contenção**. [s.l.]. Maccaferri, 2010.

BRAJA, M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 9. ed. rev. São Paulo: CENGAGE, 2020. 561 p.

CAIXA. **Tudo sobre o SINAPI**. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 18 abr. 2021.

FINE. **Software Geotécnico GEO5**. Disponível em: <https://www.finesoftware.com.br/software-para-geotecnia/> Acesso em: 02 abr. 2021.

GOMES, C. R. F e LIMA, S. R. **Muros de flexão: DIMENSIONAMENTO E SEUS ASPECTOS CONSTRUTIVOS**. Orientador: Professor Msc Ricardo Sampaio Romão Filho. 2018. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2018.

JUNIOR, F e LEMES, R. **Estudo comparativo entre estruturas de contenção: Contenção à Gravidade em Gabiões, Solo Reforçado Terramesh System e Muro à Flexão em Concreto Armado**. Orientador: Prof. Esp. Paulo Eduardo Oliveira da Rocha. 2014. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Padre Anchieta, Jundiaí, 2014.

JUNIOR, P. **Gabiões e estruturas de arrimo: Análise teórico-numérico-experimental do comportamento mecânico**. Orientador: Prof. Dr. Pérsio Leister de Almeida Barros. 2018. 213 f. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Civil) - UNICAMP, Campinas, 2018.

MACCAFERRI, **Contenção em Gabiões**. Minas Gerais, 2020.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.