



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE NA CIDADE DE SÃO LUÍS-MA**

LUCAS MEDEIROS AGUIAR

POMBAL – PB

2022

LUCAS MEDEIROS AGUIAR

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE NA CIDADE DE SÃO LUÍS-MA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros

Coorientador(a): Engenheira Civil Maria Isabel Ferreira dos Santos

POMBAL – PB

2022

A283e Aguiar, Lucas Medeiros.

Estudo de viabilidade técnica-econômica de estabilização de talude na cidade de São Luís - MA / Lucas Medeiros Aguiar. – Pombal, 2022.

44 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros, Eng. Civil Maria Isabel Ferreira dos Santos”.

Referências.

1. Solo grampeado. 2. Muro gabião. 3. Método de Spencer. 4. Contenção de talude. I. Medeiros, Eduardo Morais de. II. Santos, Maria Isabel Ferreira dos. III. Título.

CDU 69.07(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

LUCAS MEDEIROS AGUIAR

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE NA CIDADE DE SÃO LUÍS-MA**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente (LUCAS MEDEIROS AGUIAR)
APROVADO em 19 de dezembro de 2022 ano pela comissão examinadora
composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do
título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande

Registre-se e publique-se.



Assinado digitalmente por EDUARDO
MORAIS DE MEDEIROS:06778859466
Razão: Eu atesto a precisão e a
integridade deste documento
Localização: Pombal-PB
Data: 2023.02.08 07:23:54-03'00'

Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros
(Orientador – UFPA)

Prof^ª. Dr^ª. Suelen Silva Figueiredo Andrade
(Membro Interno – UFPA)

Engenheira Civil Maria Isabel Ferreira dos
Santos
(Coorientador – UFPA)

Engenheira Civil Bruna Hélen Brito de Araújo
(Membro Externo – UFPA)

À minha mãe Alcione, DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus por ter me dado discernimento e sabedoria no decorrer da minha trajetória de vida e acadêmica.

A Universidade Federal de Campina Grande – CCTA, e todo o corpo docente do curso de Engenharia Civil, direção, coordenação, administração e a todos os funcionários da Universidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros por ter se colocado à disposição de me orientar no desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientadora e querida amiga Maria Isabel Ferreira dos Santos, que tem grande importância em minha vida.

Aos meus pais, Genivaldo Antônio de Aguiar (*in memoriam*) e Alcione Gomes de Medeiros, em especial a ela, pelos ensinamentos, apoio e amor durante a minha formação pessoal e acadêmica.

Aos meus irmãos, Luana Gomes de Medeiros e Luan José de Medeiros da Costa, pelo incentivo, a minha avó Diva Gomes da Silva por sempre acreditar em mim e à toda a minha família.

À minha maravilhosa namorada, Nivia Maria de Araújo Silva por não somente acreditar em mim e me incentivar, como ajudar diretamente na realização deste trabalho.

À Terra Sol Engenharia Geotécnica, nas pessoas de Elídio Nunes Vieira e Rafaela Nascimento Gomes, pela oportunidade de fazer parte da referida empresa e por todos os ensinamentos que pude adquirir ali estando.

Aos meus queridos amigos Rafaela Oliveira da Silva e Helton Rijkaard Lima de Sousa por toda ajuda junto a este trabalho e por acreditarem que daria certo.

A todos que de alguma forma fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

A instabilidade de encostas é consequência da própria dinâmica de evolução das encostas. Com o avanço dos processos físico-químicos de alteração das rochas, o material resultante torna-se menos resistente e, dependendo da influência da topografia, geram condições propícias para deflagar a ruptura (GERSCOVICH, 2016, p. 14)

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE NA CIDADE DE SÃO LUÍS-MA

TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF SLOPE STABILIZATION IN THE CITY OF SÃO LUÍS-MA

Lucas Medeiros Aguiar, e-mail: lucas.medeiros@estudante.ufcg.edu.br

Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros, e-mail: mm.edu@hotmail.com

RESUMO

Os deslizamentos ou escorregamentos de encostas podem ser causados pela ação humana, por uma intervenção natural ou antrópica, por sua vez, tais deslizamentos são resultados da instabilidade de taludes, que podem gerar riscos à segurança da população, a bens materiais e ambientais. Dessa forma, o presente trabalho objetiva analisar a estabilidade de um talude na cidade de São Luís-MA, visando propor dois tipos distintos de contenções como solução para instabilidade deste talude. As análises foram realizadas utilizando os métodos do Equilíbrio Limite Generalizado (GLE) e Spencer. A área de estudo é caracterizada por possuir a geologia aflorada, representada por sedimentos Creatáceos, Terciários e Quaternários. Logo, a partir dos dados obtidos foi possível verificar que a encosta apresenta um fator de segurança inferior ao indicado na NBR 11682/2009 sendo possível propor como solução para a instabilidade, um sistema de solo grampeado e de muro gabião, assim, levando em consideração a análise de estabilidade do talude e análise de viabilidade técnica-econômica realizada, concluiu-se que os FS encontrados variaram de 1.551 a 1.619, constatando a estabilidade do talude após a solução proposta. Contudo, após as soluções serem quantificadas, verificou-se que o solo grampeado é a solução que se apresenta com mais viabilidade técnica e econômica.

Palavras-chave: Solo grampeado. Muro gabião. Método de Spencer.

ABSTRACT

Landslides or slope slides can be caused by human action, by a natural or anthropic intervention, in turn, such landslides are results of slope instability, which can generate risks to the safety of the population, material and environmental assets. Thus, this paper aims to analyze the stability of a slope in the city of São Luís, MA, in order to propose two different types of containment as a solution to slope instability. The analyses were performed using the Generalized Limit Equilibrium (GLE) and Spencer methods. The study area is characterized by its outcropping geology, represented by Cretaceous, Tertiary and Quaternary sediments. Therefore, from the data obtained it was possible to verify that the slope has a safety factor lower than that indicated in the NBR 11682/2009 and it was possible to propose a stapled soil and gabion wall system as a solution to instability. Taking into account the slope stability analysis and the technical and economic feasibility analysis performed, it was concluded that the FS found ranged from 1.551 to 1.619, confirming the slope stability after the proposed solution. However, after the solutions were quantified, the stapled soil was found to be the most technically and economically feasible solution.

Keywords: Stapled only. Gabion wall. Spencer method.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma grande extensão territorial, sendo cruzado ao norte pela linha do Equador e, ao sul, pelo Trópico de Capricórnio, apresentando assim uma ampla diversidade climática, variando de climas com longos períodos de seca severa a climas com chuvas torrenciais (MARTINS, 2022). Tal variabilidade climática age de forma contínua na modelagem do relevo, ou seja, constitui um fator preponderante na alteração de sua geomorfologia, podendo trazer inúmeros problemas, dentre eles relacionados a estabilidade de taludes e encostas.

Para Carvalho *et al.* (1991), podem ser definidos como taludes naturais, encostas de maciços de solo, rocha ou mistos que possuem superfície não horizontal e que tem sua origem dada por agentes naturais. Já os taludes de corte, podem ser definidos como taludes resultantes de escavação, oriunda da ação humana, e taludes de aterro como taludes originados pelo depósito de materiais, como solo, rocha e rejeitos industriais ou de mineração, sendo, também, resultado da ação humana.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), no Brasil, desde 1988 até 8 de fevereiro de 2022, foram registrados aproximadamente 4 mil (quatro mil) óbitos em razão da ocorrência de deslizamentos de terra. É visto que, mesmo com o decorrer do tempo, com a evolução tecnológica e os avanços dos estudos acerca dos fatores que causam os deslizamentos, tal problema ainda é recorrente em todo território brasileiro, acarretando danos ambientais, de infraestrutura e socioeconômicos.

Ainda, de acordo com Amorim e Busch (2011) em 2011 a região serrana do Rio de Janeiro teve um número catastrófico de 900 mortes devido às fortes chuvas, esse desastre natural provocou deslizamentos e enchentes em sete municípios, sendo apontada pela ONU como 8º maior catástrofe climática e geotécnica ocorrida nos últimos 100 anos no mundo, além de ser considerada o maior deslizamento do país.

Conforme Oliveira e Mélo (2005) ações antrópicas nas áreas de ocupações espontâneas impactam a estabilidade desses maciços, logo, na maioria das vezes os deslizamentos de taludes podem ocorrer em razão de fortes chuvas que assolam, principalmente, locais periféricos, em razão da ocupação desordenada em locais inapropriados das encostas e morros.

Nessa direção, entende-se que a análise de estabilidade pode ser definida como o conjunto de métodos utilizados para verificar, analisar e avaliar as condições do maciço

de solo ou rocha, nesse caso, dos taludes. É de suma importância essa análise, pois a movimentação desses maciços pode ocasionar perdas humanas, econômicas e ambientais (Tavares, 2019). Ou seja, através dessa verificação, é possível analisar as formas de rompimento do solo e propor soluções para minimizar ou até mesmo deter a ocorrência de desastres.

Dessa forma, a proposta de contenção de taludes é necessária, pois é um serviço que busca estabilizar os problemas apresentados pela estrutura, garantindo sua segurança. Para tanto, existem diferentes métodos que são definidos a partir de um estudo de viabilidade técnica realizado por um projeto minucioso.

A pesquisa se faz necessária para o ramo da engenharia civil, pois os solos e seus mecanismos estão presentes nas estruturas terrosas sejam elas naturais ou artificiais, nas encostas, solos e barragens, portanto, é importante estudar essas estruturas, para evitar prejuízos a natureza e a própria sociedade, a fim de orientar sobre os riscos de uma estrutura sem reforço e manutenção. Contudo, é formidável avaliar e analisar a instabilidade de encostas, bem como buscar soluções para problemas causados por fortes e prolongadas chuvas, aplicando técnicas adequadas, tal como a proposta de estabilização de taludes.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de estabilidade e proposta de contenção de talude na região metropolitana de São Luís – MA, a fim de comparar os dois tipos de soluções de estabilização propostas pelo parâmetro de viabilidade técnica-econômica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, apresenta-se uma breve explanação sobre análise de estabilidade de taludes, expondo como ocorre a análise e os seus métodos, bem como, os métodos de estabilização de taludes, enfatizando as estruturas com contenção e sem contenção, muro gabião e solo grampeado.

2.1. Análise de estabilidade de taludes

Existe uma grande variedade de métodos de análise de estabilidade, cuja eficácia depende das hipóteses adotadas pelos autores para a solução do equilíbrio estático do talude. Assim, faz-se necessário entender os tipos de superfície de ruptura que podem acontecer em um maciço, ou seja, a massa de solo pode se romper seguindo diferentes formas: circular, planar, multiplanar, mista, não circular etc. Em geral, a previsão dos possíveis modos de ruptura está condicionada à presença de heterogeneidades ao longo do perfil do talude.

Assim, camadas com contrastes elevados de resistência ou a existência de descontinuidades, oriundas de fissuras, juntas preservadas da rocha-mãe, veios ou camadas de baixa resistência, camadas de preenchimento de juntas, acarretam mudanças bruscas na superfície de ruptura, tornando-a multiplanar ou mista (GERSCOVICH, 2016).

Ainda, de acordo com, Gerscovich (2016) apresenta os seguintes tipos de ruptura: os escorregamentos planares ou translacionais; os escorregamentos em formato de cunha; a ruptura do tipo circular; os escorregamentos rotacionais e as rupturas do tipo mista.

Assim, os escorregamentos planares ou também translacionais podem ser caracterizados pelos planos de fraqueza ou até mesmo pelas descontinuidades, desse modo, sendo comuns em mantos de colúvio de pequena espessura, subjacente a um embasamento rochoso. Já os escorregamentos em formato de cunha, esses, podem ser demarcados por um ou mais planos, isso acontece em decorrência dos planos de fraqueza se cruzarem ou quando camadas de menor resistência não são paralelas à superfície do talude (GERSCOVICH, 2016).

A ruptura do tipo circular, geralmente acontece em solos homogêneos, entretanto, nos casos onde a anisotropia com relação à resistência é significativa, assim, a superfície

pode apresentar uma aparência mais achatada, na direção vertical ou horizontal. Os chamados escorregamentos rotacionais são múltiplos quando mobilizam ao mesmo tempo mais de uma superfície de ruptura, sendo retrogressivos quando os mecanismos de ruptura evoluem no sentido da crista, logo a sequência do movimento acontece por descalçamentos, ou progressivos quando ocorrem no sentido contrário, portanto, sendo deflagrado pela ação da sobrecarga.

Logo, as rupturas do tipo mista são aquelas que acontecem dada a existência de uma heterogeneidade, delimitada pela presença de materiais ou descontinuidades com baixa resistência (GERSCOVICH, 2016).

As análises de estabilidade de taludes, em sua maioria, envolvem um conjunto de procedimentos visando a determinação de um índice ou de uma grandeza que permita quantificar o quão próximo da ruptura um determinado talude ou encosta se encontra quando submetido a um determinado conjunto de esforços.

Independente do mecanismo de ruptura, Gerscovich (2016) ressalta que em solos coesivos é comum uma formação de trincas de tração na superfície do terreno antes do escorregamento, nesse caso a superfície potencial de ruptura na região da trinca deixa de contribuir para a estabilidade global, além disso a trinca pode ser preenchida por água, e com isso gerar esforços adicionais.

Em sua maioria, as análises de estabilidade foram definidas segundo a abordagem do equilíbrio limite. O equilíbrio limite é uma ferramenta empregada pela teoria da plasticidade para análises do equilíbrio dos corpos, que de acordo com Marangon (2018) se admite como hipótese:

Existência de uma linha de escorregamento de forma conhecida: plana, circular, espiral-log ou mista, que delimita, acima dela, a porção instável do maciço. Esta massa de solo instável, sob a ação da gravidade, movimenta como um corpo rígido; Respeito a um critério de resistência, normalmente utiliza-se o de Mohr-Coulomb, ao longo da linha de escorregamento.

Existem alguns métodos consagrados para o cálculo da estabilidade a depender do tipo de ruptura que será analisada. O Quadro 1 apresenta alguns dos principais métodos de análise de estabilidade de talude mais comumente utilizados.

Método	Superfície	Considerações	Vantagens	Limitações	Aplicação
Bishop Simplificado (1955)	Circular	Considera o equilíbrio de forças e os momentos entre as fatias do solo. Resultante das forças verticais entre fatias é nula.	Métodos simples, com cálculos manuais ou em computador. Resultados conservativos.	Método interativo. Aplicação imprecisa para solos estratificados	Método muito usado na prática. O método simplificado é recomendado para projetos simples.
GLE/ Morgenstern-Price (1965)	Não circular	Satisfaz todas as condições de equilíbrio estático. Resolve o equilíbrio geral do sistema. É um método rigoroso.	Considerações mais precisas que no método de Jambu.	Não é um método simples. Exige cálculos de computador.	Para estudos ou análises detalhadas (retro análises).
Spencer (1967)	Não circular	Método rigoroso. Satisfaz todas as condições do equilíbrio estático.	Valores de FS mais realísticos	Complexidade dos cálculos	Para análises mais sofisticadas, com restrições geométricas da superfície de ruptura
Jambu (1972)	Não circular	Satisfaz o equilíbrio de forças e momentos em cada fatia, porém despreza as forças verticais entre as fatias de solo	Superfície de ruptura realísticas. Implementação simples em computadores.	Aplicado para solos homogêneos. Pode subestimar o fator de segurança. O método generalizado não tem essa limitação.	Grande utilização prática. Devem ser consideradas as limitações das rotinas de cálculo.

Quadro 1 – Principais métodos de análise de estabilidade de talude. (Fonte: Adaptado de Gerscovich, 2016)

2.2. Movimento de massa

É importante destacar o movimento de massa, se trata de todo o tipo de deslocamento em determinado volume de solo. Assim, são reconhecidos como os mais importantes processos geomórficos modeladores da superfície terrestre. Constituem-se no deslocamento de material, solo e rocha vertente abaixo sob a influência da gravidade, sendo desencadeados pela interferência direta de outros meios ou agentes independentes como água, gelo ou ar (BIGARELLA *et al.*, 2003).

Os processos de movimentos de massa são modeladores naturais das encostas, principalmente em regiões com elevada declividade. Porém, quando esses fenômenos

ocorrem em encostas ocupadas, causam impactos sociais e econômicos (PRIETO, 2018). Na maioria das vezes esses movimentos são classificados em quedas, tombamentos, escorregamentos e corridas de massa, conforme a Figura 1.

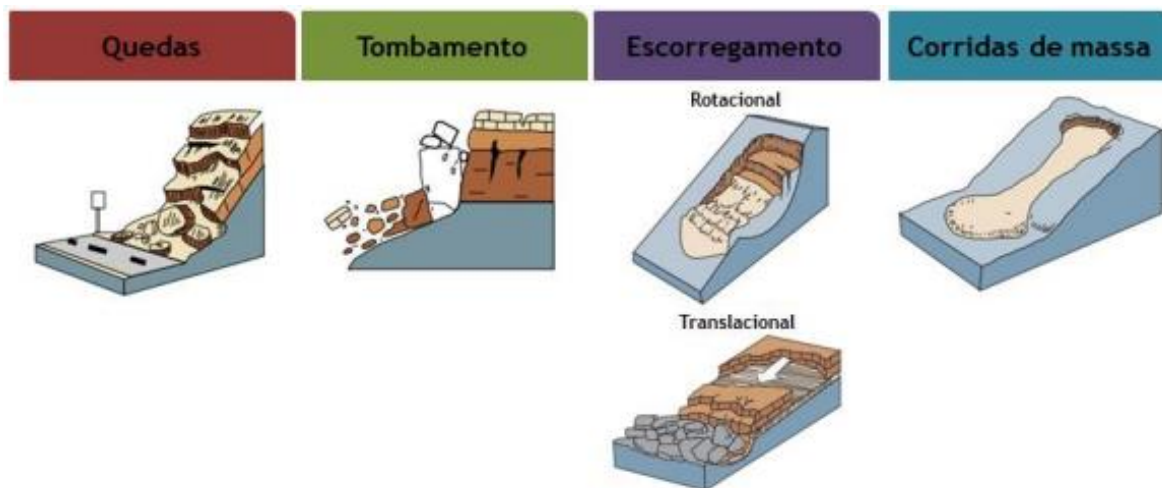


Figura 1 – Tipos de movimento de massa. (Fonte: Adaptado de Burns e Madin, 2009)

O Brasil é considerado muito suscetível aos movimentos de massa devido às condições climáticas marcadas por verões de chuvas intensas em regiões de grandes maciços montanhosos

2.3. Fator de Segurança

Partindo dessa premissa, é relevante discorrer sobre o fator de segurança (FS), aquele que se trata do valor numérico da relação estabelecida entre a resistência ao cisalhamento disponível do solo para garantir o equilíbrio do corpo deslizante e a tensão de cisalhamento mobilizada sob o efeito dos esforços atuantes (MARANGON, 2018).

O fator de segurança mínimo para as análises é escolhido de acordo com as recomendações da Norma Brasileira de Estabilidade de Encostas, NBR 11682/2009, em função dos níveis de segurança contra perda de vidas humanas e contra danos materiais e ambientais, critérios estabelecidos pelo projetista, conforme mostrado na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Nível de segurança desejado contra perda de vidas humanas.

Nível de Segurança	Critérios
--------------------	-----------

Alto	<p>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.</p> <p>Ferrovias e rodovias de tráfego intenso.</p>
Médio	<p>Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas.</p> <p>Ferrovias e rodovias de tráfego moderado.</p>
Baixo	<p>Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas.</p> <p>Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.</p>

Fonte: ABNT NBR 11682/2009.

Tabela 2 – Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.

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

Fonte: ABNT NBR 11682/2009.

De acordo com a norma NBR 11682/2009 para a estabilização das anomalias em questão, exigem os fatores de segurança mínimos para cada nível de segurança. Para as modelagens dos perfis geológico-geotécnicos, importantes para a análise de estabilidade,

devem ser analisados os respectivos níveis de segurança para se obter o fator de segurança (FS) para a estabilidade do talude, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Fatores de segurança para os níveis de segurança.

Fatores de Segurança Mínimos	Nível de segurança contra perda de vidas humanas		
Nível de segurança contra 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

Fonte: ABNT NBR 11682/2009.

É importante destacar que na análise do fator de segurança, valores maiores do 1 indicam marginalmente estável, FS menores que 1 indica a instabilidade do talude enquanto FS igual a 1 representa a condição limite para a estabilidade. No entanto, como ressalta Almeida (2016), a probabilidade de ocorrência de um deslizamento não é função linear do fator de segurança.

2.4. Métodos de estabilização de taludes

Para o projeto de estabilização, as alternativas incluem a utilização de soluções de estabilização, que uma vez implantadas no talude, oferecem resistência ao movimento deste ou à sua rotura. O princípio deste tipo de solução é o de reforçar uma parte do maciço de modo a que este resista aos esforços que levam à instabilização do mesmo (CARRASCO, 2014).

Assim, dentre os tipos de soluções para estabilização, podem ser utilizados a cortina atirantada, gabiões, solo grampeado, solo reforçado, retaludamento etc.

2.4.1. Cortina Atirantada

A cortina atirantada é uma estrutura de contenção que possui uma parede de concreto armado (em geral, vertical), além de tirantes, que são ancorados no terreno

numa profundidade em que ele seja estável, como mostra a Figura 2, sem possibilidade de ruptura ou movimentações indesejadas (GERSCOVICH *et al*, 2016).

Dessa forma, os tirantes são tracionados por macaco hidráulico, até uma carga de definida em projeto (carga de incorporação) e fixados na parede de concreto por meio de um sistema de placas e porcas. Essa carga nos tirantes ficará atuando contra a parede de concreto e será o carregamento responsável por se contrapor ao empuxo e garantir a estabilidade do solo arrimado (GERSCOVICH *et al*, 2016).

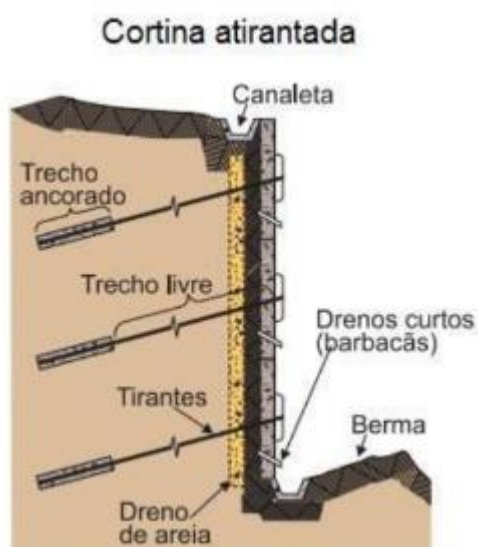


Figura 2 – Cortina atirantada. (Fonte: Mikos *et al.*, 2017)

2.4.2. Gabiões

Muros de gabiões são constituídos por elementos metálicos confeccionados com telas de malha hexagonal de dupla torção de arame galvanizado preenchidos por pedras. As pedras devem possuir granulometria adequada, ou seja, diâmetros que sejam no mínimo superiores à abertura da malha das gaiolas e os degraus do muro podem ser externos ou internos. Os gabiões são elementos modulares que podem ser costurados uns aos outros, podendo admitir formas prismáticas ou cilíndricas (Possato, 2021).

Esse tipo de muro de gravidade é muito utilizado em canais e cursos d'água, atuando na contenção das margens, como mostra a Figura 3.

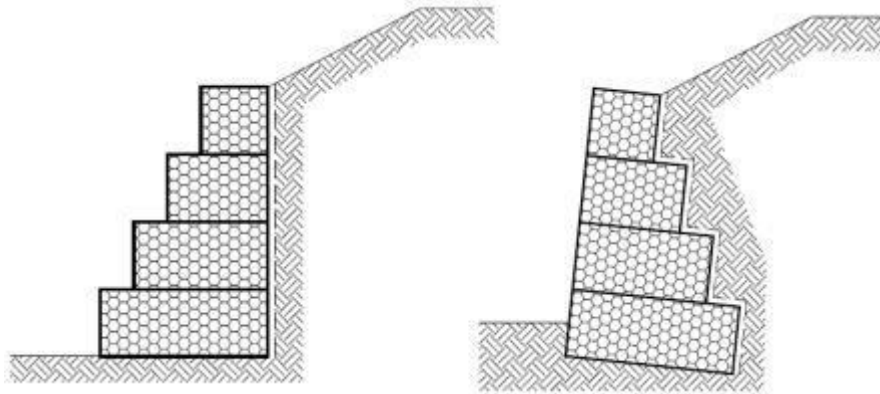


Figura 3 – Muro de Gabião. (Fonte: Finotti *et al.*, 2013)

De acordo com Finotti *et al.*, (2013) essas estruturas de contenção possuem características técnicas muito importantes que devem ser consideradas. Assim, podem-se considerar as contenções em gabião como estruturas:

- **Monolíticas:** A união de todos os blocos forma um único bloco homogêneo que tem características de resistência igual em qualquer ponto da estrutura. Se caracterizando, portanto, como uma estrutura monolítica;
- **Resistentes:** A malha do tipo hexagonal de dupla torção proporciona uma distribuição mais uniforme dos esforços, além de impedir o desfiamento da tela;
- **Flexíveis:** Os muros de gabião permitem a adaptação e acomodação da estrutura de acordo com os movimentos do terreno, sem perder sua estabilidade e eficiência;
- **Permeáveis:** Esta é uma das mais importantes características do gabião, pois ele é totalmente permeável, logo, autodrenante, o que permite um alívio por completo das pressões hidrostáticas sobre a estrutura;
- **Baixo impacto ambiental:** Devido a sua composição, principalmente em obras de proteção hidráulica, o gabião não interpõe obstáculo impermeável para as águas de infiltração e percolação, e interfere o mínimo possível na fauna e flora local;
- **Práticas e versáteis:** Os muros de gabiões podem ser construídos em qualquer condição ambiental, com ou sem equipamento mecânico até mesmo em locais de difícil acesso. Não é exigido mão de obra especializada para a construção deste tipo de contenção;

- Econômicas: Muros de gabiões são economicamente mais viáveis, por apresentarem custos diretos e indiretos mais baixos, quando comparados com outros tipos de soluções com as mesmas resistências estruturais.

2.4.3. Solo Grampeado

O solo grampeado, de forma semelhante à cortina atirantada, consiste no reforço do maciço pela introdução de chumbadores e posteriormente recobrimento do talude com tela metálica fixada por pinçadores, como mostra a Figura 4. A diferença do solo grampeado para a cortina atirantada é que nos tirantes é aplicada uma proteção, fazendo com que os tirantes atuem de forma ativa na contenção, já o solo grampeado não recebe uma proteção, sendo responsável por resistir apenas ao empuxo ativo do solo.

Dentre as vantagens, Almeida (2016) destaca o fato de não serem necessárias escavações, fôrmas, escoramentos ou andaimes na execução. No entanto, o autor também ressalta que devem ser tomados cuidados para garantir a fixação dos grampos em camada estável e evitar futuras obras que alterem a estrutura dos grampos.

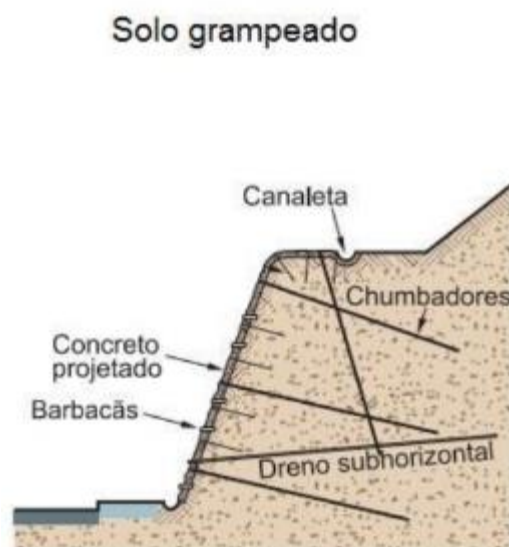


Figura 4 – Solo grampeado. (Fonte: Mikos *et al.*, 2017)

2.4.4. Solo Reforçado

O muro de solo reforçado se caracteriza pela implantação de reforços, que são materiais com elevada resistência à tração, no interior de um maciço do solo compactado (GERSCOVICH *et al.*, 2016). São estruturas feitas utilizando o solo associado à inclusão de componentes que irão resistir à tração, como mostra a Figura 5.

Podem ser atingidos grandes desníveis, de acordo com a qualidade e a resistência dos reforços empregados, cujo comprimento será estabelecido por análises de estabilidade interna e externa (EHRlich e BECKER, 2009).

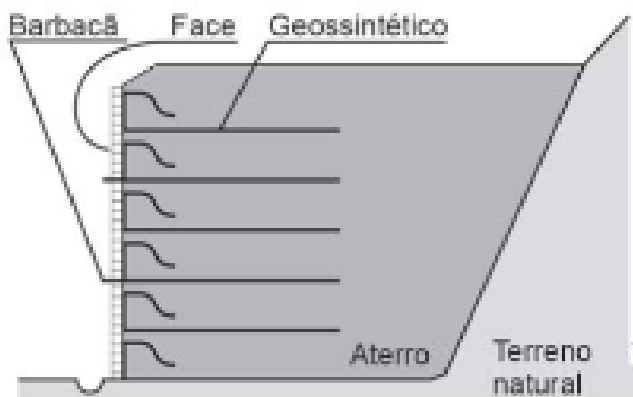


Figura 5 – Solo reforçado. (Fonte: Finotti *et al.*, 2013)

2.4.5. Retaludamento

Segundo com Massad (2010), os retaludamentos consistem em alterar a geometria do talude, quando houver espaço disponível, como mostra a Figura 6, fazendo-se um jogo de pesos, de forma a aliviá-los junto à crista e acrescentá-los junto ao pé do talude. Assim, uma escavação ou corte feito junto à crista do talude diminui uma parcela do momento atuante; analogamente, a execução de um contrapeso (berma) junto ao pé do talude tem efeito contrário, estabilizador.

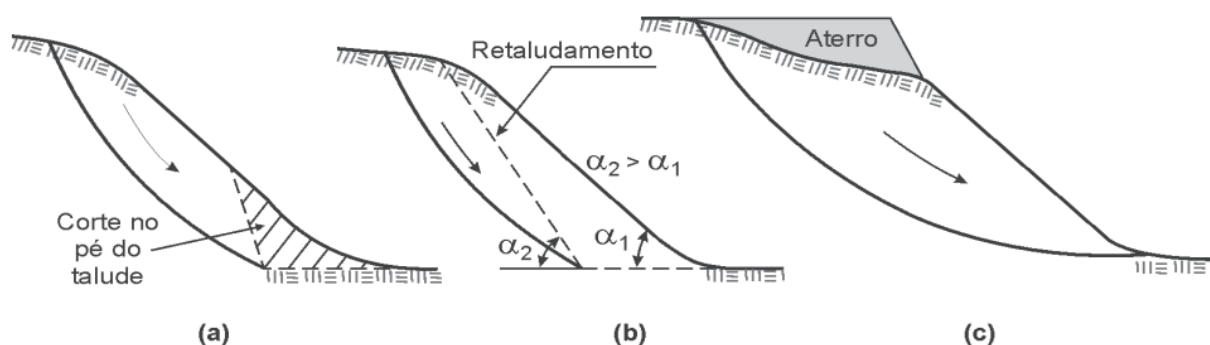


Figura 6 – Retaludamento. (Fonte: Massad, 2010)

2.5. Ensaios triaxiais convencionais

De acordo com Pinto (2006), a realização do ensaio de compressão triaxial se dá a partir da aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento vertical em uma amostra de formato cilíndrico, conforme ilustra a Figura 7. Para que isso ocorra, o corpo de prova é colocado em uma câmara triaxial e, em seguida, é envolvido em uma membrana impermeável. Após isso, a câmara é preenchida por água, onde se aplica uma tensão, que atua em todas as direções, denominada de tensão confinante. Esse ensaio é um dos métodos disponíveis mais confiáveis para determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo.

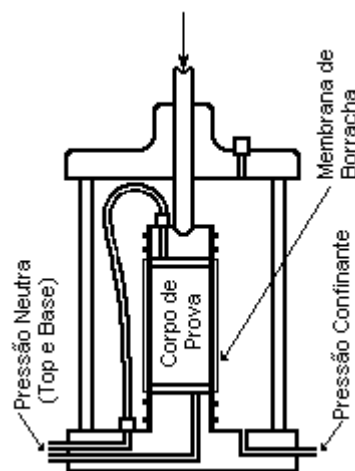


Figura 7 – Esquema do ensaio triaxial. (Fonte: UFBA, 2020)

Nesse ensaio o corpo de prova está sujeito a um aumento contínuo de carregamento axial até que ocorra ruptura. O corpo de prova é primeiramente sujeito a uma pressão confinante ao seu redor, que é mantida constante, enquanto o carregamento axial é aumentado (HEAD, 1982). A tensão axial pode ser aplicada em uma das seguintes formas:

- Com a aplicação de pesos ou pressão hidráulica em incrementos iguais até que o corpo da prova se rompa;
- Com a aplicação da carga axial a uma taxa constante através de uma prensa de carregamento mecânica ou hidráulica, denominado de ensaio de deformação controlada;
- A carga axial aplicada pela haste de carregamento que corresponde a uma dada deformação axial é medida por um anel dinamométrico ou célula de carga fixada à haste.

O princípio básico do ensaio consiste em fazer crescer a tensão desviadora ($\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$) até que ocorra a ruptura do corpo de prova, mantendo-se constante a pressão hidrostática (σ_3). A aplicação do acréscimo de tensão axial ($\sigma_1 - \sigma_3$) se faz a uma velocidade de deformação constante. Ao final do ensaio traça-se a curva tensão desviadora versus deformação específica, onde se pode identificar um valor máximo de σ_d . Esse valor somado a σ_3 fornece a tensão principal σ_1 aplicada ao corpo de prova no momento da ruptura (Aguiar, 2010).

Durante o ensaio, pode-se drenar a água da amostra por meio de pedras porosas colocadas no topo e na base do corpo de prova. Segundo Das (2007), são três os tipos de ensaios triaxiais realizados:

- Ensaio consolidado drenado (ensaio CD): é realizado permitindo a drenagem de água nas fases de adensamento e de cisalhamento;
- Ensaio consolidado não drenado (ensaio CU): permite drenagem de água apenas na fase de adensamento, desta forma, não ocorre variação de volume do corpo de prova durante o carregamento axial.
- Ensaio não consolidado não drenado (ensaio UU): a drenagem não é permitida nas fases de adensamento e cisalhamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, será apresentada a metodologia utilizada para a feitura da presente pesquisa, detalhando os materiais e métodos. A Figura 8 apresenta um fluxograma, detalhando todas as etapas desenvolvidas neste trabalho.

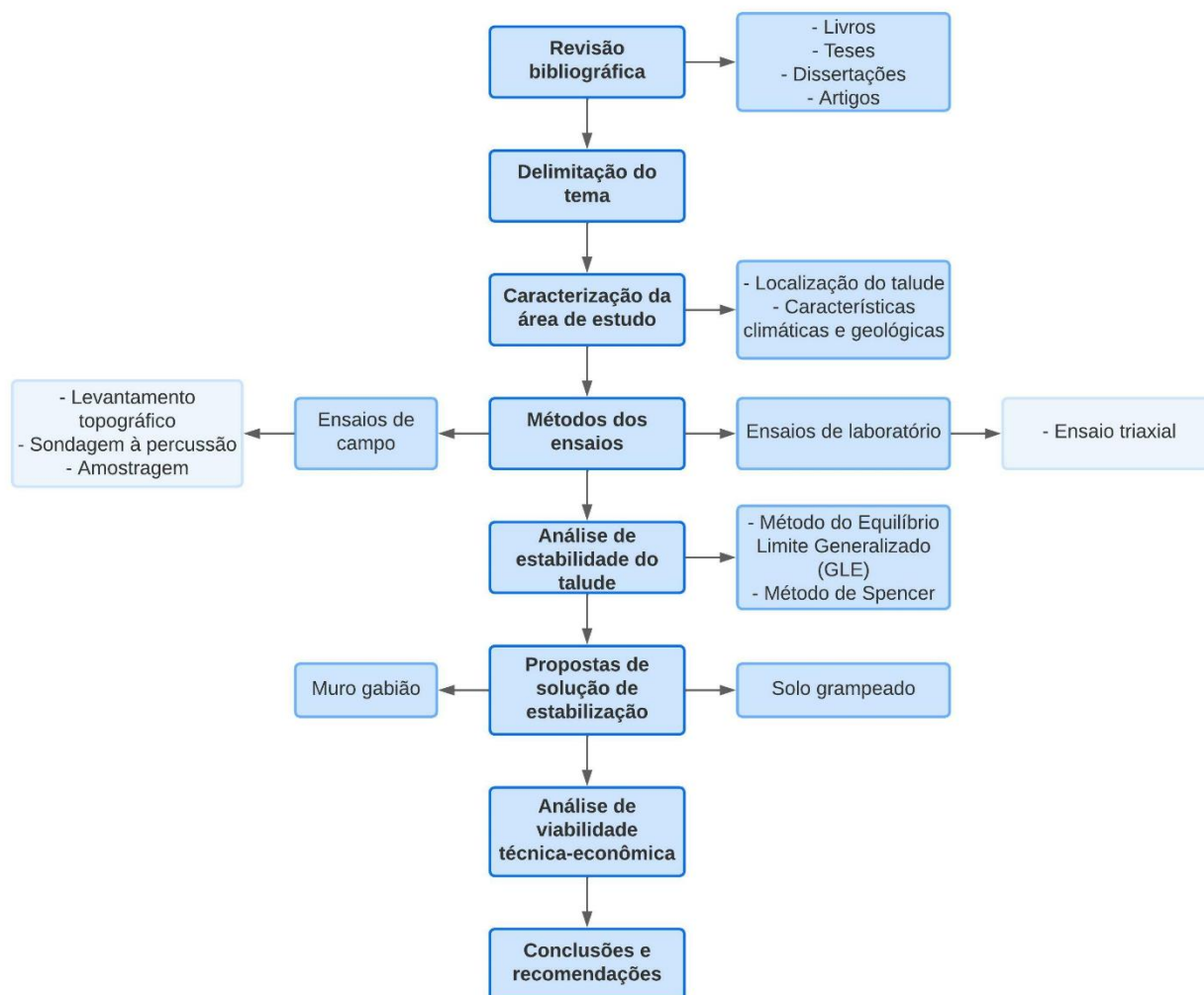


Figura 8 – Fluxograma metodológico. (Fonte: Elaboração própria, 2022)

3.1. Delimitação do tema

O delineamento desta pesquisa consiste na análise de estabilidade e proposta de contenção de taludes na região metropolitana de São Luís-MA. A análise utiliza-se de um vasto referencial teórico publicado por diferentes autores, bem como, da utilização de programas computacionais, através de métodos que facilitam o estudo da área definida.

Trata-se de uma Pesquisa Exploratória, vez que de acordo com os ensinamentos de Gil (2007), o estudo exploratório, por ser um tipo de pesquisa bastante específica, na maioria das vezes assume a forma de um estudo de caso e como qualquer pesquisa, ela depende também de uma pesquisa bibliográfica, que consistiu em levantamento e consultas de trabalhos científicos, tais como artigos, dissertações e livros.

3.2. Caracterização da área de estudo

Os arquivos que constam a topografia da área de estudo na região metropolitana de São Luís, Figura 9, foram adquiridos em base de dados da empresa Terra Sol Engenharia Geotécnica Ltda.

A área de estudo foi determinada a partir dos dados fornecidos pela empresa supracitada, vez que os dados colhidos por eles eram suficientes para a realização do referido trabalho dada a temática abordada neste artigo.



Figura 9 – Localização da área de estudo, São Luís-MA. (Fonte: Google Earth, 2022)

A geologia aflorante da Ilha de São Luís está representada por sedimentos Cretáceos, Terciários e Quaternários que compõem a Bacia Costeira de São Luís (EIA, 2001). A Bacia Sedimentar de São Luís situa-se na área cratônica de São Luís, sendo formada por um Graben alongado de 15.000 km, tendo como embasamento rochas cristalinas arqueanas constituídas por gnaisses tonalíticos de textura granoblástica grosseira. Os sedimentos Cretáceos são representados pelas Formações Itapecuru e Alcântara. As formações Pirabas e São Luís do Grupo Barreiras representam o período Terciário e, por fim, os sedimentos aluvionares e correlatos representam o Quaternário ou Recente.

A ilha de São Luís está encravada numa reentrância continental, onde se forma o chamado Golfão Maranhense (desembocadura dos rios Mearim, Pindaré, Itapecuru e Munin) e é banhada pelas baías de São Marcos a oeste, do Arraial e São José, a Planície

flúvio-marinha com Manguezal. A unidade ocupa uma superfície extensa e plana com lagoas fluviais, várzeas inundáveis, áreas colmatadas e um sistema hidrográfico divagante e labiríntico. Uma característica marcante é a presença de manguezais nas embocaduras e nas Ilhas (EIA, 2001).

A temperatura média da região é de 26,6°C, a mínima de 24,3°C e a máxima de 31,3°C. Por outro lado, a temperatura absoluta pode atingir até 40°C. Essa temperatura elevada caracteriza a região como extremamente quente e não permite a formação de inversões térmicas de baixa altitude sobre o Estado. As temperaturas são uniformemente distribuídas durante o ano todo e, somente na estação das chuvas, reduzem-se às médias e máximas em função da maior nebulosidade e diminuição da radiação solar direta (Araújo, 2001)

Ainda, de acordo com Araújo *et al* (2001)., no que se refere à pluviosidade, a média anual de pluviosidade é de 1.896 mm. Na região de estudo no primeiro período, que cobre os meses de janeiro a julho, o excedente hídrico gera escoamento superficial com valor acumulado em torno de 1.000 mm, respectivamente. O período seco tem início em agosto e se prolonga até o final do ano sendo caracterizado por deficiência hídrica, que se torna mais intensa no mês de dezembro (84 mm).

Dessa forma, conclui-se que, apesar do elevado total anual de pluviosidade (em torno de 2.156mm), ocorre má distribuição anual das chuvas, com intensa seca ao longo de quase metade do ano. A Figura 10 e a Figura 11 mostram a distribuição anual das precipitações e as temperaturas na região estudada.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novem- bro	Dezem- bro
Temperatura média (°C)	26.6	26	25.9	25.9	26.4	26.5	26.6	27.4	27.7	27.8	27.9	27.5
Temperatura mínima (°C)	24.9	24.4	24.3	24.3	24.7	24.7	24.8	25.4	25.6	25.8	25.9	25.6
Temperatura máxima (°C)	29.1	28.3	28.2	28.3	28.8	29.1	29.3	30.7	31.3	31.3	31.1	30.4
Chuva (mm)	226	307	440	418	293	164	118	36	18	20	32	84
Umidade(%)	81%	85%	86%	87%	85%	82%	80%	74%	71%	72%	72%	76%
Dias chuvosos (d)	19	19	22	21	20	18	16	8	3	3	6	14
Horas de sol (h)	8.6	8.0	7.7	7.5	8.1	8.6	8.7	8.9	8.5	8.4	8.6	9.0

Figura 10 – Dados climáticos de São Luís-MA. (Fonte: Climate-data.org)

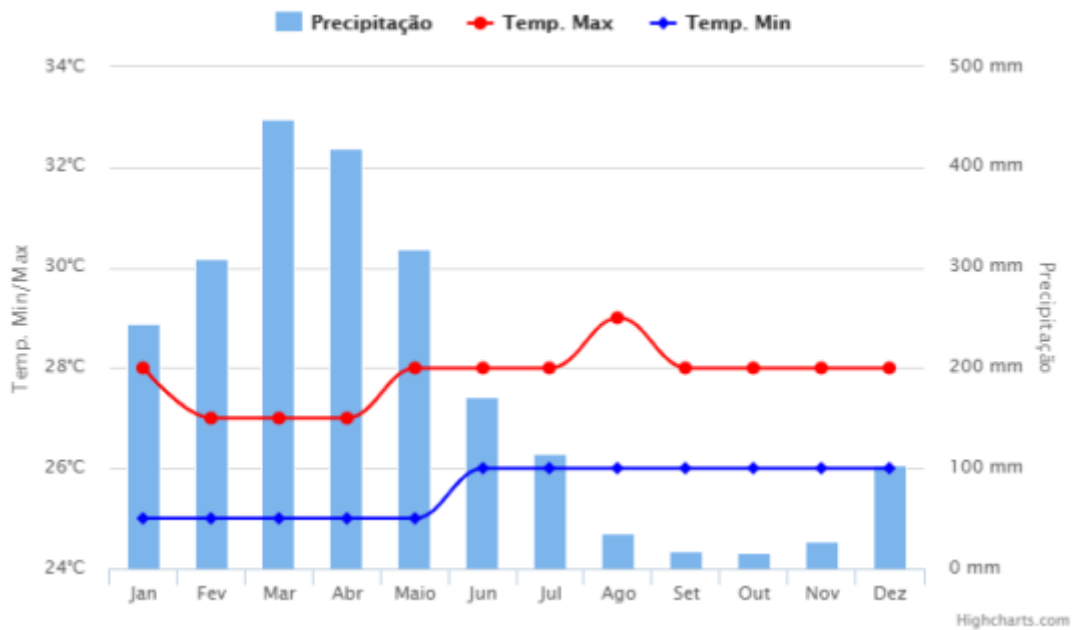


Figura 11 – Distribuição das precipitações e temperaturas médias na região estudada, município de São Luís-MA. (Fonte: Climate-data.org)

3.3. Métodos dos ensaios

Para obter os aspectos topográficos e geotécnicos, foram definidos perfis longitudinais e transversais da área de estudo, com base nas curvas de níveis. Tais processos foram realizados com auxílio dos softwares Civil 3D e AutoCad, ambos da Autodesk.

Após essa etapa, foram definidas as camadas do solo, no software Slide V.6 da Rocscience, por meio dos boletins das sondagens Standard Penetration Test (SPT) realizadas *in loco*. Em seguida, com dados de ensaios de Compressão Triaxial da amostra indeformada coletada no local do estudo, foi possível definir o ângulo de atrito e a coesão das camadas.

3.4. Análise de estabilidade da área estudada

A análise foi realizada usando o *software* Slide V.6 da Rocscience, que tem como base dos cálculos de estabilidade de taludes a Teoria do Equilíbrio Limite para determinação dos Fatores de Segurança (FS).

Método de Spencer tem equilíbrio dos momentos e equilíbrio das forças horizontais como as equações determinantes para o FS, adotando a relação constante entre forças normais e cisalhantes, com seus valores igualados por meio de processo iterativo. As

equações são satisfeitas quando os FS se tornam iguais através da relação cisalhamento-normal. Então, pode-se dizer que este método tem um rigor maior em comparação com outros métodos.

Método do Equilíbrio Limite Generalizado (GLE), assim como no Método de Spencer, tem como base dois FS, sendo eles equilíbrio dos momentos e das forças, com o ponto de interseção entre as duas condições de equilíbrio sendo o FS do Método GLE.

O procedimento de análise de estabilidade foi realizado através dos Métodos de Spencer e GLE, tendo sido adotados por serem mais rigorosos, por satisfazerem todas as condições de equilíbrio estático, por terem fatores de segurança mais realistas e considerações mais precisas, por serem análises mais detalhadas e sofisticadas, além de serem os métodos mais utilizados para realização de análises.

A área de estudo tem uma grande importância devido à sua localização, pois há um grande tráfego de veículos e pessoas, e por isso requer níveis de segurança alto contra danos materiais e ambientais bem como à perda de vidas humanas, então, de acordo com a norma NBR 11682/2009, resultando em um fator de segurança mínimo de 1,5, como mostrou a tabela 3. Portanto, as análises realizadas que tiverem um fator de segurança menor que 1,5, serão consideradas instáveis.

3.5. Proposta de solução de estabilização

Seguindo os requisitos da NBR 11.682/2009, é possível propor duas soluções que são capazes de resolver o risco instalado na encosta. Vale salientar que, a literatura, em sua grande maioria, apresenta soluções de estabilização compostas por combinações de obras, sendo elas, obras de proteção superficial do maciço e drenagem.

Caso a análise de estabilidade, realizada anteriormente apresente um Fator de Segurança (FS) inferior a 1.5 deve ser proposta soluções.

3.6. Análise de viabilidade técnica-econômica

Ao se escolher qual contenção usar na estabilização do talude, não se leva em consideração apenas o modelo de contenção, mas também outros aspectos, que são de suma importância para o projeto final. Analisa-se, portanto, qual tipo de contenção é mais viável financeiramente para a obra em questão e qual possui uma maior viabilidade técnica, ou seja, que vai garantir a estabilidade do maciço de forma que sua execução seja economicamente viável. Em resumo, a escolha vai depender do melhor retorno

técnico-financeiro, ou seja, que vai proporcionar uma boa obra, bem executada e funcionando corretamente, e que tenha um menor custo financeiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção será desenvolvida as discussões e os resultados do presente estudo, a partir da análise de estabilidade da área estudada e da análise de viabilidade técnica-econômica, bem como das propostas de solução de estabilização.

Inicialmente, definiu-se as camadas do solo da região estudada por meio de boletins de sondagens realizados *in loco*, o qual informa os tipos de camadas que foram penetradas pelos testes realizados. As sondagens realizadas foram do tipo sondagem a trado, amostra indeformada e Standard Penetration Test (SPT), também conhecida como sondagem à percussão. A partir das sondagens SPT e à trado, além de poder definir o perfil do solo, foi possível determinar também o nível da água no solo, como mostra as Figura 23, Figura 24 e Figura 25.

Com os resultados do ensaio triaxial realizado na amostra indeformada pela Empresa Terra Sol Engenharia Geotécnica Ltda, foi possível determinar os parâmetros apenas da primeira camada de solo devido a profundidade que a amostra foi coletada. Para as demais camadas adotou-se o método de correlação da tabela Parâmetros médios dos solos de Joppert (2007), como mostra a Figura 22. A Tabela 4 contém as definições das camadas e seus respectivos parâmetros:

Tabela 4 – Parâmetros das camadas.

Camada	Peso Específico Seco (kN/m ³)	Peso Específico Saturado (kN/m ³)	Coesão (kN/m ²)	Ângulo de Atrito (°)
Aterro de argila silto-arenosa, Nspt 2-4	18	19	22.41	29.65
Argila siltosa pouco arenosa, Nspt 5-7	19	19	15	21
Argila silto-arenosa, Nspt 12-43	19	19	27	23
Argila silto-arenosa, Nspt > 43	20	20	30	23
Camada impenetrável	20	-	35	35

Fonte: Elaboração Própria, 2022.

Com os resultados da Tabela 4, foi possível inserir as camadas de solo e seus respectivos parâmetros no software Slide para realização da análise inicial sem nenhum tipo de solução presente e obter os fatores de segurança pelos Métodos Spencer e GLE.

Pelo método Spencer, o fator de segurança obtido na análise inicial foi 1.383, como mostra a Figura 12. Já para o método GLE, o fator de segurança obtido inicialmente foi 1.371, como mostra a Figura 13. Portanto, como ambos os fatores encontrados ficaram abaixo do fator de segurança mínimo requerido, que é de 1.5, considerou-se que o talude estudado era instável, e então, foi possível propor duas soluções distintas, sendo elas, solo grampeado e muro gabião, respectivamente.

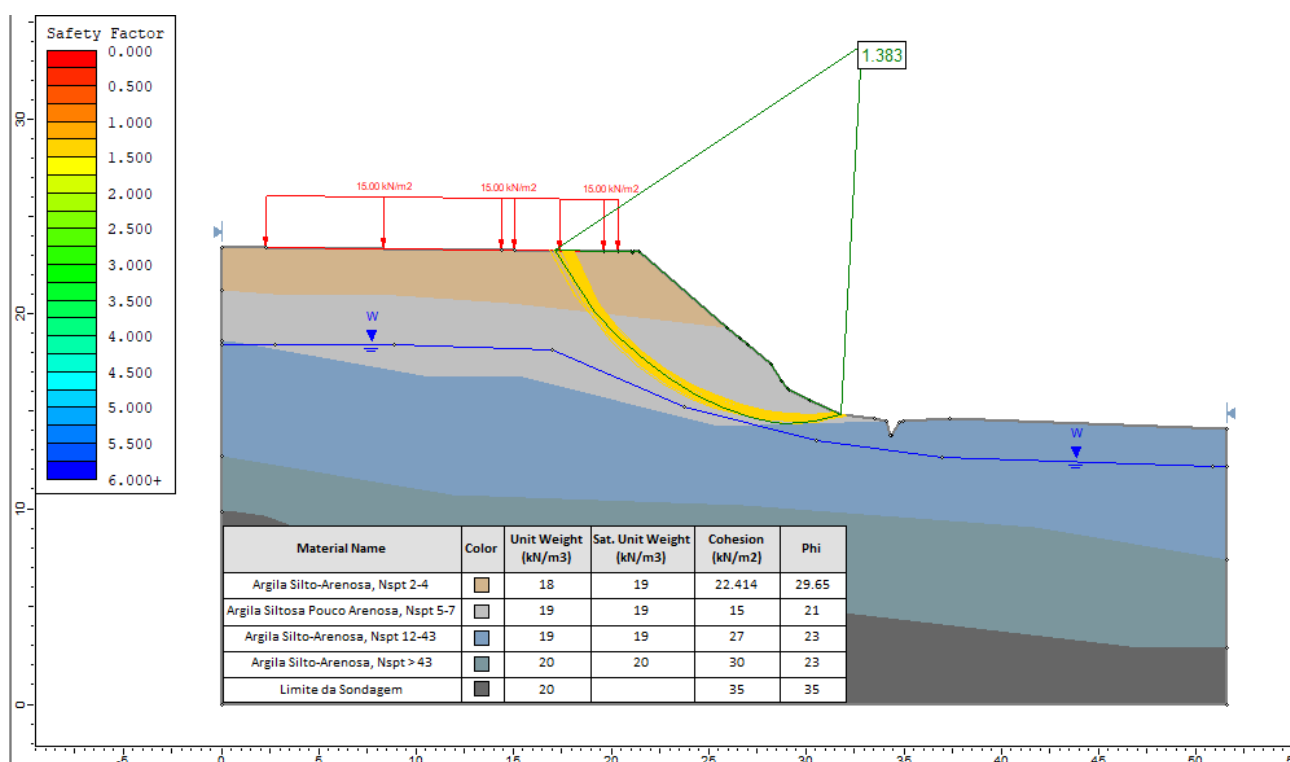


Figura 12 – Análise de estabilidade inicial pelo Método Spencer. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

Considerando as duas propostas de solução, solo grampeado e muro gabião, foi possível analisar que ambas conseguiram ter fatores de segurança, tanto para o método Spencer como para o método GLE, maiores do que o mínimo requerido, que era de 1.5. O solo grampeado, por sua vez, obteve um fator de segurança para o método GLE melhor do que o muro gabião, porém, no método Spencer, o gabião que obteve um melhor fator de segurança.

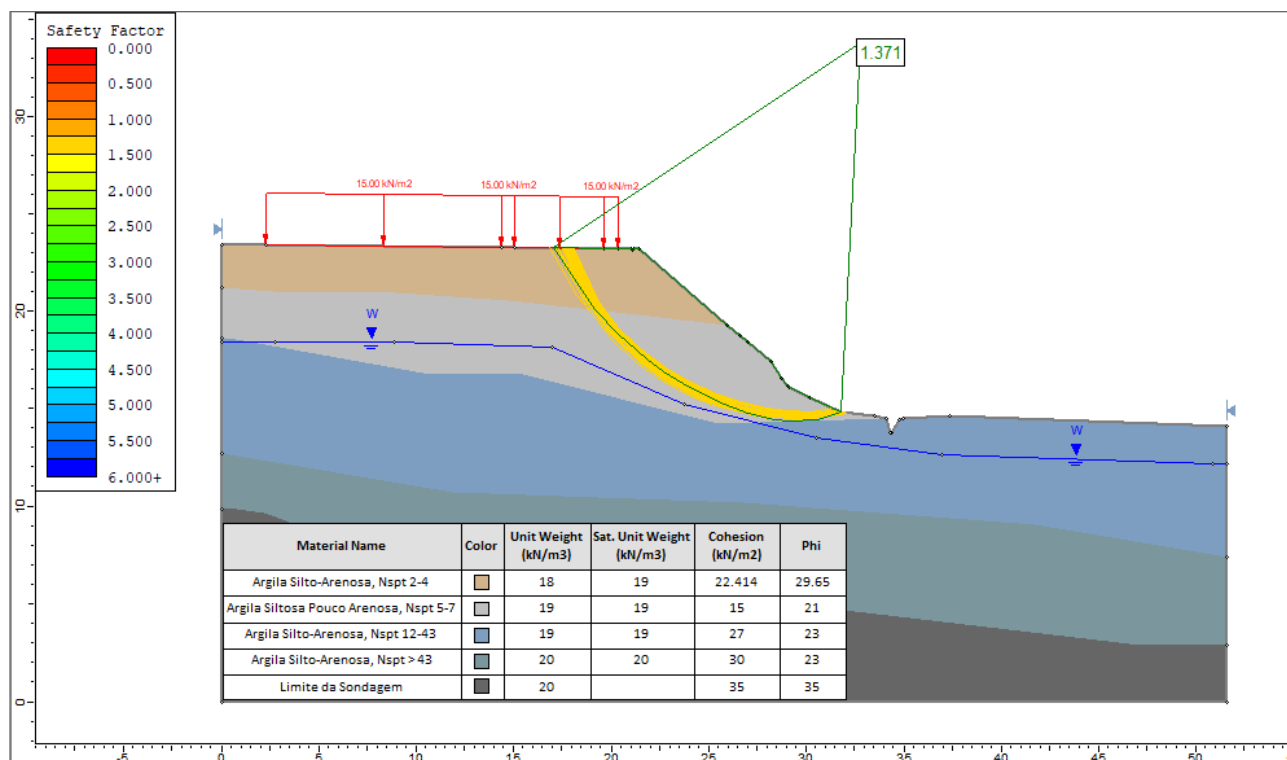


Figura 13 – Análise de estabilidade inicial pelo Método GLE. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

Partindo da premissa de talude instável, foram realizadas análises com os mesmos parâmetros da análise inicial, porém, com a introdução das soluções propostas, visando obter fatores de segurança maiores do que os encontrados inicialmente. As análises também foram realizadas através dos métodos Spencer e GLE.

Após a inserção das soluções propostas, obteve-se para o solo grampeado pelo método Spencer um fator de segurança igual 1.551, como mostra a Figura 14. Para o método GLE, o fator de segurança obtido foi 1.619, como mostra a Figura 15.

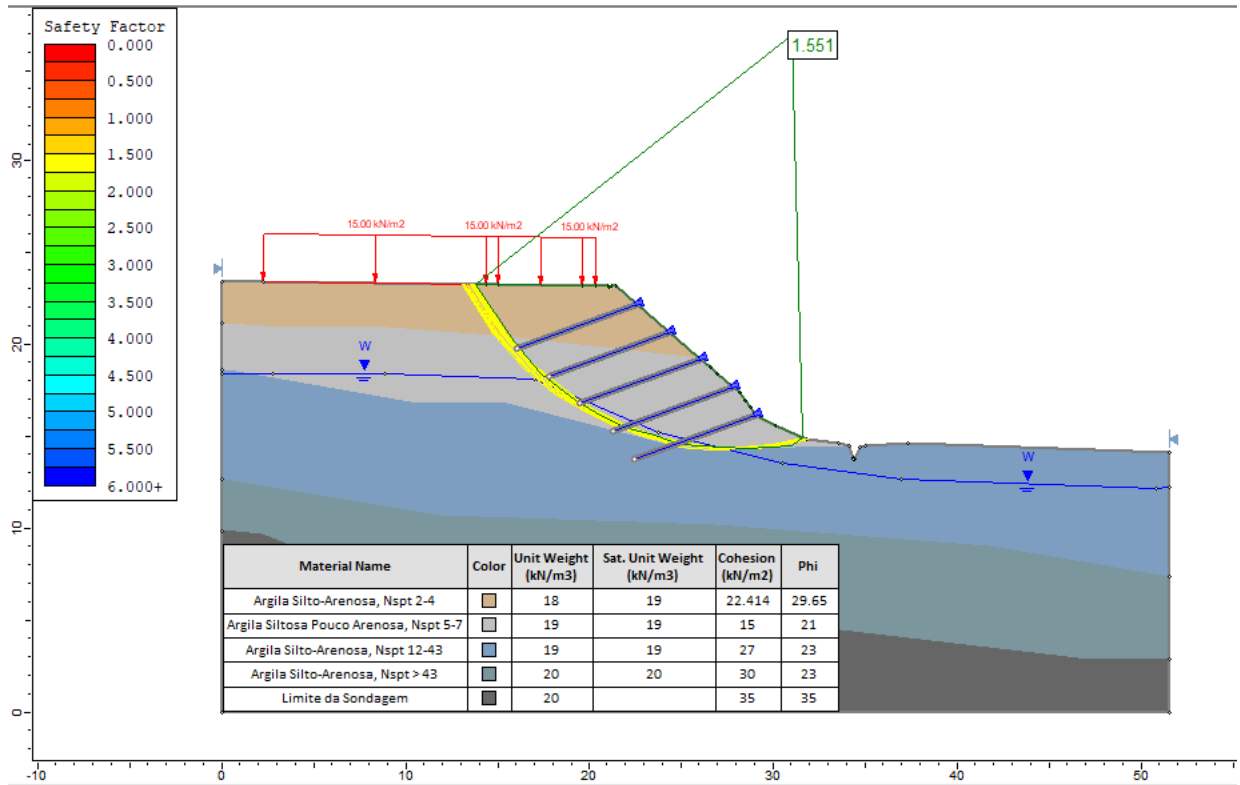


Figura 14 – Análise de estabilidade do solo grampeado pelo Método Spencer. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

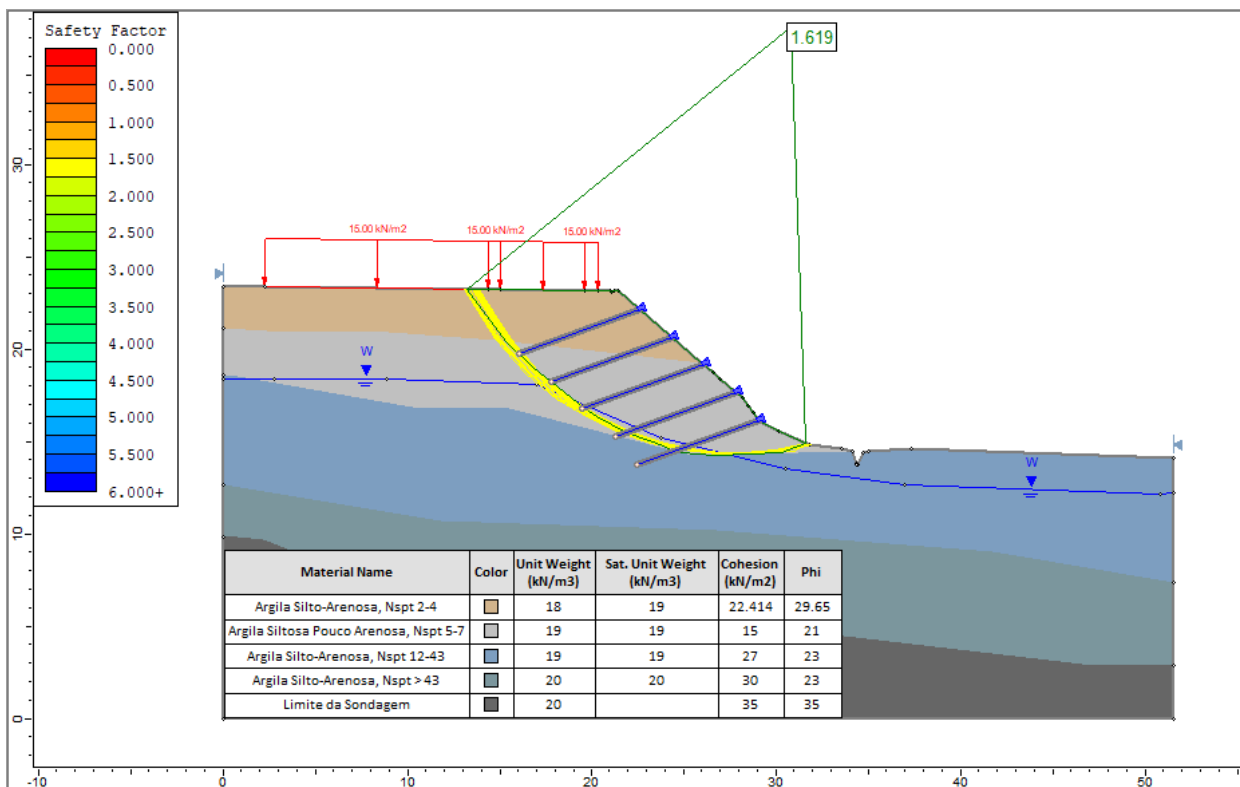


Figura 15 – Análise de estabilidade do solo grampeado pelo Método GLE. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

Continuando, as análises das soluções propostas, para o muro gabião, pelo método Spencer, fator de segurança obtido foi 1.578, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Para o método GLE, o fator de segurança obtido foi 1.556, como mostra a Figura 17.

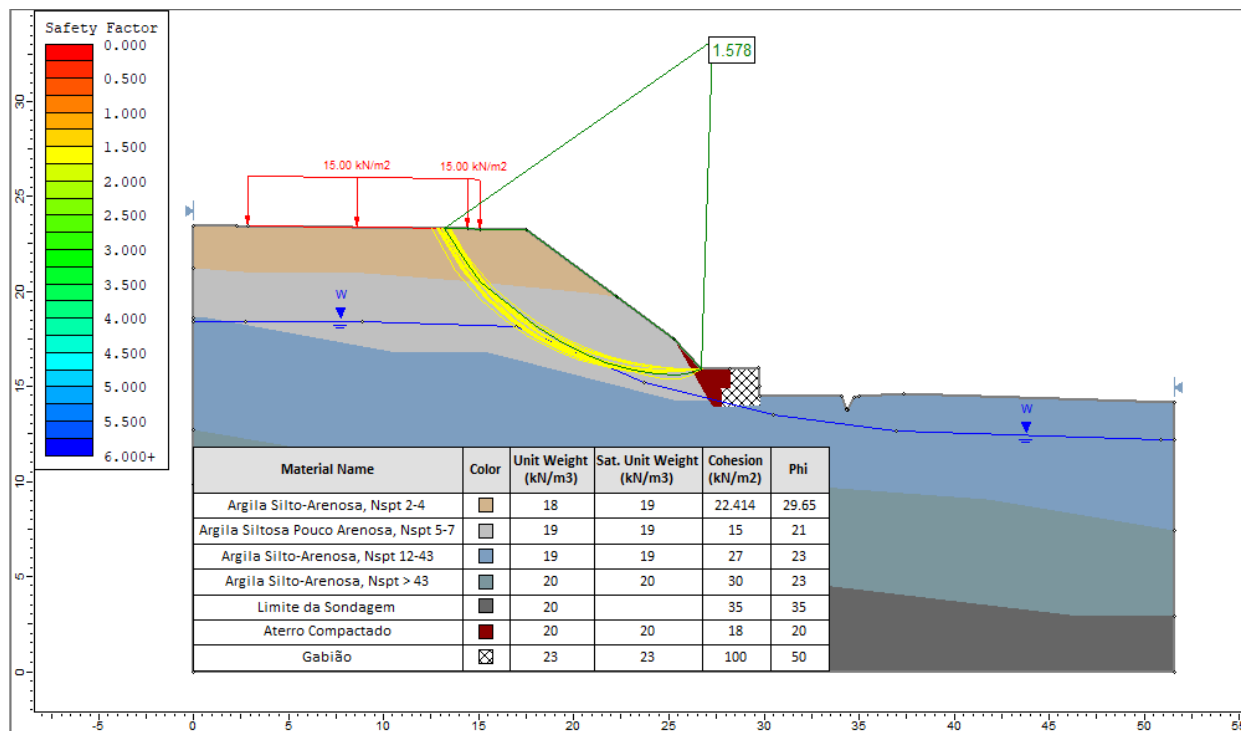


Figura 16 – Análise de estabilidade do muro de gabião pelo Método Spencer. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

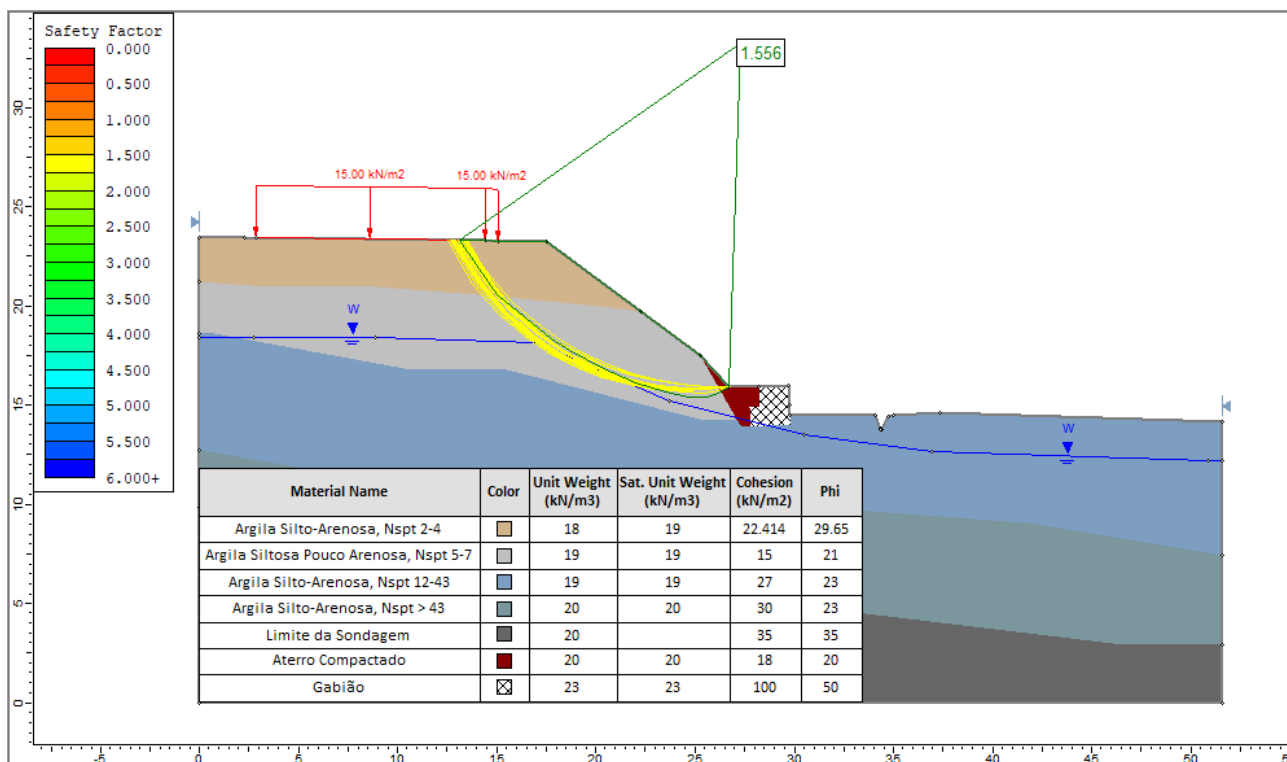


Figura 17 – Análise de estabilidade do muro de gabião pelo Método GLE. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

Além das análises de estabilidade, também foi realizada uma análise orçamentária, visando estimar o valor de cada solução que foi proposta nesse estudo, podendo, assim, comparar qual possui tem uma melhor viabilidade econômica. O banco de dados utilizado para obtenção dos preços dos insumos e das composições foi o SINAPI do Maranhão, datado de outubro de 2022.

No orçamento para ambas as soluções foram adotados os valores da tabela desoneradas sem considerar Benefícios de Despesas Indiretas (BDI). Portanto, para a solução do tipo solo grampeado, o valor total foi R\$440.696,28, como mostra a Figura 18 e a Figura 19. Para a solução do tipo muro gabião, o valor total foi R\$606.477,27, como mostra a Figura 20 e a Figura 21.

Considerando as duas propostas de solução, solo grampeado e muro gabião, foi possível analisar que ambas conseguiram ter fatores de segurança, tanto para o método Spencer como para o método GLE, maiores do que o mínimo requerido, que era de 1.5. O solo grampeado, por sua vez, obteve um fator de segurança para o método GLE melhor do que o muro gabião, porém, no método Spencer, o gabião que obteve um melhor fator de segurança.

Estudo de viabilidade técnica-econômica de estabilização de talude na cidade de São Luís-MA

Lucas Medeiros Aguiar

ITEM	FONTE DE PESQUISA		DESCRIÇÃO	UNID.	QTD	CUSTO UNITÁRIO S/ BDI (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
	CÓDIGO	BASE DE DADOS					
1.0	SERVIÇOS PRELIMINARES						R\$ 65.378,59
1.1	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS						R\$ 32.395,02
1.1.1	COM007	COMPOSIÇÃO	PLACA DE OBRA (PARA CONSTRUÇÃO CIVIL) EM CHAPA GALVANIZADA *N. 22*, ADESIVADA	M2	5,00	R\$ 557,73	R\$ 2.788,65
1.1.2	10775	SINAPI INSUMOS OUTUBRO DE 2022	LOCAÇÃO DE CONTAINER 2,30 X 6,00 M, ALT. 2,50 M, COM 1 SANITÁRIO, PARA ESCRITÓRIO, COMPLETO, SEM DIVISÓRIAS INTERNAS (NÃO INCLUI MOBILIZAÇÃO/DESMOBILIZAÇÃO)	MES	6,00	R\$ 860,00	R\$ 5.160,00
1.1.3	10776	SINAPI INSUMOS OUTUBRO DE 2022	LOCAÇÃO DE CONTAINER 2,30 X 6,00 M, ALT. 2,50 M, PARA ESCRITÓRIO, SEM DIVISÓRIAS INTERNAS E SEM SANITÁRIO (NÃO INCLUI MOBILIZAÇÃO/DESMOBILIZAÇÃO)	MES	6,00	R\$ 671,87	R\$ 4.031,22
1.1.4	COM009	COMPOSIÇÃO	ISOLAMENTO DE OBRA COM TELA PLÁSTICA COM MALHA DE 5MM E ESTRUTURA DE MADEIRA PONTALETADA	M2	240,00	R\$ 20,78	R\$ 4.987,20
1.1.5	COM008	COMPOSIÇÃO	SINALIZAÇÃO DE VIAS COM CONE DE PVC H=0,75M, PORTA PESO E BALDE PLÁSTICO (INCLUSIVE ILUMINAÇÃO)	M	200,00	R\$ 18,60	R\$ 3.720,00
1.1.6	COT001	COTAÇÃO	LOCAÇÃO DE BANHEIRO QUÍMICO COM DUAS LIMPEZAS SEMANAIS, INCLUSIVE MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO	UNDXMES	12,00	R\$ 800,00	R\$ 9.600,00
1.1.7	COT005	COTAÇÃO	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE CONTAINERS	UN	2,00	R\$ 700,00	R\$ 1.400,00
1.1.8	COM034	COMPOSIÇÃO	LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ÁGUA E ESGOTO PARA CONTAINER (ESCRITÓRIO DE OBRA)	UN	1,00	R\$ 235,43	R\$ 235,43
1.1.9	COM035	COMPOSIÇÃO	LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CONTAINER (ESCRITÓRIO DE OBRA)	UN	2,00	R\$ 236,26	R\$ 472,52

Figura 18 – Orçamento do solo grampeado. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

Estudo de viabilidade técnica-econômica de estabilização de talude na cidade de São Luís-MA

Lucas Medeiros Aguiar

1.2		SERVIÇOS PRELIMINARES						R\$	32.983,57
1.2.1	COM001	COMPOSIÇÃO	LIMPEZA MANUAL DE TERRENO COM VEGETAÇÃO RASTEIRA, INCLUINDO ROÇAGEM E QUEIMA.	M2	675,00	R\$	3,61	R\$	2.436,75
1.2.2	100982	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE ENTULHO EM CAMINHÃO BASCULANTE E 10 M ³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 0,80 M ³ / 111 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M3	126,56	R\$	8,16	R\$	1.032,72
1.2.3	COM004	COMPOSIÇÃO	TRANSPORTE E COM CARRO DE MAO DE AREIA, ENTULHO OU TERRA ATÉ 100 M	M3	126,56	R\$	54,98	R\$	6.958,26
1.2.4	COT003	COTAÇÃO	PAGAMENTO DE DESCARREGO DE MATERIAL CLASSE II-B EM ATERRO CONVENIADO (ENTULHO)	T	141,75	R\$	25,00	R\$	3.543,75
1.2.5	COM003	COMPOSIÇÃO	DESTOCAMENTO DE ÁRVORES DE MÉDIO PORTE, PEQUENO PORTE E RAÍZES PROFUNDAS, SEM AUXÍLIO MECÂNICO.	UN	48,00	R\$	179,42	R\$	8.612,16
1.2.6	95875	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M ³ , EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	4.581,47	R\$	2,27	R\$	10.399,93
2.0		OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE EM SOLO						R\$	274.367,06
2.1	93959	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	EXECUÇÃO DE GRAMPO PARA SOLO GRAMPEADO COM COMPRIMENTO MAIOR QUE 6 M E MENOR OU IGUAL A 8 M, DIÂMETRO DE 10 CM, PERFURAÇÃO COM EQUIPAMENTO MANUAL E ARMADURA COM DIÂMETRO DE 20 MM. AF_05/2016	M	1.365,00	R\$	197,86	R\$	270.078,90
2.2	COM012	COMPOSIÇÃO	FORNECIMENTO E EXECUÇÃO DE GRAMPO DE SACRIFÍCIO (GW PLUS Ø 22,0MM C <= 8m)	M	12,00	R\$	211,67	R\$	2.540,04
2.3	COT007	COTAÇÃO	ENSAIO DE ARRANCAMENTO INCLUSO MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO	UN	2,00	R\$	874,06	R\$	1.748,12
2.4	98504	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	PLANTIO DE GRAMA BATATAIS EM PLACAS. AF_05/2018	M2	984,48	R\$	15,66	R\$	15.416,95
3.0		PLANEJAMENTO, ACOMPANHAMENTO E CONTROLE DA OBRA						R\$	100.950,63
3.1	ADM001	COMPOSIÇÃO	ADMINISTRAÇÃO LOCAL (RUA MONTE PASCOAL - JARDIM MONTE VERDE)	UN	1,00	R\$	100.950,63	R\$	100.950,63
PREÇO TOTAL R\$							R\$	440.696,28	

Figura 19 – Orçamento do solo grampeado. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

Estudo de viabilidade técnica-econômica de estabilização de talude na cidade de São Luís-MA

Lucas Medeiros Aguiar

ITEM	FONTE DE PESQUISA		DESCRIÇÃO	UNID.	QTD	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
	CÓDIGO	BASE DE DADOS					
1.0	SERVIÇOS PRELIMINARES						R\$ 72.557,89
1.1	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS						R\$ 39.574,32
1.1.1	COM007	COMPOSIÇÃO	PLACA DE OBRA (PARA CONSTRUÇÃO CIVIL) EM CHAPA GALVANIZADA *N. 22*, ADESIVADA	M2	5,00	R\$ 557,73	R\$ 2.788,65
1.1.2	10775	SINAPI INSUMOS OUTUBRO DE 2022	LOCAÇÃO DE CONTAINER 2,30 X 6,00 M, ALT. 2,50 M, COM 1 SANITÁRIO, PARA ESCRITÓRIO, COMPLETO, SEM DIVISÓRIAS INTERNAS (NÃO INCLUI MOBILIZAÇÃO/DESMOBILIZAÇÃO)	MES	6,00	R\$ 860,00	R\$ 5.160,00
1.1.3	10776	SINAPI INSUMOS OUTUBRO DE 2022	LOCAÇÃO DE CONTAINER 2,30 X 6,00 M, ALT. 2,50 M, PARA ESCRITÓRIO, SEM DIVISÓRIAS INTERNAS E SEM SANITÁRIO (NÃO INCLUI MOBILIZAÇÃO/DESMOBILIZAÇÃO)	MES	6,00	R\$ 671,87	R\$ 4.031,22
1.1.4	COM009	COMPOSIÇÃO	ISOLAMENTO DE OBRA COM TELA PLÁSTICA COM MALHA DE 5MM E ESTRUTURA DE MADEIRA PONTALETADA	M2	675,00	R\$ 20,78	R\$ 14.026,50
1.1.5	COM008	COMPOSIÇÃO	SINALIZAÇÃO DE VIAS COM CONE DE PVC H=0,75M, PORTA PESO E BALDE PLÁSTICO (INCLUSIVE ILUMINAÇÃO)	M	100,00	R\$ 18,60	R\$ 1.860,00
1.1.6	COT001	COTAÇÃO	LOCAÇÃO DE BANHEIRO QUÍMICO COM DUAS LIMPEZAS SEMANAIS, INCLUSIVE MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO	UNDXMES	12,00	R\$ 800,00	R\$ 9.600,00
1.1.7	COT005	COTAÇÃO	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE CONTAINERS	UN	2,00	R\$ 700,00	R\$ 1.400,00
1.1.8	COM034	COMPOSIÇÃO	LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ÁGUA E ESGOTO PARA CONTAINER (ESCRITÓRIO DE OBRA)	UN	1,00	R\$ 235,43	R\$ 235,43
1.1.9	COM035	COMPOSIÇÃO	LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CONTAINER (ESCRITÓRIO DE OBRA)	UN	2,00	R\$ 236,26	R\$ 472,52
1.2	SERVIÇOS PRELIMINARES						R\$ 32.983,57
1.2.1	COM001	COMPOSIÇÃO	LIMPEZA MANUAL DE TERRENO COM VEGETAÇÃO RASTEIRA, INCLUINDO ROÇAGEM E QUEIMA	M2	675,00	R\$ 3,61	R\$ 2.436,75
1.2.2	100982	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE ENTULHO EM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 0,80 M³ / 111 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M3	126,56	R\$ 8,16	R\$ 1.032,72
1.2.3	COM004	COMPOSIÇÃO	TRANSPORTE COM CARRO DE MÃO DE AREIA, ENTULHO OU TERRA ATÉ 100 M	M3	126,56	R\$ 54,98	R\$ 6.958,26
1.2.4	COT003	COTAÇÃO	PAGAMENTO DE DESCARREGO DE MATERIAL CLASSE II-B EM ATERRO CONVENIADO (ENTULHO)	T	141,75	R\$ 25,00	R\$ 3.543,75
1.2.5	COM003	COMPOSIÇÃO	DESTOCAMENTO DE ÁRVORES DE MÉDIO PORTE, PEQUENO PORTE E RAÍZES PROFUNDAS, SEM AUXÍLIO MECÂNICO.	UN	48,00	R\$ 179,42	R\$ 8.612,16
1.2.6	95875	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	4.581,47	R\$ 2,27	R\$ 10.399,93

Figura 20 – Orçamento do gabião. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

Estudo de viabilidade técnica-econômica de estabilização de talude na cidade de São Luís-MA

Lucas Medeiros Aguiar

2.0	OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE EM SOLO						R\$	432.968,75
2.1	COM036	COMPOSIÇÃO	ESCAVAÇÃO MANUAL DE SOLO	M3	1.978,70	R\$	28,94	R\$ 57.263,57
2.2	100978	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 10 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 1,20 M³ / 155 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M3	2.473,37	R\$	6,29	R\$ 15.557,49
2.3	COT002	COTAÇÃO	PAGAMENTO DE DESCARREGO DE MATERIAL CLASSE II-B EM ATERRO CONVENIADO (SOLO)	T	3.165,92	R\$	20,00	R\$ 63.318,40
2.4	92746	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	MURO DE GABIÃO, ENCHIMENTO COM PEDRADE MÃO TIPO RACHÃO, DE GRAVIDADE, 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	280,00	R\$	586,47	R\$ 164.211,60
2.5	94319	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	ATERRO MANUAL DE VALAS COM SOLO ARGILÓ-ARENOSO E COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF_05/2016	M3	240,80	R\$	91,43	R\$ 22.016,34
2.6	98504	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	PLANTIO DE GRAMA BATATAIS EM PLACAS. AF_05/2018	M2	858,15	R\$	15,66	R\$ 13.438,62
2.7	102713	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 14 KNM (RT - 14), INSTALADO EM DRENO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_07/2021	M2	200,00	R\$	11,25	R\$ 2.250,00
2.8	96620	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM PISOS, LAJES SOBRE SOLO OU RADIEIS. AF_08/2017	M3	15,82	R\$	511,34	R\$ 8.089,39
2.9	100324	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	LASTRO COM MATERIAL GRANULAR (PEDRABRITADA N.1 E PEDRABRITADA N.2), APLICADO EM PISOS OU LAJES SOBRE SOLO, ESPESSURA DE *10 CM*. AF_07/2019	M3	15,82	R\$	108,81	R\$ 1.721,37
2.10	COT006	COTAÇÃO	LOCAÇÃO DE ANDAIME MULTIDIRECIONAL	M2 x MÉS	626,40	R\$	30,00	R\$ 18.792,00
2.11	97065	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE ANDAIME MULTIDIRECIONAL (EXCLUSIVE ANDAIME E LIMPEZA). AF_11/2017	M3	14.714,13	R\$	4,47	R\$ 65.772,16
2.12	100952	SINAPI SERVIÇOS OUTUBRO DE 2022	TRANSPORTE COM CAMINHÃO CARROCERIA COM GUINDAUTO (MUNCK), MOMENTO MÁXIMO DE CARGA 11,7 TM, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30KM (UNIDADE: TXKM). AF_07/2020	TXKM	202,95	R\$	2,65	R\$ 537,81
3.0	PLANEJAMENTO, ACOMPANHAMENTO E CONTROLE DA OBRA						R\$	100.950,63
3.1	ADM001	COMPOSIÇÃO	ADMINISTRAÇÃO LOCAL (RUA MONTE PASCOAL - JARDIM MONTE VERDE)	UN	1,00	R\$	100.950,63	R\$ 100.950,63
PREÇO TOTAL R\$							R\$	606.477,27

Figura 21 – Orçamento do gabião. (Fonte: Elaboração Própria, 2022)

Com relação aos valores dos orçamentos, o solo grampeado obteve um valor menor do que o muro gabião, ou seja, o solo grampeado foi considerado mais viável economicamente, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos fatores de segurança e orçamentos das soluções.

Solução	FS (Spencer)	FS (GLE)	Valor final
Solo grampeado	1.551	1.619	R\$ 440.696,28
Muro gabião	1.578	1.556	R\$ 606.477,27

Fonte: Elaboração própria, 2022.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o estudo de viabilidade técnica-econômica de estabilização de talude na cidade de São Luís-MA, apresentou um fator de segurança inferior a 1,5 com base na norma NBR 11682/2009, logo, para fins de estudo comparativos propuseram-se duas soluções.

As soluções apresentadas para estabilizar a encosta foram o solo grampeado e o muro gabião. Após a realização das análises, os fatores de segurança encontrados variaram de 1.551 a 1.619, constatando a estabilidade do talude estudado. Logo, as soluções foram orçadas, e constatou-se que o solo grampeado como solução mais viável, tanto tecnicamente quanto economicamente.

Então, fazendo a comparação de viabilidade técnica-econômica, foi possível verificar que o solo grampeado é mais viável economicamente e obteve o fator de segurança para o método GLE maior do que o muro gabião. Portanto, conclui-se que o solo grampeado, é mais viável técnica e economicamente para essa pesquisa.

Como sugestões para futuras pesquisas, pode-se elencar o dimensionamento das estruturas de contenção em solo grampeado e muro gabião com todas as camadas do solo tendo parâmetros ensaiados, bem como propor outros tipos de soluções de estabilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 11682 - Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.

AGUIAR, L. A. (2010). **Contribuições para a Análise do Comportamento Mecânico de Solos Compactados para uso em Barragens**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 127p.

ALMEIDA, Allison Duarte Cardozo de. **Propostas para estabilização de talude na rodovia BR-230, km 19. 2016**. 102 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

AMORIM, S.; BUSCH, A. **A tragédia da região serrana do Rio de Janeiro em 2011: procurando respostas**. ENAP; Casoteca de Gestão Pública. 2011. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/328/2/A%20trag%C3%A9dia%20da%20regi%C3%A3o%20serrana%20do%20Rio%20de%20Janeiro%20em%202011%20procurando%20respostas.pdf>. Acesso em: 10 de dez. 2022.

ARAÚJO, E. P.; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal (RN), Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 4631-4638.

BURNS, W. J.; MADIN, I. P. **Protocol for Inventory Mapping of Landslide Deposits from Light Detection and Ranging (lidar) Imagery**. Disponível em: https://www.oregongeology.org/pubs/dds/slido/sp-42_onscreen.pdf. Acesso em: 01 nov. 2022.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Vol.3, Cap.8, Editora da UFSC. Florianópolis, 2003, p.1026-1098.

CARRASCO, Filipe Miguel Véstia. **Reabilitação de taludes de aterro em encostas – análise de um caso numa ferrovia em Odemira**. Mestrado em Geotecnia – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova Lisboa, Portugal, 2014.

CARVALHO, P. A. S. de. **Manual de geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo: Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1991. 388 p. (Publicação IPT; n.1843).

DAS, B.S. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução da 6. ed. americana. São Paulo: Thomson Learning, 2007, 562p.

EHRlich, M.; BECKER, L. **Muros e taludes de solo reforçado**. 1ª ed. Editora Oficina de Textos. São Paulo, 2009.

FINOTTI, G. B. S. *et al.* **Estruturas de contenção em gabiões para estabilidade de encostas em processos erosivos**. 130 f. Universidade Federal de Goiás, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4º. ed. São Paulo. Atlas, 2007.

GERSCOVICH, Denise M. S. **Estabilidade de taludes**. 2º. ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2016, 192p.

HEAD, K.H. **Manual of soil laboratory testing**. London: Pentech Press, 1982. Vol. 2, 412p.

JOPPET. J.I. **Fundações e contenções em edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São paulo: PINI, 2007.

MARANGON, Marcio. **Mecânica dos Solos: Unidade 03 – Estabilidade de Taludes**. **Universidade Federal de Juiz de Fora**. Faculdade de Engenharia – Departamento de Transportes e Geotecnia. 2018. Disponível em <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/OT-03-Estabilidade-de-Taludes-2018-1.pdf>. Acesso em 22 nov. 2022

MARTINS, Alceu da Câmara. **Fatores climáticos e sistemas meteorológicos que atuam sobre o Brasil - uma revisão bibliográfica**. 2022. 42f.: il. Monografia (Bacharelado em Meteorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas. Natal, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46691/1/FatoresClimaticosSistemasMeteorologicos_Martins_2022.pdf. Acesso em: 11 nov. 2022.

MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 170p.

MIKOS, A. P. *et al.* **Manifestações Patológicas decorrentes em solo grampeado e cortina atirantada**. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317151041_Manifestacoes_Patologicas_decorrentes_em_Solo_Grampeado_e_Cortina_Atirantada. Acesso em: 10 dez. 2022.

OLIVEIRA, D. A. F.; MÉLO, T. C. **Considerações de projetos de estabilização de encostas em áreas de ocupação espontânea: uma visão conjunta de engenharia e social**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4., 2005, Salvador. Anais... Salvador: Escola Politécnica [da] Universidade Federal da Bahia, 2005.

POSSATO. Ana Paula Luz. Dimensionamento de contenção do tipo gabião em região de solo residual na cidade de Biguaçu/SC.96 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Florianópolis - Curso de Engenharia Civil, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2348/TCC%20-%20Ana%20Paula%20Possato%20-%20Vers%C3%A3o%20Biblioteca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. acesso em 11 de nov. 2022.

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

PRIETO, C. C. **Previsão de deslizamentos em encostas por meio de modelagem numérica: estudo de caso na bacia piracuama, município de Campos do Jordão, SP**. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

TAVARES, Gustavo dos Santos. **Análise de estabilidade de taludes da Voçoroca do Parque Cesamar**. 52 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/2161/1/Gustavo%20dos%20Santos%20Tavares%20-%20TCC%20Monografia%20-%20Engenharia%20Civil.pdf>. Acesso em 10 nov. 2022.

UFBA (2020). **Ensaio de laboratório: triaxial**. Disponível em: <http://www.geotecnia.ufba.br/?vai=Extens%E3o/Ensaio%20de%20Laborat%F3rio/Triaxial>. Acesso em 01 dez. 2022.

ANEXOS

Tipo de Solo	Faixa de SPT	Modulo de elasticidade (t/m ²)	Peso Especifico		Angulo de atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (t/m ²)
			Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco silteosa/pouco argilosa	0 - 4	2000 - 5000	1,7	1,8	25°	-
	5 - 8	4000 - 8000	1,8	1,9	30°	-
	9 - 18	5000 - 10000	1,9	2,0	32°	-
	19 - 41	8000 - 15000	2,0	2,1	35°	-
	≥ 41	16000 - 20000	2,0	2,1	38°	-
Areia média e fina muito argilosa	0 - 4	2000	1,7	1,8	25°	0
	5 - 8	4000	1,8	1,9	28°	0,5
	9 - 18	5000	1,9	2,0	30°	0,75
	19 - 41	10000	2,0	2,1	32°	1,0
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
Argila silteosa pouco arenosa (terciário)	0 - 2	100	1,7	1,8	20°	0,75
	3 - 5	100 - 250	1,8	1,9	23°	1,5
	6 - 10	250 - 500	1,9	1,9	24°	2,0
	11 - 19	500 - 1000	1,9	1,9	24°	3,0
	20 - 30	3000 - 10000	2,0	2,0	25°	4,0
	≥ 30	10000 - 15000	2,0	2,0	25°	5,0
Argila arenosa pouco silteosa	0 - 2	500	1,5	1,7	15°	1,0
	3 - 5	500 - 1500	1,7	1,8	15°	2,0
	6 - 10	1500 - 2000	1,8	1,9	18°	3,5
	11 - 19	2000 - 3500	1,9	1,9	20°	5,0
	≥ 20	3500 - 5000	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa / argila orgânica	0 - 1	40 - 100	1,1	1,1	15°	0,5
	2 - 5	100 - 150	1,2	1,2	15°	1,0
Silte arenoso pouco argiloso (residual)	5 - 8	8000	1,8	1,9	25°	1,5
	9 - 18	1000	1,9	2,0	26°	2,0
	19 - 41	15000	2,0	2,0	27°	3,0
	≥ 41	20000	2,1	2,1	28°	5,0

Figura 22 – Parâmetros médios dos solos. (Fonte: Joppert, 2007)

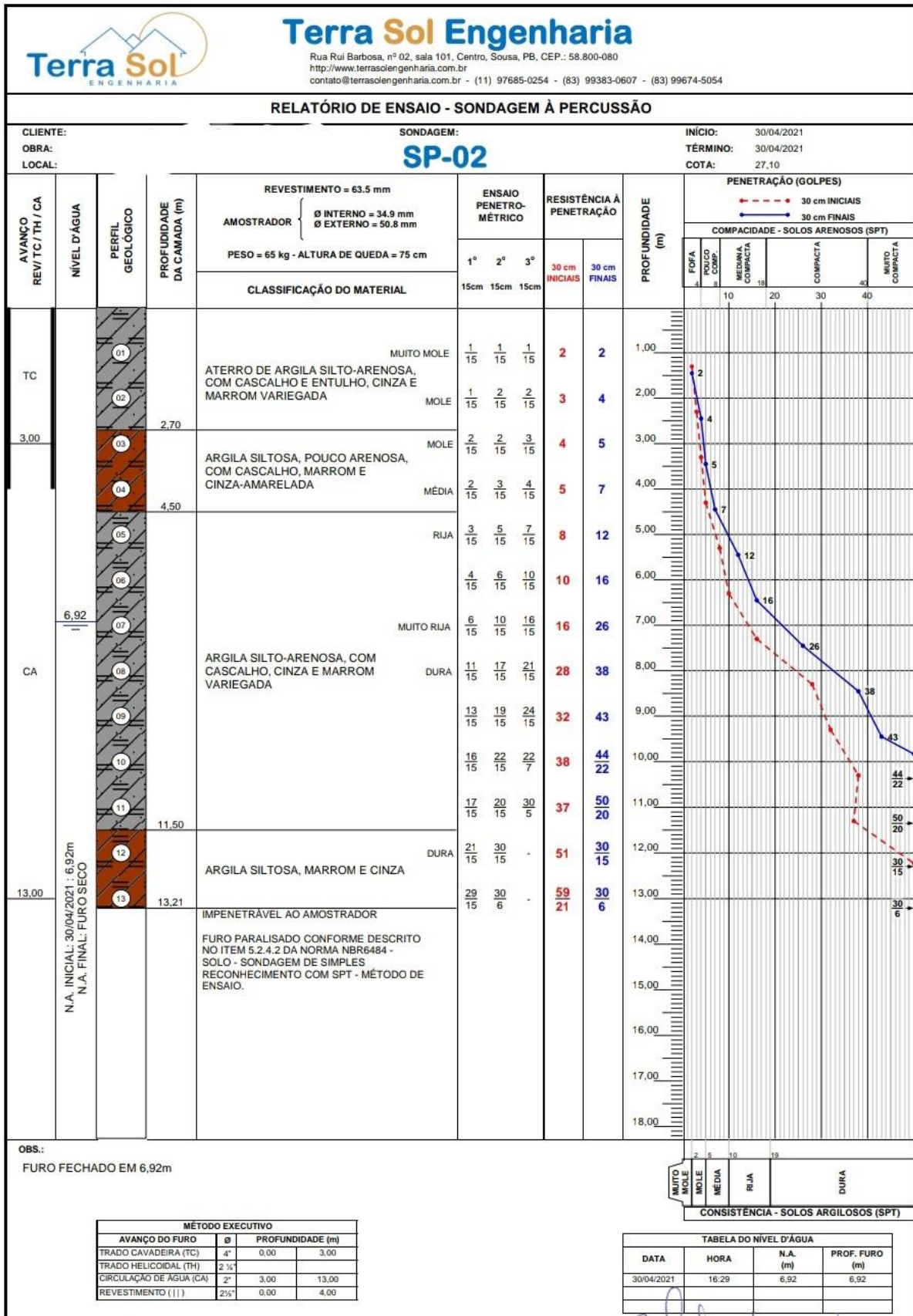


Figura 23 – Boletim de sondagem à percussão. (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica, 2021)

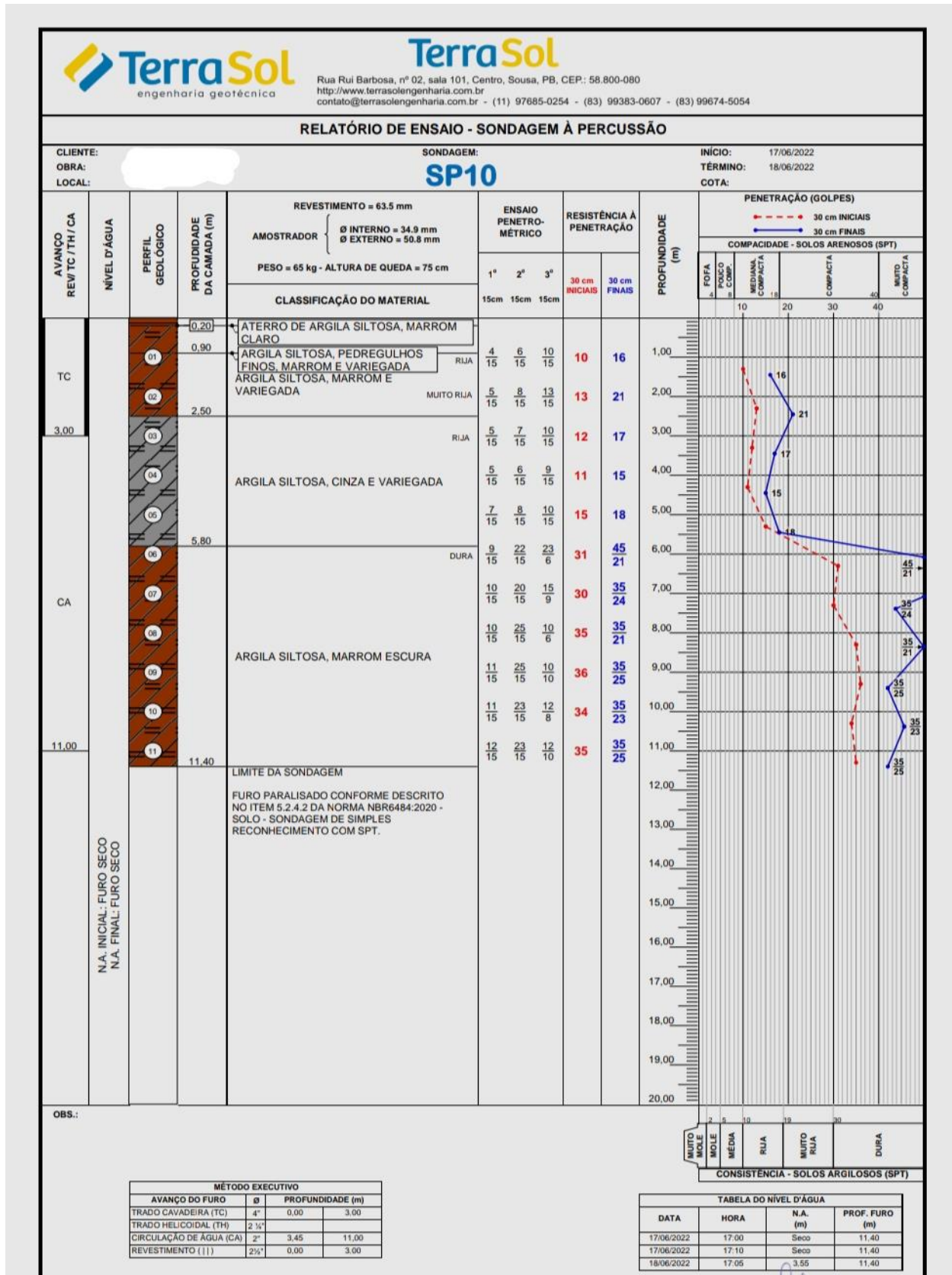


Figura 24 – Boletim de sondagem à percussão. (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica, 2022)

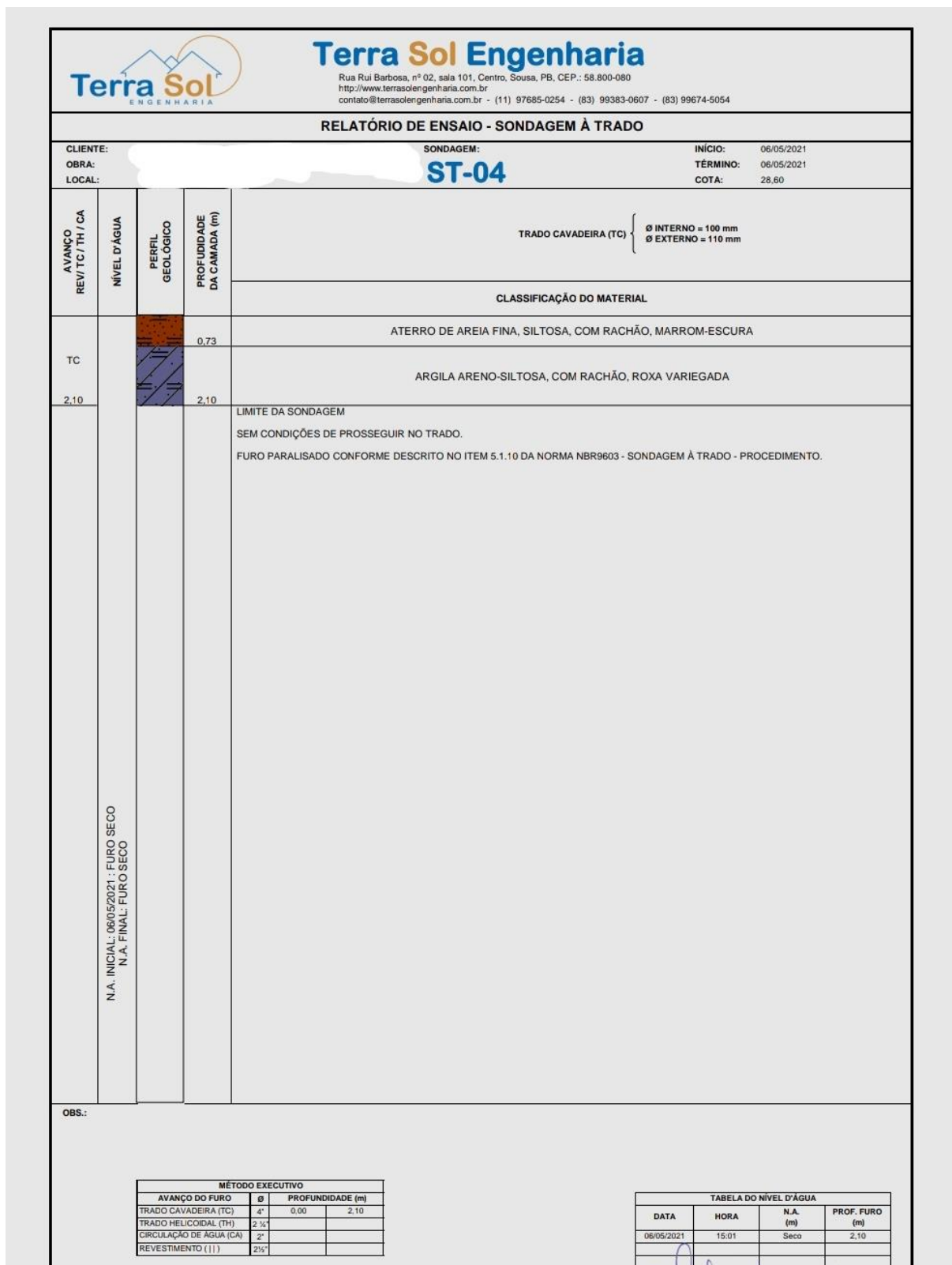


Figura 25 – Boletim de sondagem a trado. (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica, 2021)