



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



Luanda Maria Sousa da Silva

**PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO DE TRECHO DA ENCOSTA
OCUPADA PELA COMUNIDADE SANTA CLARA, JOÃO PESSOA -
PB**

Cajazeiras
2019

Luanda Maria Sousa da Silva

**PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO DE TRECHO DA ENCOSTA
OCUPADA PELA COMUNIDADE SANTA CLARA, JOÃO PESSOA -
PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Cinthya Santos da Silva
Coorientadora: Tássia dos Anjos Tenório de Melo

Cajazeiras
2019

IFPB
Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catálogo na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

S586p

Silva, Luanda Maria Sousa da

Proposta de estabilização de trecho da encosta ocupada pela comunidade Santa Clara, João Pessoa-PB / Luanda Maria Sousa da Silva; orientadora Cinthya Santos da Silva; coorientadora Tássia dos Anjos Tenório de Melo.-

102 f.: il.

Orientadora: Cinthya Santos da Silva.

TCC (Bacharelado em Eng. Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2019.

1. Encostas 2. Taludes – Estabilidade 3. Deslizamentos – Encostas
4. Solo grampeado I. Título

CDU 69.035.2(0.067)

Luanda Maria Sousa da Silva

**PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO DE TRECHO DA ENCOSTA
OCUPADA PELA COMUNIDADE SANTA CLARA, JOÃO PESSOA - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



Cinthya Santos da Silva – IFPB-Campus Cajazeiras
Orientadora



Tássia dos Anjos Tenório de Melo – UFPB-Campus II
Coorientadora



Hélykan Berliet dos Santos Monteiro – UFCG-Campus Pombal
Examinadora 1



Laiana Ferreira da Costa – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinadora 2

Cajazeiras, 11 de abril de 2019.

Dedico este trabalho às minhas três Marias:
Ronilda, Bruna e Zefinha, por serem essenciais
em minha vida

AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar comigo, me fortalecendo, ajudando e sustentando.

À minha família, em especial à minha mãe, Ronilda, por sempre fazer o inimaginável para que eu pudesse agarrar todas as oportunidades que me aparecessem, e à minha irmã Bruna, pelo carinho nas frustrações diárias. Todas as minhas conquistas, presentes e futuras, são frutos do amor de vocês.

À Cinthya e Tássia, por terem acolhido a ideia deste trabalho com carinho e dedicação, não medindo esforços para a conclusão da pesquisa. Obrigada também por me mostrarem representatividade e serem exemplos, profissionais e pessoais, que levarei por toda minha vida.

Ao meu namorado, Pedro, por caminhar comigo desde o momento da escolha profissional, sendo rocha sólida, que com paciência ouvia e me dava forças no desânimo e cansaço.

Ao eterno Clube dos Cinco: à Alysson pela lealdade desde o primeiro dia de aula, à José Rafael pelo companheirismo e sempre mostrar o lado simples nos momentos desesperadores, à Priscila por compartilhar ansiedades, aprendendo juntas a dominar o medo e seguir em frente, e à Sheldon por sempre estar em prontidão para oferecer um ombro amigo, um bom ouvido e uma ajudinha.

À todos os professores pelos conselhos, empenho e paciência, nos acolhendo como filhos e difundindo o amor pela engenharia.

Aos meus colegas de turma, com quem compartilhei os desafios e conquistas de uma turma pioneira. Alguns risos foram de desespero, mas compartilhar esses momentos com vocês tornou esta etapa única.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Cajazeiras e todos os seus servidores, pelo acolhimento e me proporcionar uma segunda casa.

RESUMO

É verificada na natureza uma busca pelo equilíbrio, manifestada nas encostas a partir da tendência natural à descida de material para o nível de base, bastando apenas uma intervenção, natural ou antrópica, para que ocorram escorregamentos. A encosta ocupada pela Comunidade Santa Clara, em João Pessoa (PB) é caracterizada por constantes ocorrências de instabilidade, geralmente associadas a períodos de maiores índices pluviométricos. Essa instabilidade torna-se crítica devido população que mora na sua crista, e a BR 230, principal corredor rodoviário da cidade, que margeia seu pé, colocando não somente em risco a comunidade ali instalada e aqueles que trafegam a rodovia, mas também dificultando uma intervenção projetual pelas sua complexidade construtiva. Logo, o presente trabalho propõe soluções para estabilização de trecho crítico da encosta ocupada pela Comunidade Santa Clara. Já caracterizada previamente como uma área de alto risco de deslizamento, foi possível delimitar o trecho crítico que necessita de intervenção através da obtenção de seus fatores de segurança pelos métodos de Bishop, Jambu e Spencer, resultando para o trecho entre as estacas 3 + 0 e 7 + 0 valores de FS abaixo do mínimo estabelecido pela NBR 11.682/2009. Foi proposto como solução um sistema de solo grampeado, visto sua adequação técnica, construtiva, econômica e social. Análises de estabilidade posteriores, com implantação desse sistema, resultaram em novos fatores de segurança variando de 1,680 a 2,132, comprovando a estabilização da encosta ocupada.

Palavras-Chave: Encosta ocupada; Estabilidade de taludes; Deslizamento; Solo grampeado.

ABSTRACT

It is verified in nature a search for balance, manifested on the slopes from the natural tendency to fall of soil to the base level, with only a natural or anthropic intervention being required for landslides to occur. The Santa Clara Community occupation on the slope in João Pessoa (PB) is characterized by several episodes of instability, generally associated with heavy rainfall events. This instability is critical because of the population living on its crest, and BR 230, the main highway in the city, bordering its toes, not only putting the community and those who travel the highway at risk, but also making it difficult to project an intervention for its constructive difficulties. Therefore, the present work proposes solutions for stabilization of the critical stretch of the slope occupied by the Santa Clara Community. Previously characterized as an area of high risk of landslide, it was possible to delimit the critical stretch that requires intervention by obtaining its factors of safety by the methods of Bishop, Jambu and Spencer, resulting for the critical points of stability from 3 + 0 to 7 + 0, with FS values below the minimum established by NBR 11.682/2009. It was proposed a soil nailing system, considering its technical, constructive, economic and social adequacy. Later slope stability analyzes, with the implementation of this system, resulted in new factors of safety ranging from 1,680 to 2,132, proving the stabilization of the occupied slope.

Keywords: Slope occupation; Slope stability; Landslide; Soil Nailing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da Comunidade Santa Clara no bairro Castelo Branco	18
Figura 2 - Acidente causado por escorregamento na barreira da comunidade Santa Clara	18
Figura 3 – Comparação entre lona de contenção sendo aplicada em 2014, e em 2017	19
Figura 4 - Localização da Comunidade Santa Clara no bairro Castelo Branco, João Pessoa/PB	21
Figura 5 – Imagem de satélite da Comunidade Santa Clara.....	22
Figura 6 – Níveis de vulnerabilidade social das famílias de João Pessoa.....	22
Figura 7 – Mapeamento de risco da encosta ocupada pela Comunidade Santa Clara.....	24
Figura 8 – Detalhamento e evidências da instabilidade da encosta.....	24
Figura 9 – Localização da Comunidade Santa Clara e as principais estações pluviométricas de João Pessoa e Cabedelo	25
Figura 10 – Precipitação média mensal de João Pessoa (1987-2017).....	25
Figura 11 – Precipitação média anual de João Pessoa (1987-2017).....	26
Figura 12 – Curva da precipitação acumulada mensal e ocorrência de deslizamentos (2011-2017).....	27
Figura 13 – Forças aplicadas em uma fatia de solo genérica pelo Método de Bishop simplificado	31
Figura 14 – Forças aplicadas em uma fatia de solo genérica pelo Método de Jambu.....	32
Figura 15 – Forças aplicadas em uma fatia de solo genérica pelo Método de Spencer	33
Figura 16 – Determinação do FS pelo Método de Spencer.....	34
Figura 17 – Fator de Segurança vs λ	35
Figura 18 – Perfil longitudinal da encosta ocupada	45
Figura 19 – Perfil transversal da estaca 4 + 0 gerada automaticamente pelo Civil 3D e manualmente através dos pontos cotados.....	45
Figura 20 – a. Localização dos ensaios tipo SPT quanto ao estaqueamento, b. Perfil longitudinal do terreno e suas camadas	47
Figura 21 – Perfil transversal da situação crítica (estaca 4 + 0).....	48
Figura 22 – Superfície de ruptura e fator de segurança críticos para o Método de Bishop.....	48
Figura 23 – Slip Surface Color Map para o Método de Bishop	49
Figura 24 – Diagrama de corpo livre e do polígono de forças da fatia 8 para o Método de Bishop.....	50

Figura 25 – Superfície de ruptura e fator de segurança críticos para o Método de Jambu.....	51
Figura 26 – <i>Slip Surface Color Map</i> para o Método de Jambu	51
Figura 27 – Diagrama de corpo livre e do polígono de forças da fatia 8 para o Método de Jambu.....	52
Figura 28 – Superfície de ruptura e fator de segurança críticos para o Método de Spencer	53
Figura 29 – <i>Slip Surface Color Map</i> para o Método de Spencer.....	53
Figura 30 – Diagrama de corpo livre e do polígono de forças da fatia 8 para o Método de Spencer	54
Figura 31 – Gráfico do Fator de Segurança vs Lambda	55
Figura 32 – Superfície de ruptura crítica não otimizada para o Método de Bishop	55
Figura 33 – Superfície de ruptura crítica da estrutura de contenção com solo grampeado conforme Proposta 03.	64
Figura 34 – Superfície de ruptura crítica da estrutura de contenção com solo grampeado conforme Proposta 03' com $S_H = S_V$	65
Figura 35 – Detalhe dos grampos da Proposta 03.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros para zoneamento dos graus de riscos para encosta.....	23
Quadro 2 – Classificação de Varnes (1978)	28
Quadro 3 – Classificação de Freire (1965).....	29
Quadro 4 – Critérios de níveis de segurança desejados contra a perda de vidas humanas	37
Quadro 5 – Critérios de níveis de segurança desejados contra danos materiais e ambientais .	37
Quadro 6 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos	38
Quadro 7 – Tipos de obras de estabilização de encostas ocupadas desordenadamente	39
Quadro 8 - Características dos métodos de equilíbrio limite.....	41
Quadro 9 – Considerações de análise (KeyIn Analyses) adotadas para análise no Slope/W ...	42
Quadro 10 – Precipitação diária nos dias do ensaio SPT	46
Quadro 11 – Correlação entre N_{SPT} e parâmetros do solo	46
Quadro 12 – Esforços resistentes e solicitantes associados ao talude pelo Método de Bishop	50
Quadro 13 – Esforços resistentes e solicitantes associados ao talude pelo Método de Jambu.	52
Quadro 14 – Esforços resistentes e solicitantes associados ao talude pelo Método de Spencer	54
Quadro 15 – Comparação entre os FS no estado natural e saturado para cada método	56
Quadro 16 – Resumo dos FS obtidos	56
Quadro 17 – Obras de contenção e respectivas análises prévias de viabilidade	59
Quadro 18 – Comprimento dos grampos variável.....	62
Quadro 19 – Parâmetros típicos de maciços grampeados em obras nacionais para areias e siltes.....	62
Quadro 20 – Resumo das análises realizadas e seus respectivos FS	63
Quadro 21 – Resumo das análises realizadas e seus respectivos FS para $SH = SV$	65
Quadro 22 – Características da solução escolhida.....	66
Quadro 23 – Valor de FS para demais estacas após intervenção	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CH2-CBR – Conjunto Habitacional 2 do Complexo Beira Rio
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FS – Fator de Segurança
FWA – Federal Highway Administration
GLE – Método de Equilíbrio Limite Generalizado
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
KM – Quilometro
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
NHI – National Highway Institute
 N_{SPT} - Índice de resistência à penetração
PMJP – Prefeitura Municipal de João Pessoa
R3 – Risco Alto
R4 – Risco Muito Alto
SEM HAB - Secretaria Municipal de Habitação
SEPLAN – Secretaria de Planejamento do Município de João Pessoa
SP – Sondagem à Percussão
SPT – Ensaio de Sondagem à Percussão

LISTA DE SÍMBOLOS

- F_h - forças horizontais
- F_v - forças verticais
- M_0 – momentos fletores
- W - peso da fatia
- inclinação da base da fatia
- c - coesão do solo
- comprimento da base da fatia
 - ângulo de atrito
- c' - coesão efetiva do solo
- σ - poropressão
- Q – resultante das forças de interação entre fatias
- inclinação resultante Q em cada fatia
- FS_m – Fator de segurança de equilíbrio dos momentos
- FS_f – Fator de segurança de equilíbrio das forças
- ^a escalar
- E - força normal entre fatias
- X - força cisalhante entre fatias
- parâmetro geométrico
- R- parâmetro geométrico
- x- parâmetro geométrico
- f- parâmetro geométrico
- d - parâmetro geométrico
- α parâmetro geométrico
- D - linha de empuxo
- vs – *versus*
- L – comprimento
- α - ângulo de inclinação do grampo com a horizontal
- S_v - espaçamentos vertical
- S_H - espaçamentos horizontal
- q_s - adesão solo-grampo
- R_{T,adm} - resistência à tração admissível do chumbador

S_{VN} - espaçamento vertical no pé da encosta

S_{VO} - espaçamento entre o ponto mais alto da escavação e a primeira fileira de grampos

R - coeficiente de minoração do comprimento dos grampos

β - ângulo de inclinação do talude

$\phi_{aço}$ - diâmetro da barra de aço

ϕ_{furo} - diâmetro do furo do grampo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1 Objetivo Geral	20
1.3.2 Objetivos Específicos	20
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 A COMUNIDADE SANTA CLARA	21
2.1.1 Aspectos Climáticos	25
2.2 ASPECTOS GERAIS DOS MOVIMENTOS DE MASSA	27
2.3 TEORIA DO EQUILÍBRIO LIMITE	30
2.3.1 Método de Bishop (simplificado).....	31
2.3.2 Método de Jambu (simplificado).....	32
2.3.3 Método de Spencer	33
2.3.4 Método de Equilíbrio Generalizado (GLE).....	34
2.4 OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS	36
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
3.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DA ENCOSTA OCUPADA.....	40
3.3 PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO	42
3.4 ANÁLISE DA ESTABILIDADE COM ESTRUTURA DE CONTENÇÃO.....	43
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	44
4.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	44
4.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DA ENCOSTA OCUPADA.....	46

4.3 PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO	57
4.4 ANÁLISE DA ESTABILIDADE COM ESTRUTURA DE CONTENÇÃO.....	60
4.4.1 Configuração dos grampos	60
4.4.2 Parâmetros adotados	61
4.4.3 Análise da estabilidade	63
5 CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE A – ESTAQUEAMENTO	73
APÊNDICE B – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 1 + 0.....	74
APÊNDICE C – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 2 + 0	76
APÊNDICE D – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 3 + 0	78
APÊNDICE E – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 5 + 0.....	80
APÊNDICE F – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 6 + 0.....	82
APÊNDICE G – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 7 + 0	84
APÊNDICE H – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 8 + 0	86
APÊNDICE I – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 9 + 0.....	88
APÊNDICE J – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 10 + 0	90
APÊNDICE K – ANÁLISE DA ESTABILIDADE COM REALOCAÇÃO DA COMUNIDADE.....	92
APÊNDICE L – CONFIGURAÇÃO DOS GRAMPOS ADOTADA	93
APÊNDICE M – ANÁLISE DAS PROPOSTAS EM SOLO GRAMPEADO	94
APÊNDICE N – ANÁLISE DA SOLUÇÃO PROPOSTA PARA DEMAIS ESTACAS.	98
ANEXO A – LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS TIPO SPT (DNIT, 2013).....	100
ANEXO B – SONDAÇÃO DO FURO SP 01 (DNIT, 2013).....	101
ANEXO C – SONDAÇÃO DO FURO SP 02 (DNIT, 2013).....	102

1 INTRODUÇÃO

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Encostas são definidas por Augusto Filho e Virgili (1998) como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos, originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos, podendo apresentar modificações antrópicas. Keller (2012) cita que é verificado na natureza uma constante progressão inata para atingir o equilíbrio. No caso das encostas, essa busca no equilíbrio se manifesta na tendência natural à peneplanização, confirmado por Massad (2010) ao afirmar que os solos das encostas tendem a descer para atingir um nível de base, bastando apenas alguma intervenção, natural ou antrópica, para que ocorram escorregamentos. Alheiros (2003) aponta que, algumas vezes, uma área onde ocorreu deslizamento pode ficar naturalmente estabilizada, fazendo com que o próprio acidente elimine ou reduza a instabilidade, reforçando que para existir risco é necessário que exista alguma ocupação do espaço, de modo que haja possibilidade de perdas materiais ou de vidas.

A existência de risco reflete a associação de diversos componentes, apresentando causas complexas, mas cujo entendimento é essencial para mitigação e prevenção desses eventos. Alguns dos fatores que podem ser destacados são as características do meio físico, descrita como a suscetibilidade, ou seja, a fragilidade do ambiente diante processos geológicos, e as alterações antrópicas, que por sua vez expressam vulnerabilidade, sendo um reflexo da fragilidade dos sistemas implantados na área (ALHEIROS, 2003).

Segundo Bastos (2006), o principal agente instabilizante de encostas, isentas da ação antrópica, é a água, fazendo com que a maioria das movimentações de encostas aconteça no período chuvoso. A percolação da água, seja pela elevação do lençol freático ou apenas por saturação das camadas superficiais do solo, pode ser responsável pela instabilidade devido sua ação de redução da resistência do maciço pelo desenvolvimento de poro-pressões ao longo de superfícies de ruptura, pela redução da coesão aparente, pelo aumento do peso do material e pela ação erosiva interna e externa. Já a ação antrópica é um agente diretamente responsável pelo desencadeamento das instabilizações da encosta, devido à remoção da cobertura vegetal, as diferentes formas de ocupação e utilização do solo, lançamento de resíduos e águas servidas, por exemplo.

O Novo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651, de 2012) enquadra as florestas e demais formas de vegetação natural situadas em encostas ou partes destas, com declividade

superior a 45°, como Área de Preservação Permanente. Essas áreas são espaços territoriais especialmente protegidos, de áreas urbanas ou rurais, que se relacionam a uma função ambiental. No caso das encostas, o enquadramento se dá por três funções: preservar a estabilidade geológica, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Frank e Sevegnani (2009) afirmam que os movimentos de massa ocorrem de maneira natural, porém que o uso e ocupação do solo desordenado e inadequado aumenta a frequência e a extensão da área atingida.

A NBR 11.682 – Estabilidade de Encostas (ABNT, 2009) especifica estudos relativos à estabilidade de encostas e minoração dos efeitos de sua instabilidade, prescrevendo condições para estudos, projeto, execução, controle e observação de obras de estabilização; mas apesar da existência de legislações e normas para proteção e projetos de estabilidade de encostas, a ausência de políticas adequadas ou a fiscalização precária do uso e a ocupação do solo, associada ao histórico processo de urbanização desordenado, permite que áreas vulneráveis a movimentos de massa sejam povoadas (PIAZZA *et al*, 2015).

A ocupação irregular, principalmente em margens de rios e encostas, agrava a situação de vulnerabilidade dessas áreas, seja pelo desmatamento e despejo de detritos na superfície da encosta, ou pelo aumento do carregamento incidente na mesma, fazendo com que surjam setores de alto risco que, associados aos períodos chuvosos mais intensos, se tornam palco de graves acidentes, resultando em danos materiais e perdas humanas (OLIVEIRA; MÉLO, 2005; CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

Dessa maneira, é fundamental que sejam tomadas ações com a finalidade de mitigar os perigos relacionados às áreas de vulnerabilidade, principalmente as que põem em risco vidas humanas. Isso pode ocorrer através de diversas medidas, como a concepção de mapas de risco, difusão de políticas preventivas, e a elaboração de planos de redução de riscos e projetos de obras de estabilização de encostas.

1.2 JUSTIFICATIVA

João Pessoa, capital da Paraíba, tem apresentado ocorrências de instabilidade na encosta que margeia a BR 230. As precipitações intensas em áreas degradadas da encosta têm acelerado o processo de instabilidade do solo, sendo os deslizamentos as consequências mais comuns. Além da via no pé da encosta, existem comunidades estabelecidas na sua crista (Figura 1) fazendo com que a instabilidade deste talude natural coloque em risco não somente

os transeuntes na rodovias, mas também a população dessas comunidades. Em junho de 2012 um escorregamento no km 19 da BR 230, onde está localizada a Comunidade Santa Clara, causou grave acidente envolvendo duas motos e um automóvel (Figura 2), causando lesões não fatais aos motoristas e passageiros.

Figura 1 - Localização da Comunidade Santa Clara no bairro Castelo Branco



Fonte: GOOGLE EARTH, 2018

Figura 2 - Acidente causado por escorregamento na barreira da comunidade Santa Clara



Fonte: ALMEIDA, 2016

Eventos similares costumam ocorrer nesse trecho do km 19 da BR 230, onde de 2011 a 2017 foram registrados pela mídia 7 deslizamentos, ocorrendo desde breves interdições até acidentes com vítimas não-fatais.

Em junho de 2014 foram instaladas lonas de contenção com objetivo de impedir a infiltração da água no talude natural, porém este material encontra-se degradado devido ao lançamento de esgoto e exposição às intempéries, como observado na Figura 3.

Figura 3 – Comparação entre lona de contenção sendo aplicada em 2014, e em 2017



Fonte: ALMEIDA, 2016; FELTOSA 2017

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2013), existe um projeto de contenção composto por soluções em terra armada e em muro de concreto armado à flexão, porém as intervenções projetuais nesse trecho específico não foram iniciadas. Além disso, deve ser levada em consideração a disponibilidade físico-espacial, tanto pela inacessibilidade de máquinas de maior porte na crista do talude por estar completamente ocupada por construções residenciais e ruas estreitas, quanto pelo trabalho do maquinário no pé do talude ser inviável devido necessidade da interdição de pista da BR 230 no sentido João Pessoa – Cabedelo, um dos principais corredores rodoviário da capital do estado.

Devido aos fatores apresentados, é de suma importância que sejam analisadas soluções que possam estabilizar a encosta ocupada obedecendo as limitações construtivas do local, com o menor número de realocação dos moradores da comunidade, e sem a interdição completa da rodovia. A escolha do tipo de obra de estabilização está condicionada ao entendimento dos agentes envolvidos no processo de estabilização, as causas dos escorregamentos, os fatores deflagradores dos movimentos de encostas e principais interferências antrópicas (SILVA, 2010). Essas soluções podem ser únicas ou trabalharem em conjunto, principalmente no que diz respeito às novas tecnologias de obras de contenção e drenagem em encostas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Propor soluções para estabilização de trecho da encosta ocupada pela Comunidade Santa Clara, em João Pessoa – PB.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Delimitar e caracterizar a área de estudo, identificando, principalmente, as áreas de instabilidade da encosta;
- Obter os Fatores de Segurança do trecho de estudo;
- Apresentar de propostas de estabilização da encosta, articulando as premissas técnicas, ambientais e sociais;
- Analisar a estabilidade da encosta com a respectiva proposta escolhida.

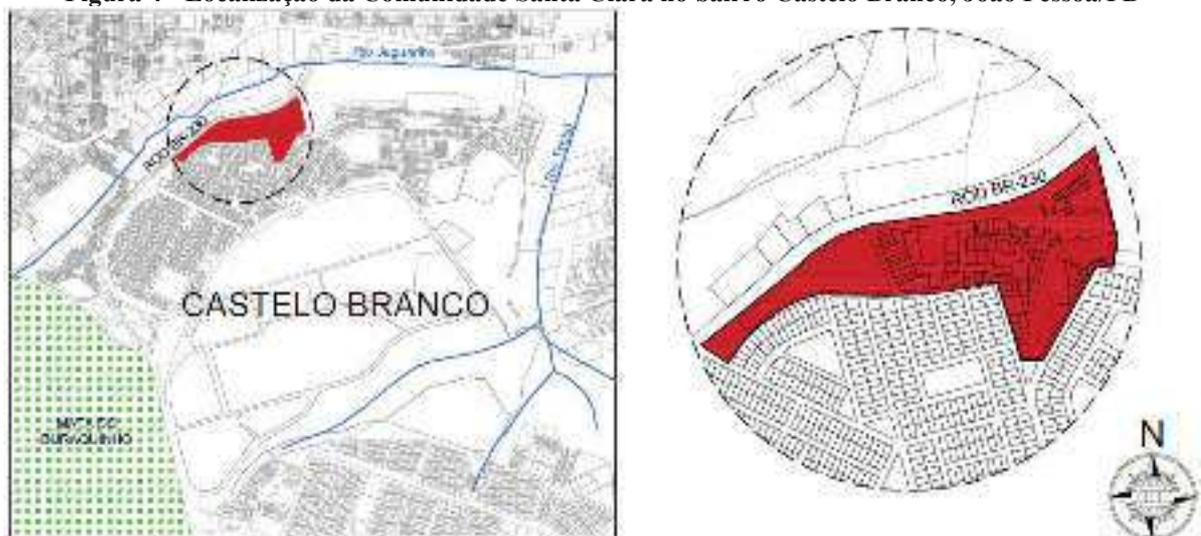
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A COMUNIDADE SANTA CLARA

A comunidade Santa Clara está localizada na cidade de João Pessoa, capital da Paraíba, no bairro do Castelo Branco II (Figura 4), às margens da BR 230 e do Rio Jaguaribe, fazendo parte do Complexo Beira Rio, que abrange a porção sudoeste da cidade de João Pessoa. Comparando com a imagem de satélite da Figura 5, pode-se observar um aumento da ocupação no setor oeste da comunidade quando comparado ao apresentado pela Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP, 2018), e que apesar da comunidade ocupar toda a encosta, o distanciamento de sua crista aumenta progressivamente, possuindo menores valores a oeste.

Conforme o Plano de Reassentamento e Relocação de População e Atividades Econômicas (PMJP, 2017), Santa Clara é a comunidade mais antiga do complexo, possuindo 49 anos de ocupação - um indicador do alto grau de enraizamento social com o território, 72.870 m² de área ocupada por 364 edificações, tanto de moradia como para atividades econômicas, resultando em aproximadamente 1.600 habitantes. Comparando a localização da comunidade (Figura 4) com o mapa da vulnerabilidade social das famílias de João Pessoa (Figura 6), tem-se na comunidade a presença de níveis de alta vulnerabilidade. Essa característica apresenta como variáveis a renda, infraestrutura, educação, gênero, trabalho e composição familiar, conforme metodologia do mapa (SPOSATI, 2009).

Figura 4 - Localização da Comunidade Santa Clara no bairro Castelo Branco, João Pessoa/PB



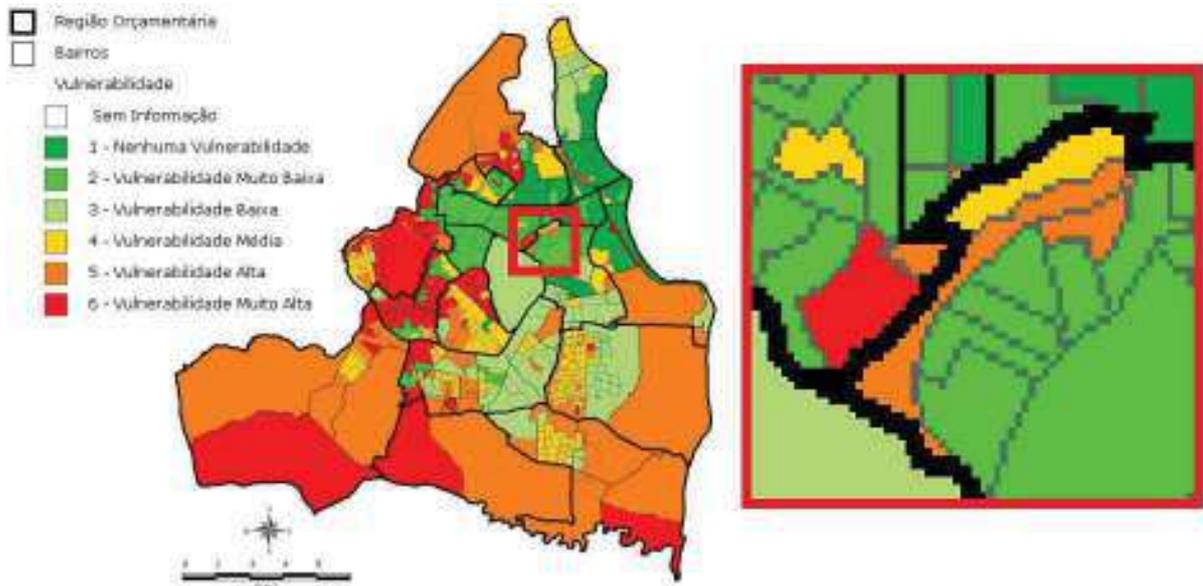
Fonte: Adaptado de PMJP, 2018

Figura 5 – Imagem de satélite da Comunidade Santa Clara



Fonte: Adaptado a partir de GOOGLE EARTH, 2019

Figura 6 – Níveis de vulnerabilidade social das famílias de João Pessoa



Fonte: Adaptado de SPOSATI, 2009

Segundo o Plano Diretor de Reposição de Moradias e Reinstalação de Atividades Econômicas (PMJP, 2017), existem 27 edificações instaladas em áreas de risco geológico (desabamento) na comunidade, e seu território é, em sua totalidade, domínio público estadual. Em 2013 o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) realizou uma ação emergencial para delimitar as áreas de alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa em João

Pessoa. Os parâmetros para esses zoneamentos dos graus de riscos para encosta encontram-se no Quadro 1. A área de encosta linear foi classificada como Risco Muito Alto (R4), como observado na Figura 7, possuindo uma região crítica demarcada.

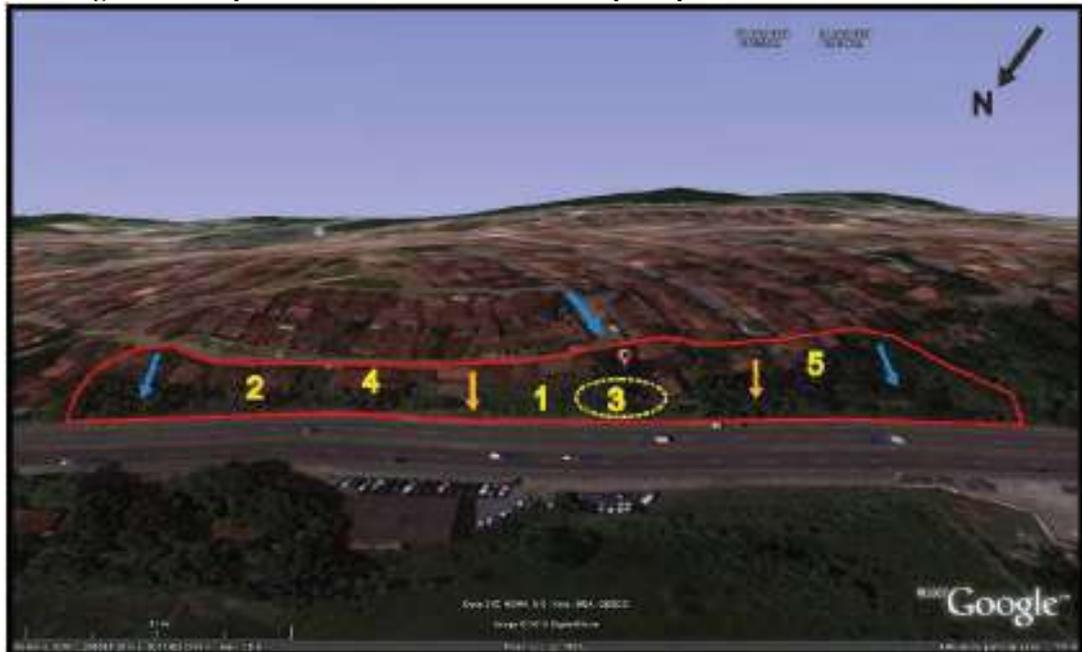
Quadro 1 –Parâmetros para zoneamento dos graus de riscos para encosta

GRAUS DE RISCO	DESCRIÇÃO
R3 Alto	Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc). Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.

Fonte: CPRM, 2013

Associando as Figuras 7 e 8 podem ser observadas algumas dessas evidências de instabilidade. Na Figura 8 pode-se observar a proximidade do talude à margem da rodovia (1) com topo ocupado por residências separadas da borda por uma canaleta de drenagem superficial danificada (2) que recebe águas pluviais e servidas, a região crítica com ocorrência de escorregamento planar e feições erosivas na forma de sulcos (3), trincas em alguns imóveis e muros, rachaduras em colunas de fundação (4), cicatrizes de antigos escorregamentos e árvores inclinadas e tombadas (5), sendo todos sinais de movimentação (CPRM, 2013).

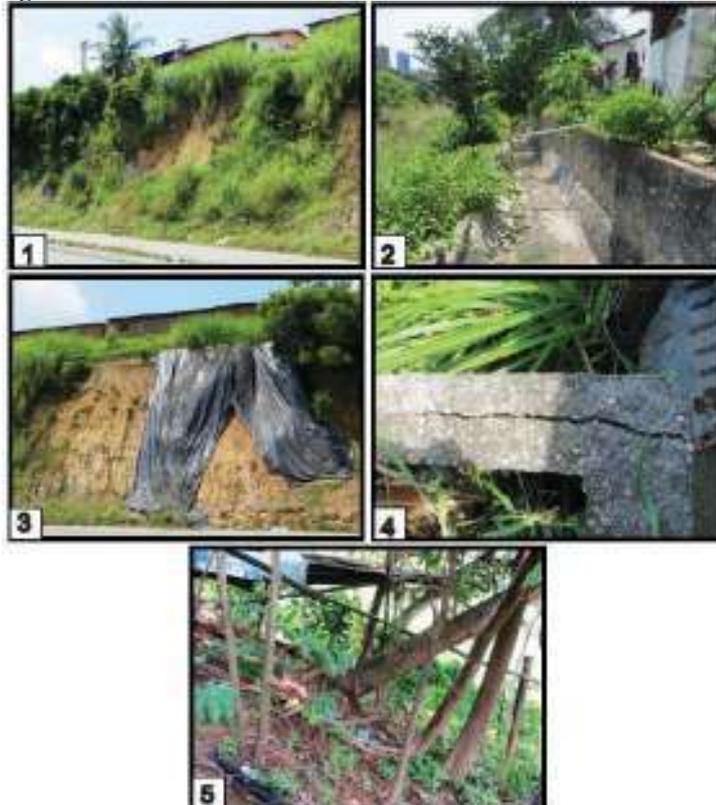
Figura 7 – Mapeamento de risco da encosta ocupada pela Comunidade Santa Clara



<p>Legenda</p> <ul style="list-style-type: none"> Delimitação da setor risco. Sentido da drenagem. Região crítica. 	<p>Grau de Risco: MUITO ALTO (M)</p> <p>Tipologia de Processo: Escorregamento Planar solo/rocha.</p> <p>Situação: Instalado</p> <p>Quantidade de imóveis em risco: 20</p> <p>Quantidade de pessoas em risco: 80</p>
---	--

Fonte: Adaptado de CPRM, 2013

Figura 8 – Detalhamento e evidências da instabilidade da encosta

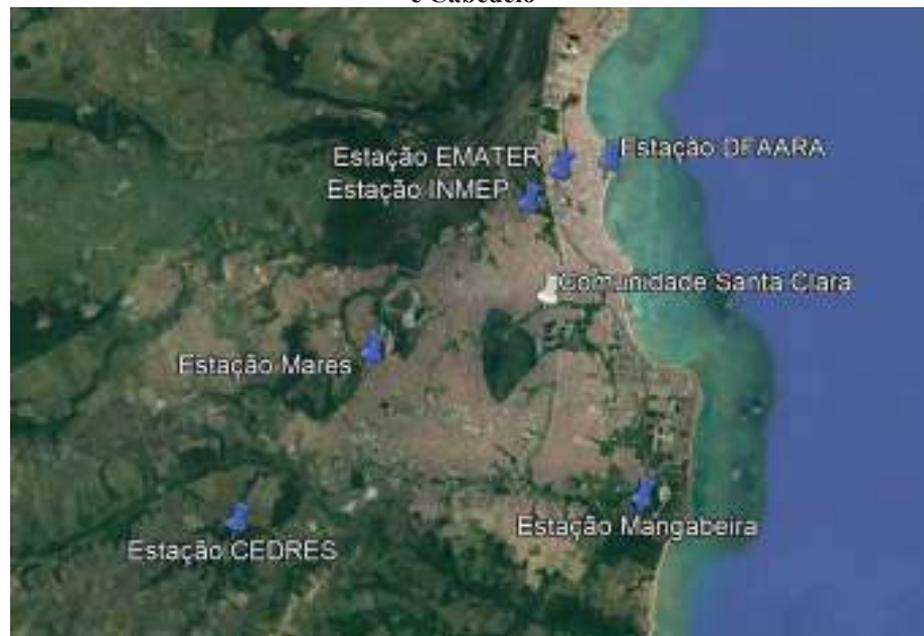


Fonte: Adaptado de CPRM, 2013

2.1.1 Aspectos Climáticos

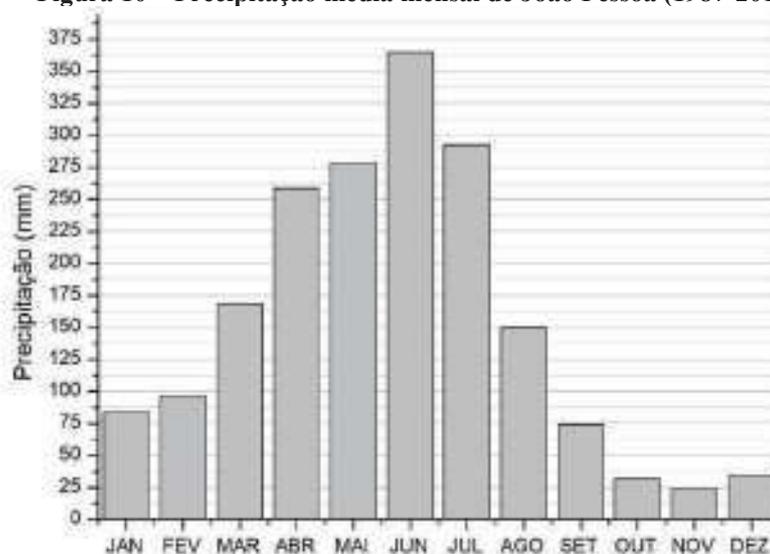
Observando as principais estações pluviométricas das cidades de João Pessoa e Cabedelo, tem-se a estação 82798 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) como a mais próxima da Comunidade Santa Clara, Figura 9. Foram avaliados os dados pluviométricos de 1987 a 2017 obtidos por essa estação, obtendo-se as precipitações médias mensais e anuais apresentadas na Figura 10 e Figura 11.

Figura 9 – Localização da Comunidade Santa Clara e as principais estações pluviométricas de João Pessoa e Cabedelo



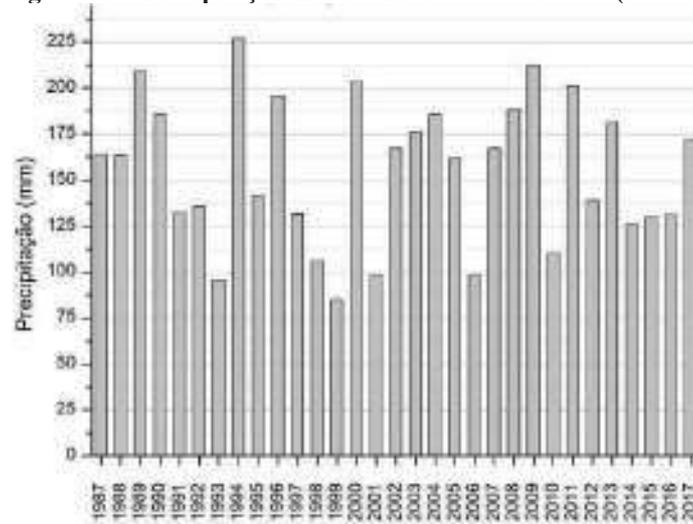
Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH, 2018

Figura 10 – Precipitação média mensal de João Pessoa (1987-2017)



Fonte: Autoria própria com dados do INMET, 2018

Figura 11 – Precipitação média anual de João Pessoa (1987-2017)

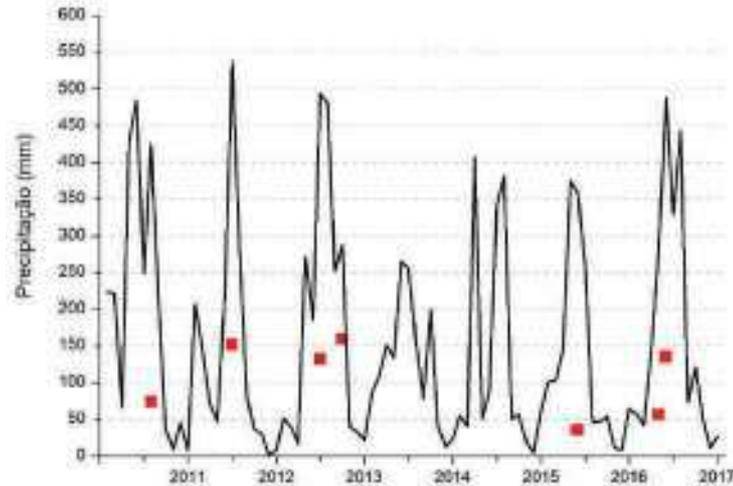


Fonte: Autoria própria com dados do INMET, 2018

Pode-se notar, no gráfico da Figura 10, uma irregularidade na distribuição do regime pluviométrico no decorrer do ano, onde o período mais chuvoso concentra-se de abril a julho, e o mais seco de setembro a dezembro. Essa irregularidade estende-se ao regime anual, onde os valores médios de precipitação variam entre 84,8 mm em 1999 e 226,8 mm em 1994, como observado na Figura 11.

Nos últimos 7 anos foram registrados sete deslizamentos de maiores proporções no trecho do KM 19 da BR 230, que margeia a Comunidade Santa Clara. Na Figura 12 pode ser observada a curva de precipitação média mensal de 2011 a 2017, e os pontos onde foram noticiados deslizamentos e seu respectivo valor de precipitação diária. Pode ser observado que as ocorrências de deslizamento estão associadas à períodos de alta incidência pluviométrica, sendo recorrente nos meses de abril e julho, caracterizado por apresentarem as maiores precipitações anuais (Figura 10). Em 2016 e no início de 2017 observam-se valores pluviométricos mais baixos no dia dos deslizamentos, se comparados às ocorrências anteriores, podendo estar associada à um aumento da fragilidade da encosta. Pois, apesar de situados em meses com grandes índices pluviométricos, os deslizamentos não seguem um padrão, tendo valores variando de 35,2 a 159,2 mm. Dessa maneira os diversos fatores condicionantes do movimento de massa, além dos índices mensais e diários, são passíveis de consideração, como a intensidade horária e incidência do vento.

Figura 12 – Curva da precipitação acumulada mensal e ocorrência de deslizamentos (2011-2017)



Fonte: Autoria própria com dados do INMET, 2018

Há uma relação íntima entre o clima, o relevo e os demais elementos do meio físico. Barbosa (2015) explica que as atuações dos diferentes tipos de climas sobre uma dada área podem resultar em distintas formações topográficas e tipos de solos:

No clima quente e úmido predomina o intemperismo químico, que favorece a formação de solos mais profundos, principalmente, quando se tem um relevo tabular, como é o caso da área em que se situa o município de João Pessoa, e o processo de infiltração predomina sobre o de escoamento, entretanto, nas áreas impermeabilizadas, que são as tomadas pela urbanização, o índice de escoamento pode sobrepor o de infiltração, mesmo com relevo plano. Nesse caso, as áreas que possuem maior declividade dentro do município de João Pessoa, que são compostas de materiais sedimentares e solos espessos, sofrem a ação do intemperismo químico e a erosão do solo, causada pela ação climática que aumenta o risco da ocorrência de movimentos de massa, inclusive em relevos antropogênicos como as vertentes resultantes de cortes de estrada, avenidas e ruas. Assim, as águas pluviais são direta ou indiretamente fortes agentes esculpidores do relevo (BARBOSA, 2015, p. 40).

Através disso fica claro o forte papel que os fenômenos climáticos têm na formação do relevo, que, em João Pessoa, se mostra com maior expressão através do intemperismo e erosão, resultantes dos processos de escoamento e/ou infiltração das águas pluviais. Entretanto é importante ressaltar que além das forças endógenas, a intervenção humana, através da urbanização, tem modificado o município de João Pessoa de maneira expressiva.

2.2 ASPECTOS GERAIS DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Eckel (1958) apresenta os movimentos de massa como objeto de profundo interesse da população devido sua consequência ser a destruição da vida e propriedade humanas pelas forças da natureza. Diz ainda que, para engenheiros, esse interesse torna-se maior visto que seu trabalho é construir uma estrutura qualquer e mantê-la segura, econômica e utilizável: um

deslizamento de terra pode destruir sua estrutura ou torna-la inutilizável, significando a morte de pessoas que confiaram naquela estrutura, ou um maior custo para seu reparo. Dessa forma, a classificação dos movimentos de massa é necessária para proporcionar ao engenheiro a distinção e reconhecimento de seus diferentes fenômenos, e assim permite a concepção de medidas corretivas e de segurança adequadas (WARD, 1945).

As classificações dos movimentos de massa são condicionadas à diversos parâmetros, como a velocidade e o mecanismo do movimento, características dos materiais, modo de deformação, geometria do movimento e quantidade de água envolvida (MATTOS, 2009). Essa variedade causa uma complexidade e diferenças significativas nas classificações, onde cada autor atribui uma importância maior a determinado parâmetro. A seguir serão indicados os principais sistemas classificatórios dos movimentos de massa.

A classificação realizada por Sharpe em 1938 é considerada o primeiro trabalho com uma classificação palpável dos movimentos de massa. Considera como parâmetros a velocidade do movimento, tipo do material, quantidade de água e gelo contidos na massas, gerando duas categorias principais: fluxos ou corridas (*flows*) e escorregamentos (*slides*).

A proposta mais recente de Varnes (1978) enfoca apenas os movimentos mais rápidos e traz como novo parâmetro o modo de deformação, dando uma maior atenção aos tipos de materiais, como pode ser observado no Quadro 2. Além disso, apresenta como classificação movimentos complexos, referentes à combinação de dois ou mais tipos, reconhecendo a dificuldade em estabelecer limites rígidos entre um tipo de movimento e outro (MATTOS, 2009).

Quadro 2 – Classificação de Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMENTO			TIPO DE MATERIAL		
			ROCHA	SOLO (ENGENHARIA)	
QUEDAS			De rocha	De detritos	De terra
TOMBAMENTOS			De rocha	De detritos	De terra
ESCORREGAMENTOS	ROTACIONAL	POUCAS UNIDADES	Abatimento de rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
			De blocos rochosos	De blocos de detrito	De blocos de terra
	TRANSLACIONAL	MUITAS UNIDADES	De rocha	De detritos	De terra
EXPANSÕES LATERAIS			De rocha	De detritos	De terra
CORRIDAS/ESCOAMENTOS			De rocha	De detritos	De terra
COMPLEXOS: Combinação de 2 ou mais tipos de movimentos					

Fonte: Adaptado de VARNES, 1978

A primeira classificação brasileira foi elaborada por Freire em 1965, que relata os tipos mais comuns de descontinuidades condicionadas a escorregamentos (Quadro 3), levando em consideração a forma e características da superfície sobre a qual há deslocamento, as características topográficas ou morfológicas da massa movimentada e do corpo sobre o qual se desloca, e as causas do escorregamento (MATTOS, 2009). Nesta classificação os escoamentos correspondem a uma deformação ou movimento contínuo com ou sem superfície definida de movimentação, os escorregamentos a um deslocamento finito ao longo de uma superfície definida de deslizamento preexistente ou de neoformação, e os de subsidências correspondem a um deslocamento finito, ou deformação contínua de direção essencialmente vertical (TOMINAGA, 2007).

Quadro 3 – Classificação de Freire (1965)

TIPO FUNDAMENTAL	SUBTIPO		CLASSES PRINCIPAIS
ESCOAMENTOS	RASTEJO REPTAÇÃO	Escoamento plástico	1.1.1. Rastejo de solo; 1.1.2. Rastejo de detritos de tálus; 1.1.3. Rastejo de rocha 1.1.4. Solifluxão; 1.1.5. Rastejo de detritos; 1.1.6. Geleiras.
	CORRIDAS	Escoamento líquido	1.2.1. Corrida de terra; 1.2.2. Corrida de areia ou silte; 1.2.3. Corrida de lama; 1.2.4. Avalanche de detritos.
ESCORREGAMENTOS	ESCORREGAMENTOS ROTACIONAIS		2.1.1. Escorregamento de taludes. 2.1.2. Escorregamento de base; 2.1.3. Ruptura do solo ou fundação.
	ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS		
SUBSIDÊNCIA	SUBSIDÊNCIA		3.1.1. Carreamento de grãos; 3.1.2. Dissolução camadas inferiores; 3.1.3. Deformação de estratos inferiores; 3.1.4. Ruptura de estratos inferiores; 3.1.5. Retirada do suporte lateral.
	RECALQUES		3.2.1. Consolidação; 3.2.2. Compactação.
	DESABAMENTOS		3.3.1. Ruptura de camada; 3.3.2. Subescavação; 3.3.3. Retirada do suporte lateral
Formas de transição ou termos de passagem			
Movimentos de massa complexos			

Fonte: FREIRE (1965) apud MATTOS (2009)

Guidicini e Nieble (1976) propõem uma classificação modificada de Freire (1965), onde diferenciam 32 classes principais, sendo caracterizadas com os parâmetros físicos – mecânicos – causais:

- Natureza e superfície do movimento;
- Inclinação do talude;
- Características qualitativas do movimento;
- Tipo de movimento;
- Velocidade e duração;
- Termos de passagem de um tipo de movimento para outro;
- Causas intrínsecas e extrínsecas (indiretas ou diretas, preparatórias ou imediatas);
- Modo de ação das causas;
- Efeito das causas sobre as condições de equilíbrio;
- Processos corretivos de movimentos de massa.

2.3 TEORIA DO EQUILÍBRIO LIMITE

As análises de estabilidade de taludes comumente são realizadas através de métodos determinísticos devido à sua simplicidade, sendo os principais baseados na Teoria de Equilíbrio Limite. Essa teoria é baseada na hipótese de haver equilíbrio em uma massa de solo, caracterizada como um corpo rígido-plástico (ruptura brusca), na eminência de entrar em um processo de escorregamento (MASSAD, 2010), onde deve existir a predefinição de uma superfície de ruptura hipotética, assumindo que existem duas forças atuando no corpo rígido: a força solicitante, que tenta mover o corpo, e as forças resistentes que previnem essa ação (SEYED-KOLBADI; SADOOGHI-YAZDI; HARIRI-ARDEBILI, 2019). Realizada em duas dimensões, são desprezados os efeitos de confinamento lateral e o Fator de Segurança (FS) é admitido como constante em todos os pontos do perfil, ignorando eventuais fenômenos de ruptura progressiva (MASSAD, 2010).

As análises de estabilidade com uso da Teoria de Equilíbrio Limite são realizadas através da consideração da massa de solo como um todo (Método Geral ou do Círculo de Atrito), ou subdividida em lamelas (Método das Fatias ou Sueco), ou em cunhas (Método das Cunhas), conforme Massad (2010). Galo (2017) aponta o Método das Fatias como a mais utilizada em estudos de instabilidade devido a possibilidade de presença de solo heterogêneo, de superfície irregular do talude e inclusão da poropressão no interior do maciço de solo. Esse método consiste na divisão da superfície de ruptura em fatias, aplicando a cada uma as condições de equilíbrio estático através das equações 1, 2 e 3 indicadas a seguir:

$$\sum F_h = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_v = 0 \quad (2)$$

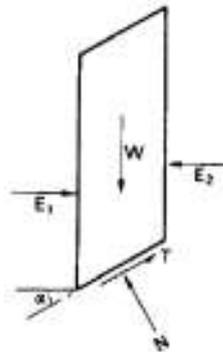
$$\sum M_0 = 0 \quad (3)$$

A partir do Método das Fatias foram desenvolvidos diversos outros métodos, onde a diferença primordial entre eles está relacionada a quais equações da estática são consideradas e satisfeitas, na inclusão ou não dos esforços normais e cisalhantes entre fatias, e na distribuição escolhida das forças de interação (KRAHN, 2003). Dentre eles, podem ser apontados os métodos de Bishop, Jambu, Spencer e Equilíbrio Limite Geral como alguns dos principais.

2.3.1 Método de Bishop (simplificado)

O cálculo do FS realizado pelo Método de Bishop simplificado é realizado desconsiderando as forças cisalhantes entre fatias, satisfazendo apenas o equilíbrio de momentos. Essa desconsideração não significa que as forças de cisalhamento sejam nulas, mas sim que um dos termos dessa equação seja zero, ou seja, é adotada uma distribuição ajustada das forças cisalhantes verticais entre fatias que satisfaça simultaneamente o equilíbrio das forças horizontais (ZHU, 2008). Na Figura 13 podem ser observadas as forças aplicadas a cada fatia.

Figura 13 – Forças aplicadas em uma fatia de solo genérica pelo Método de Bishop simplificado



Fonte: Adaptado de CRAIG, 2004

Uma forma simplificada do FS pelo Método de Bishop é dada por:

$$\sum \frac{W}{\cos \alpha} - \sum \frac{E_1 - E_2}{\cos \alpha} - \sum \frac{F}{\cos \alpha} = 0 \quad (4)$$

onde:

$$m_{\alpha} = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{FS} \quad (5)$$

onde W é o peso da fatia, α é a inclinação da base da fatia, c é a coesão do solo, β é o comprimento da base da fatia e ϕ é o ângulo de atrito. Pode-se observar que o FS aparece em ambos os lados da equação, configurando uma equação não-linear, e necessitando de um processo iterativo para sua resolução.

2.3.2 Método de Jambu (simplificado)

O Método de Jambu simplificado ignora as forças normais e cisalhantes entre fatias e satisfaz apenas o equilíbrio das forças. Existe uma variante desse método, o Método de Jambu corrigido, onde é introduzido um fator corretivo que é multiplicado pelo fator de segurança resultante do equilíbrio das forças (FERREIRA, 2012). Na Figura 14 podem ser observadas as forças aplicadas a cada fatia.

Figura 14 – Forças aplicadas em uma fatia de solo genérica pelo Método de Jambu



Fonte: Adaptado de CRAIG, 2004

Geo-Slope (2019) afirma que o FS resultante do Método de Jambu é muito baixo para superfícies de rupturas circulares devido à sensibilidade do equilíbrio das forças ao esforço cisalhante entre fatias, ignorado pelo método. O valor do FS é dado pela expressão 6, através de um processo iterativo.

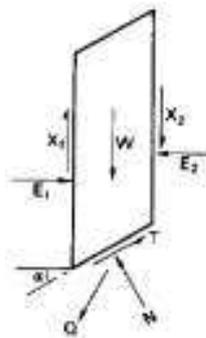
$$FS = \frac{W}{N} \left(\frac{c'}{W} + \tan \phi' \frac{T}{W} \right) \quad (6)$$

onde W é o peso da fatia, α é a inclinação da base da fatia, c' é a coesão efetiva do solo, β é o comprimento da base da fatia, σ a poropressão e ϕ' é o ângulo de atrito.

2.3.3 Método de Spencer

Spencer determinou duas equações de FS, uma para o equilíbrio dos momentos e outra para o equilíbrio das forças horizontais. Foi adotada uma relação constante entre forças cisalhantes e normais, e seus valores tornados iguais através de um processo iterativo. Essa relação cisalhamento-normal que torna os FS iguais significa que são satisfeitas todas as equações de equilíbrio, logo, pode-se considerar este um método rigoroso em comparação com outros. Na Figura 15 podem ser observadas as forças aplicadas a cada fatia.

Figura 15 – Forças aplicadas em uma fatia de solo genérica pelo Método de Spencer



Fonte: Adaptado de CRAIG, 2004

A relação entre as forças de interação entre fatias é dada pela resultante Q, descrita na equação 7, que atua no ponto médio da base da fatia (Figura 15).

$$Q = \frac{E_1 \sin \alpha + W \cos \alpha + E_2 \sin \alpha}{\sin(\alpha + \delta)} \quad (7)$$

onde c' é a coesão efetiva do solo, L é o comprimento da base da fatia, α é a inclinação da base da fatia, W é o peso da fatia, Q a poropressão, δ é o ângulo de atrito e α é a inclinação da resultante Q em cada fatia.

Sendo a soma dos momentos das forças exteriores, em relação a um ponto arbitrado, nula, o mesmo ocorre com os momentos das forças de interação em relação ao centro de rotação, ou seja:

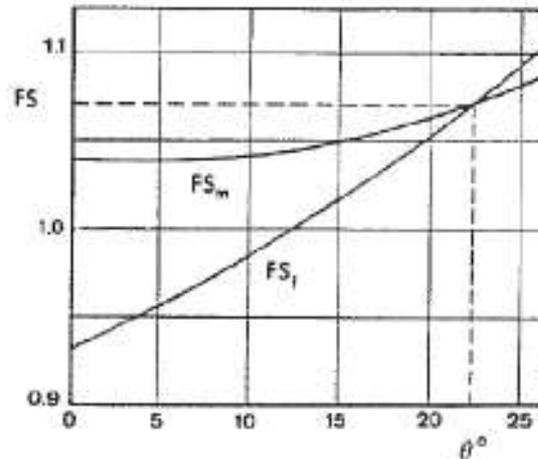
$$\sum M = 0 \quad (8)$$

Adotando raio constante, forças exteriores ao talude em equilíbrio (soma vetorial das forças de interação nula) e resultante das forças de interação paralelas (constante), tem-se que:

$$\sum F_x = 0 \quad (9)$$

Assim, para obter a solução final, são arbitrados vários valores de θ e determinado seus respectivos FS para o equilíbrio das forças (FS_f) e dos momentos (FS_m). Com os valores obtidos, são traçadas as curvas FS_f e FS_m vs θ (Figura 16), e o ponto de interseção dessas curvas corresponde ao valor de FS.

Figura 16 – Determinação do FS pelo Método de Spencer



Fonte: FERREIRA , 2012

2.3.4 Método de Equilíbrio Generalizado (GLE)

O Método de Equilíbrio Limite Generalizado (GLE) é baseado em dois fatores de segurança, conforme previamente proposto por Spencer, um considerando o equilíbrio dos momentos (FS_m) e outro, das forças (FS_f), e o FS que satisfaz as duas condições de equilíbrio, ou seja, o ponto de interseção de FS_m e FS_f, é considerado o FS do Método GLE.

Este método utiliza a equação proposta por Morgenstern-Price para relacionar as forças cisalhantes e normais entre fatias, como apresentado na expressão 10.

$$X = E\lambda f(x) \tag{10}$$

onde $f(x)$ é uma função, λ é um escalar que define um valor para FS_m e FS_f, E é a força normal entre fatias, e X é a força cisalhante entre fatias. As equações dos FS em relação ao equilíbrio dos momentos e das forças são mostradas nas expressões 10 e 11.

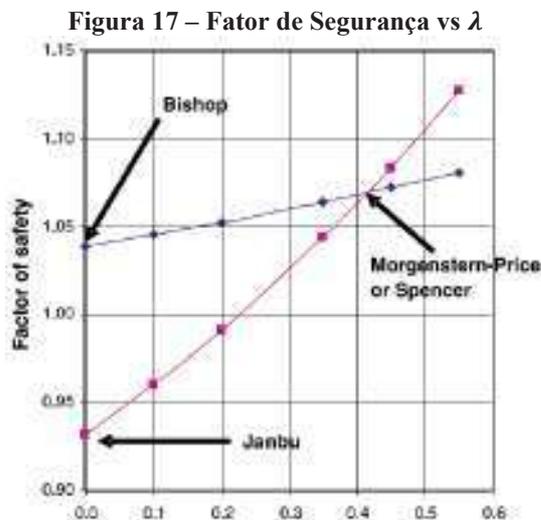
$$FS_m = \frac{\sum(c'\beta R + (N - \mu\beta)R \tan \phi')}{\sum W_x - \sum Nf \pm \sum Dd} \tag{11}$$

$$FS_f = \frac{\sum W_x - \sum Nf \pm \sum Dd}{\sum (c' + N \tan \phi')} \tag{12}$$

onde c' é a coesão efetiva, ϕ' é o ângulo de atrito efetivo, μ é a poropressão, W é o peso da fatia, α é a inclinação da base da fatia, β , R , x , f , d e ω são parâmetros geométricos e D é a linha de empuxo, ou seja, a linha que contém os pontos laterais onde estão aplicadas as forças de interação entre fatias ao longo do talude. O valor de N é obtido pela equação 13:

$$N = \frac{W + (X_R + X_L) - \frac{(c' \beta \sin \alpha + \mu \beta \sin \alpha \tan \phi')}{FS}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{FS}} \quad (13)$$

O uso de FS_m ou FS_f no cálculo de N irá depender do tipo de análise a ser realizada. Devido o valor de N ser dependente das forças de interação entre fatias, seus valores serão diferentes para os métodos utilizados, dependendo de que maneira é abordada essa interação (KRAHN, 2003). A comparação dos resultados é realizada através do traçado de um gráfico de FS_m e FS_f versus λ (Figura 17), de maneira a ser possível observar a variação dos FS. Para este método, $\lambda = 0$ significa que não há forças cisalhantes entre fatias (X). Logo o FS pelo Método de Bishop, que possui $X = 0$, se encontra na curva de momento (azul) com $\lambda = 0$, e Jambu simplificado, que também possui $X = 0$, se encontra na curva de forças (rosa) com $\lambda = 0$. Já os FS pelos Métodos de Morgenstern-Price e Spencer se encontram na interseção dessas curvas, visto que obedecem a ambas equações de momentos e forças.



Fonte: KRAHN, 2003

2.4 OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

No Brasil, as condições para estudos, projeto, execução, controle e observação de obras de estabilização são recomendadas pela NBR 11.682 – Estabilidade de encostas (ABNT, 2009). Conforme esta, são requisitos obrigatórios para elaboração de um projeto:

- a) Levantamento de informações disponíveis;
- b) Verificação das restrições legais e ambientais à execução de obras e quanto a interferências com edificações e instalações presentes;
- c) Vistoria da área por engenheiro civil geotécnico e/ou geólogo de engenharia;
- d) Avaliação da necessidade de implantação de medidas emergenciais;
- e) Programação de investigações geotécnicas e de instrumentação geotécnica preliminares;
 - Planejamento
 - Investigações de campo
 - Amostragem;
 - Levantamento de taludes rochosos;
 - Dados de monitoramento.
- f) Investigações do terreno;
- g) Dados cartográficos;
- h) Levantamento topográfico;
- i) Dados hidrológicos;
- j) Dados Geológicos e geomorfológicos

O FS tem a finalidade de cobrir as incertezas naturais das diversas etapas de projeto e construção, determinando o perigo de escorregamento. Dessa forma, a NBR 11.682 (ABNT, 2009) admite que o valor do FS pode variar em função da situação potencial de ruptura do talude, em situações atuais e futuras, ao perigo de perdas de vidas humanas e à possibilidade de danos materiais e de danos ao meio ambiente. Assim, os Quadros 4 e 5 apresentam os critérios de classificação do nível de segurança a partir da possibilidade de perdas de vidas humanas e de danos materiais e ambientais, respectivamente.

Quadro 4 – Critérios de níveis de segurança desejados contra a perda de vidas humanas

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

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009

Quadro 5 – Critérios de níveis de segurança desejados contra danos materiais e ambientais

NÍVEL DE SEGURANÇA	CRITÉRIOS
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009

Determinados os níveis de segurança, os fatores de segurança mínimos a serem adotados no projeto devem ser estipulados de acordo com o Quadro 6.

Quadro 6 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

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

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009

Alheiros *et al* (2003) divide as principais técnicas empregadas nas intervenções para estabilização de encostas ocupadas em três grandes grupos: obras sem estruturas de contenção, obras com estrutura de contenção e proteção de massas movimentadas. As obras sem estrutura de contenção partem da estabilização através da diminuição das forças atuantes ou aumento das forças resistentes, muitas vezes composta por obras combinadas, como retaludamento, drenagem e proteção superficial (SILVA, 2010).

Carvalho (1991) define como obras com estruturas de contenção aquelas que, uma vez implantadas, oferecem resistência à sua movimentação ou ruptura, geralmente apresentando custo maior (SILVA, 2010). Conforme Wolle (1972), essas estruturas ainda podem ser divididas em três grupos: obras de contenção passiva, ativa e de reforço. As obras de contenção passivas são aquelas introduzidas no talude de maneira a oferecer reação contra tendências de movimentação, tendo como principal exemplo os muros de arrimos. Já as obras de contenção ativas introduzem compressão no talude, de maneira a aumentar sua resistência por atrito e oferecer reações à tendência de movimentação do talude (SANTANA, 2006), como é o caso das cortinas atirantadas.

As obras de reforço do terreno consistem na inserção ou inclusão de materiais que resistam à tração num maciço compactado, podendo ser rígidas, como a terra armada e o solo grampeado, ou extensíveis, como os geossintéticos (MASSAD, 2010). São caracterizadas pela associação do próprio solo, com resistência à compressão e ao cisalhamento, ao elemento com resistência à tração, desenvolvida através do atrito solo-estrutura (PEDROSO, 2000), devendo se estender além da provável linha de ruptura do maciço (MASSAD, 2010). Pedroso (2000) afirma que o desempenho dessas estruturas é condicionado pela ocorrência de deslocamentos, responsáveis por mobilizar a resistência à tração do reforço e ao cisalhamento do solo, e pela limitação desses deslocamentos (verticais e horizontais) de maneira a garantir seus requisitos de utilização.

Por fim, as obras de contenção de massas movimentadas tem o objetivo de reter massas escorregadas ou transportadas a montante, de maneira a prevenir riscos de acidentes a jusante, além de reduzir o volume de solos no processo de assoreamento das áreas baixas, diminuindo as inundações, enquanto aumenta o volume de sedimentos consolidados na base do talude, contribuindo para sua estabilização (ALHEIROS *et al*, 2003). No Quadro 7, podem ser observados tipos de obras de estabilização que podem ser aplicados à uma encosta com ocupação desordenada, classificadas em grupos e subgrupos.

Quadro 7 – Tipos de obras de estabilização de encostas ocupadas desordenadamente

GRUPOS	SUBGRUPOS	TIPOS DE OBRAS		
Obras sem estrutura de contenção	Retaludamento	Cortes	Talude contínuo e escalonado	
		Aterro compactado	Carga de fase de talude (muro de terra)	
	Proteção Superficial	Materiais Naturais	Gramíneas	Gramíneas
			Gramma armada com geossintético	Gramma armada com geossintético
			Vegetação arbórea (mata)	Vegetação arbórea (mata)
			Selagem de fendas com solo argiloso	Selagem de fendas com solo argiloso
		Materiais artificiais	Cimentado	Cimentado
			Geomantas e gramíneas	Geomantas e gramíneas
			Geocélula e solo compactado	Geocélula e solo compactado
			Tela argamassada	Tela argamassada
			Pano de pedra ou lajota	Pano de pedra ou lajota
			Alvenaria armada	Alvenaria armada
	Drenagem	Interna	Drenos sub-horizontais, trincheiras, etc	
		Externa	Canais, canaleta de borda, de pé e de descida	
Estabilização de blocos	Retenção	Tela metálica e tirante		
	Remoção	Desmonte		
Obras com estrutura de contenção	Muro de arrimo	Solo-cimento	Solo-cimento ensacado	
		Pedra-rachão	Pedra seca	Pedra seca
			Alvenaria de pedra	Alvenaria de pedra
		Concreto	Concreto armado	Concreto armado
			Concreto ciclópico	Concreto ciclópico
		Gabião	Gabião-caixa	Gabião-caixa
		Bloco de concreto articulado	Bloco de concreto articulado (pré-fabricado, encaixado sem rejunte)	Bloco de concreto articulado (pré-fabricado, encaixado sem rejunte)
	Solo-Pneu	Solo-pneu	Solo-pneu	
	Outras soluções de contenção	Terra armada	Placa pré-fabricada de concreto, ancoragem metálica ou geossintético	Placa pré-fabricada de concreto, ancoragem metálica ou geossintético
		Micro-ancoragem	Placa e montante de concreto, ancoragem metálica ou geossintético	Placa e montante de concreto, ancoragem metálica ou geossintético
		Solo compactado e reforçado	Geossintético	Geossintético
			Paramento com pré-fabricado	Paramento com pré-fabricado
		Cortina atirantada		
	Solo grampeado			
Obras de proteção para massas movimentadas	Contenção de massas movimentadas	Materiais naturais	Barreira vegetal	
		Materiais artificiais	Muro de espera	

Fonte: Adaptado de ALHEIROS *et al*, 2003

3 METODOLOGIA

3.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

- Caracterização da Comunidade Santa Clara

Inicialmente, foram adquiridos o mapa de uso e ocupação do solo e das áreas de risco da comunidade, em base de dados da Secretaria de Planejamento do Município de João Pessoa (SEPLAN) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM). As áreas serão identificadas em 2 tipologias de riscos: alto e muito alto. Esse mapeamento identifica e qualifica o risco ao qual a comunidade é suscetível em face da ocorrência de deslizamento.

- Aspectos topográficos e geotécnicos da encosta

Após essa etapa, foram definidos perfis transversais e longitudinais da área de estudo, a partir das curvas de níveis disponibilizadas pela Diretoria de Geoprocessamento e Cadastro de João Pessoa (PMJP, 2018). Para tal, foram utilizados os softwares AutoCad e Civil 3D, ambos da Autodesk. A partir disso, foram analisadas a geometria do talude, o uso e ocupação na crista do talude e a ocorrência de movimentos de massa, para determinação do trecho que apresenta maior susceptibilidade à instabilidade.

Identificação das áreas de instabilidade

Para identificação das causas de instabilidade da encosta, foram utilizadas informações disponíveis no Relatório de Elaboração de Projeto Executivo de Engenharia para Melhoramento em Rodovias com Adequação de Capacidade e Segurança da BR-230/PB (DNIT, 2013), dados pluviométricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), informações disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de João Pessoa – PB e outros estudos realizados na Comunidade Santa Clara. Salienta-se que o presente trabalho se limitou aos dados previamente obtidos e disponibilizados, não sendo objetivo da pesquisa a realização de ensaios laboratoriais ou levantamentos topográficos da região.

3.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DA ENCOSTA OCUPADA

A análise da estabilidade foi realizada utilizando o software GeoStudio 2012 – Slope/W da GEO-SLOPE International Ltd., que se baseia na Teoria do Equilíbrio Limite. Para a determinação do Fator de Segurança foram utilizados três métodos de análise, Bishop,

Jambu e Spencer, e determinado para cada perfil o menor fator de segurança e sua respectiva superfície de ruptura. A escolha desses métodos ocorreu a partir de quais considerações da estática são consideradas e satisfeitas, em quais esforços normais e cisalhantes das fatias são inclusos, e a interação considerada das forças entre fatias. No Quadro 8 pode-se observar essas condições atribuídas aos métodos que serão utilizados.

Quadro 8 - Características dos métodos de equilíbrio limite

Método	Equilíbrio de Momentos	Equilíbrio de Forças Horizontais	Força Normal entre Fatias (E)	Força Cisalhante entre Fatias (X)
Bishop	Sim	Não	Sim	Não
Jambu	Não	Sim	Sim	Não
Spencer	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Adaptado de KRAHN, 2003

As análises foram realizadas em modelo bidimensional, cada um em sua condição natural e saturada. Para isso, foram informados como dados de entrada relacionados ao perfil estudado e considerações de análise:

- Geometria do perfil;
- Definição das propriedades dos materiais conforme o modelo Mohr-Coulomb: peso específico, coesão e ângulo de atrito;
- Sobrecargas aplicadas.

Os dados sobre as considerações de análise (KeyIn Analyses) influenciam diretamente na precisão do resultado, estando ligados ao funcionamento e condições do software, que funciona por processo iterativo. Pode-se observar as considerações adotadas no Quadro 9.

Com as informações necessárias, o GeoStudio 2012 - Slope/W retorna o fator de segurança crítico associado ao perfil. Entretanto, é necessário atentar que apesar de o Fator de Segurança ser o produto final da análise, é preciso observar outros resultados para validação da representatividade dos dados, como o gráfico do Fator de Segurança vs Lambda, Método do Equilíbrio Limite Generalizado, o diagrama de corpo livre de cada fatia e a variação deste a partir dos dados de entrada.

Quadro 9 – Considerações de análise (KeyIn Analyses) adotadas para análise no Slope/W

TIPO DE ANÁLISE	Bishop, Jambu e Spencer	
SUPERFÍCIE DE PESQUISA	Direção do Movimento	Da esquerda para a direita
	Técnica de Pesquisa	Entrada e saída
		Otimização da posição da superfície de ruptura.
Trinca de Tração	Sem trinca de tração	
DISTRIBUIÇÃO FS	Cálculo da distribuição do Fator de Segurança	Constante
AVANÇADO	Configurações Geométricas	Profundidade mínima da superfície de ruptura: 0,1 m
		Número de fatias: 50
	Considerações de Convergência para FS	Número máximo de iterações: 100
		Diferença aceitável no FS: 0,001
	Configurações da solução	Método de busca: Root Finder
		Diferença tolerável entre o FS inicial e o convergido: 3
		Número máximo de iterações para cálculo do lambda convergido: 20
	Lambda máximo absoluto: 2	

Fonte: Autoria Própria, 2019

3.3 PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO

Após realizada a análise do objeto de estudo, foram propostas soluções que solucionem o risco instalado na encosta, obedecendo os requisitos da NBR 11.682 - Estabilidade de Encostas (ABNT, 2009). É importante frisar que, na maioria dos casos apresentados em literatura, as soluções de estabilização são compostas por obras combinadas às ações estruturais, como drenagem e proteção superficial.

As intervenções propostas acentuam, além do cunho técnico, um foco social, de forma a melhorar as condições da população que habita na área do objeto de estudo. Logo, foi enfatizada a tentativa de redução do número de famílias reassentadas para implantação destas soluções. Para a escolha da solução com melhor viabilidade técnica e social, foram observados os seguintes aspectos:

- Grau de segurança necessário ao local;
- Viabilidade construtiva;

- Impacto sobre o tráfego da região durante a fase de execução da medida estabilizadora;
- Impacto social sobre as famílias residentes na área.

3.4 ANÁLISE DA ESTABILIDADE COM ESTRUTURA DE CONTENÇÃO

Por fim, foi realizada a análise da estabilidade da encosta com a estrutura de contenção escolhida através do software GeoStudio 2012 - Slope/W. Para o sistema de solo grampeado, foram definidas as configurações dos grampos através dos seguintes parâmetros: comprimento (L), ângulo de inclinação do grampo com a horizontal (α) espaçamento vertical (S_V) e horizontal (S_H). Além disso, foi necessário a determinação dos parâmetros de resistência do solo, adesão solo-grampo (q_s) e resistência à tração admissível do chumbador ($R_{T,adm}$). Para análise no Slope/W, foram adotados que os esforços são divididos pelo FS calculado pelo próprio software (dependência do FS) a partir do método que apresentou melhor representatividade, conforme determinado na seção 3.2, e que os esforços dos grampos são distribuídos entre as fatias que interceptam os grampos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

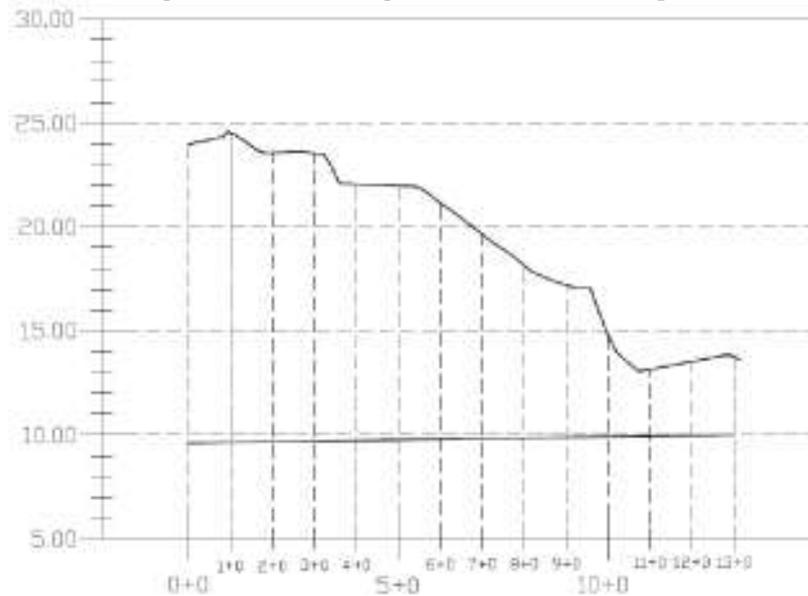
Foi delimitada como área de estudo todo o trecho do talude natural que margeia a comunidade Santa Clara. Conforme Barbosa (2015), apesar da topografia geral do município ser originalmente plana à suavemente ondulada, a urbanização potencializou o surgimento de áreas de risco a movimentos de massa através da modificação da topografia através do talude em estudo ser fruto de um corte da BR 230, e da ocupação espontânea que sobrecarrega a encosta.

A partir das curvas de nível disponibilizadas pela Diretoria de Geoprocessamento e Cadastro de João Pessoa e auxílio do software Civil 3D, da Autodesk, foi realizado o estaqueamento de 20 em 20 metros de toda a encosta ocupada pela comunidade, iniciado em seu limite oeste, usando como referência o sentido João Pessoa/Cabedelo da BR 230 - locada no pé do talude - resultando em um total de 33 estacas, como pode ser observado no Apêndice A. Comparando-o ao mapa de riscos da Figura 7, pode-se observar que o trecho que apresenta risco restringe-se, aproximadamente, à estaca 13 + 0, limitando dessa forma a área de estudo. Ainda através do software, foi traçado o perfil longitudinal da crista do talude, através da locação das casas que margeiam o talude. Com o perfil obtido e os pontos cotados próximos à rodovia, é possível descrever o talude em estudo quanto à sua geometria (Figura 18).

É importante frisar que o software Civil 3D não foi utilizado para a geração automática do perfil devido ao seu uso de interpolação TIN (Triangular Irregular Network), onde para o grau de precisão necessário, mais pontos deveriam ser incluídos nas áreas de maior complexidade, o que não é disponibilizado. Na Figura 19 pode ser observada a variação de perfil da estaca 4 + 0 realizada automaticamente pelo Civil 3D e manualmente.

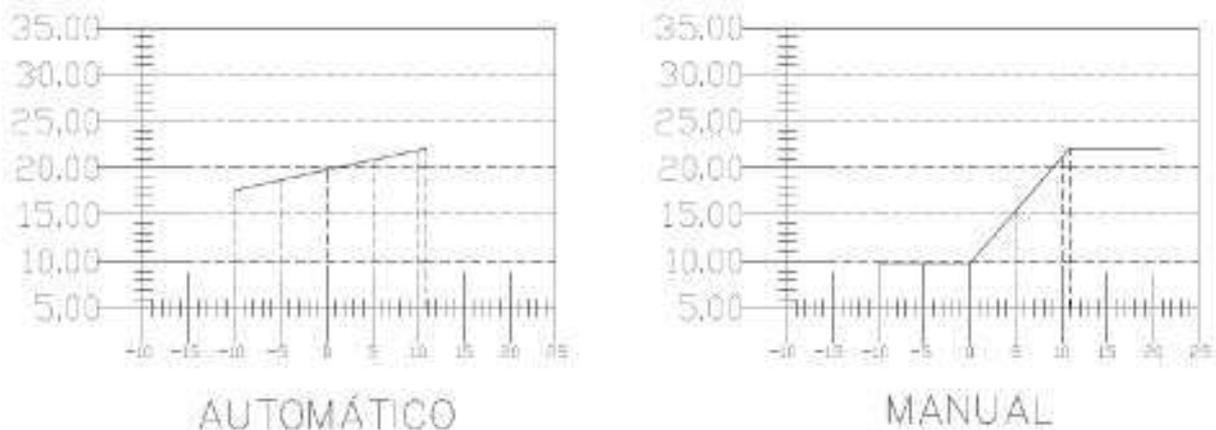
O DNIT (2013) apresenta dois ensaios de penetração tipo SPT no local de estudo, com localização ilustrada no Anexo A, e resultados do ensaio SPT nos Anexos B e C.

Figura 18 – Perfil longitudinal da encosta ocupada



Fonte: Aatoria Própria, 2018

Figura 19 – Perfil transversal da estaca 4 + 0 gerada automaticamente pelo Civil 3D e manualmente através dos pontos cotados



Fonte: Aatoria Própria, 2018

Pode ser observado em ambos os ensaios a presença de um aterro arenoso de profundidade entre 1 e 3 m, com valores de índice de resistência à penetração (N_{SPT}) variando de 1 a 8, refletindo a baixa resistência do solo. Os resultados indicam que o número de golpes é crescente em relação à profundidade, com furos SP 01 e SP 02 apresentando 28 e 19 golpes, respectivamente, ao fim do ensaio. Os tipos de solos apresentados na região são aterro arenoso, silte argilo-arenoso, silte areno-argiloso e silte arenoso, com N_{SPT} variando de 1 a 28 golpes. Os furos SP 01 e SP 02 apresentam valores iniciais baixos, inferiores a 10 golpes, até a profundidade de 7 e 6 metros, respectivamente. É observado na camada superior dos dois ensaios a presença de aterro arenoso de cor variegada, porém com valores de N_{SPT} apresentando diferenças de até 7 golpes.

O nível de água não foi identificado em nenhum dos ensaios. As sondagens foram realizadas no início de julho de 2013, meses de alta precipitação, tendo ocorrido precipitação nos dias do ensaio, 11 e 12 de julho de 2013, conforme apresentado no Quadro 10. Essa precipitação e a realização do ensaio em período chuvoso (Figura 10) reforça a não existência de nível de água na profundidade investigada no ensaio.

Quadro 10 – Precipitação diária nos dias do ensaio SPT

ESTAÇÃO	DATA	HORA DA MEDIÇÃO	PRECIPITAÇÃO (mm)
82798	11/07/2013	12:00	6,8
82798	12/07/2013	12:00	24
82798	13/07/2013	12:00	35,4

Fonte: Adaptado de INMET, 2019

Devido a não disponibilização da caracterização das camadas de solo em bases de dados acessíveis e a impossibilidade de realização dos ensaios de caracterização, foi utilizada a tabela apresentada por Joppert Jr (2007), que correlaciona o tipo de solo e o valor do SPT com seus parâmetros (Quadro 11).

Quadro 11 – Correlação entre N_{SPT} e parâmetros do solo

TIPO DE SOLO	FAIXA DE SPT	PESO ESPECÍFICO (g)		ÂNGULO DE ATRITO EFETIVO	COESÃO EFETIVA (tf/m^2)
		Natural (t/m^3)	Saturado (t/m^3)		
Areia pouco siltosa / pouco argilosa	0 - 4	1,7	1,8	25°	-
	5 - 8	1,8	1,9	30°	-
Silte arenoso pouco argiloso (residual)	5 - 8	1,8	1,9	25°	1,5
	9 - 18	1,9	2,0	26°	2,0

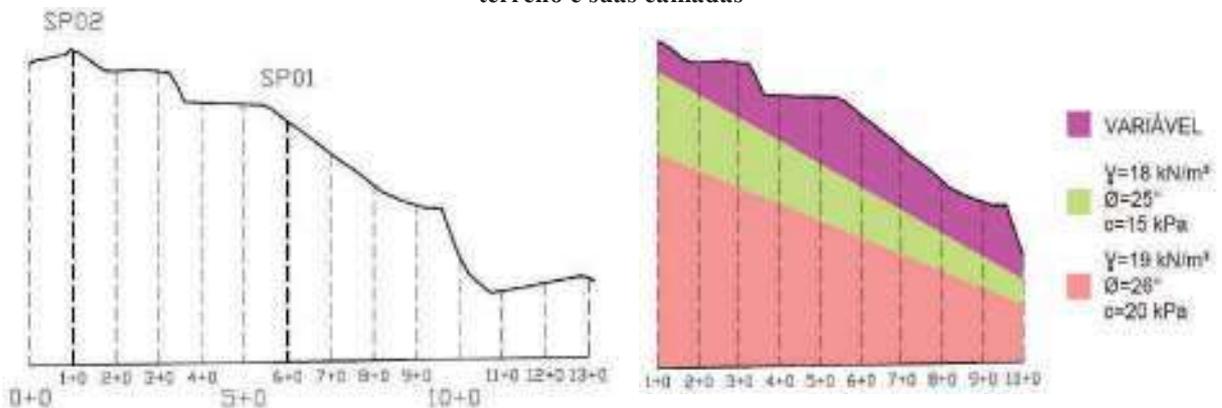
Fonte: Adaptado de JOPPERT JR, 2007

4.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DA ENCOSTA OCUPADA

Foram associados os dados topográficos e os ensaios tipo SPT para obtenção do comportamento das camadas de solo na encosta, onde SP 02 está localizado na estaca 1 + 0 e SP 01, na 6 + 0, inseridos na área de risco identificada. A locação dos ensaios quanto ao estaqueamento realizado pode ser observado na Figura 20a, onde para melhor visualização foi utilizada escala 1:10 na vertical e 1:1 na horizontal. Devido ao enfoque do trabalho, foram agrupadas as camadas que apresentaram mesmo peso específico, ângulo de atrito e coesão, de maneira a simplificar a representação.

Devido à limitação dos dados geotécnicos, o estudo foi restringido às estacas 1 + 0 a 10 + 0. Entretanto, ressalva-se que as estacas 11 + 0 a 13 + 0 apresentam menores alturas e menores ocorrências de movimentos de massa, não comprometendo o estudo em questão. Devido à variação no tipo de aterro, as características dos pontos desconhecidos foram associadas por proximidade aos pontos conhecidos. Logo, as estacas de 1 + 0 a 3 + 0 apresentam aterro similar ao SP 02, e as demais, ao SP 01. Na Figura 20b pode ser observado o perfil longitudinal do terreno e suas camadas.

Figura 20 – a. Localização dos ensaios tipo SPT quanto ao estaqueamento, b. Perfil longitudinal do terreno e suas camadas



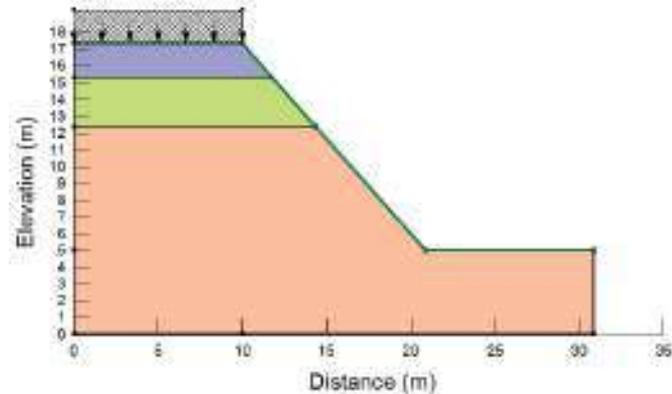
Fonte: Autoria Própria, 2019

A partir do perfil longitudinal exposto, foram realizados os perfis transversais das estacas, para então adquirir o Fator de Segurança (FS) em seu estado natural e saturado. A obtenção desses valores se deu com auxílio da ferramenta computacional GeoStudio: Slope/W.

Para a estimativa da sobrecarga de ocupação na crista do talude, foi utilizado o valor de 12 kN/m^2 referente ao índice médio de carga por área total de edifício. Esse valor é apresentado por Freire (2007) em sua dissertação, apontando que a carga total média de um edifício é aproximadamente igual a 12 kN/m^2 , independentemente de sua tipologia.

Realizou-se a análise dos resultados da estaca 4 + 0 (Figura 21), visto sua caracterização como estaca crítica a partir dos menores valores de FS apresentados, e os resultados das demais estacas poderão ser observados nos Apêndices de B a J. É importante ressaltar que a estaca crítica coincidiu com a região crítica apresentada no mapeamento de risco realizado pela CPRM (2013).

Figura 21 – Perfil transversal da situação crítica (estaca 4 + 0)

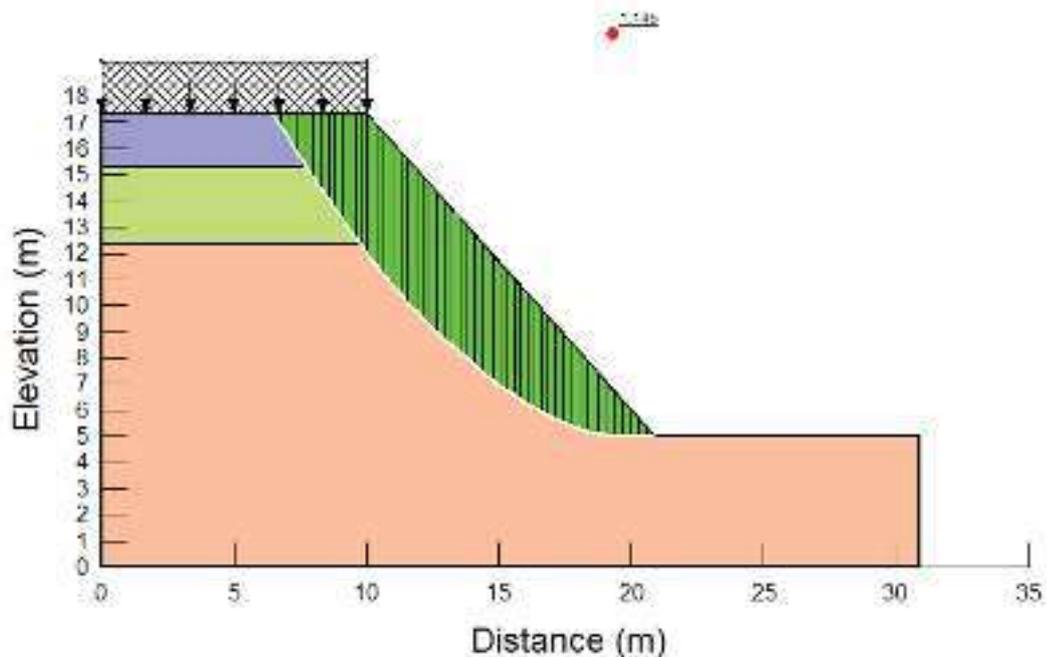


Fonte: Aatoria Própria, 2019

Na execução do programa, ajustou-se os pontos de entrada e saída de maneira que os resultados representem a situação de ruptura crítica, excluindo-se os escorregamentos rasos. Um desses ajustes se dá pela verificação do Erro 998, que acontece quando a superfície de ruptura se encontra fora dos limites de entrada e saída especificados. Os escorregamentos rasos foram desconsiderados porque sua solução está associada à proteção superficial do talude, enquanto nessa etapa é focada na estabilidade global da estrutura.

Realizando a análise com o Método de Bishop, tem-se a superfície de ruptura crítica mostrada na Figura 22.

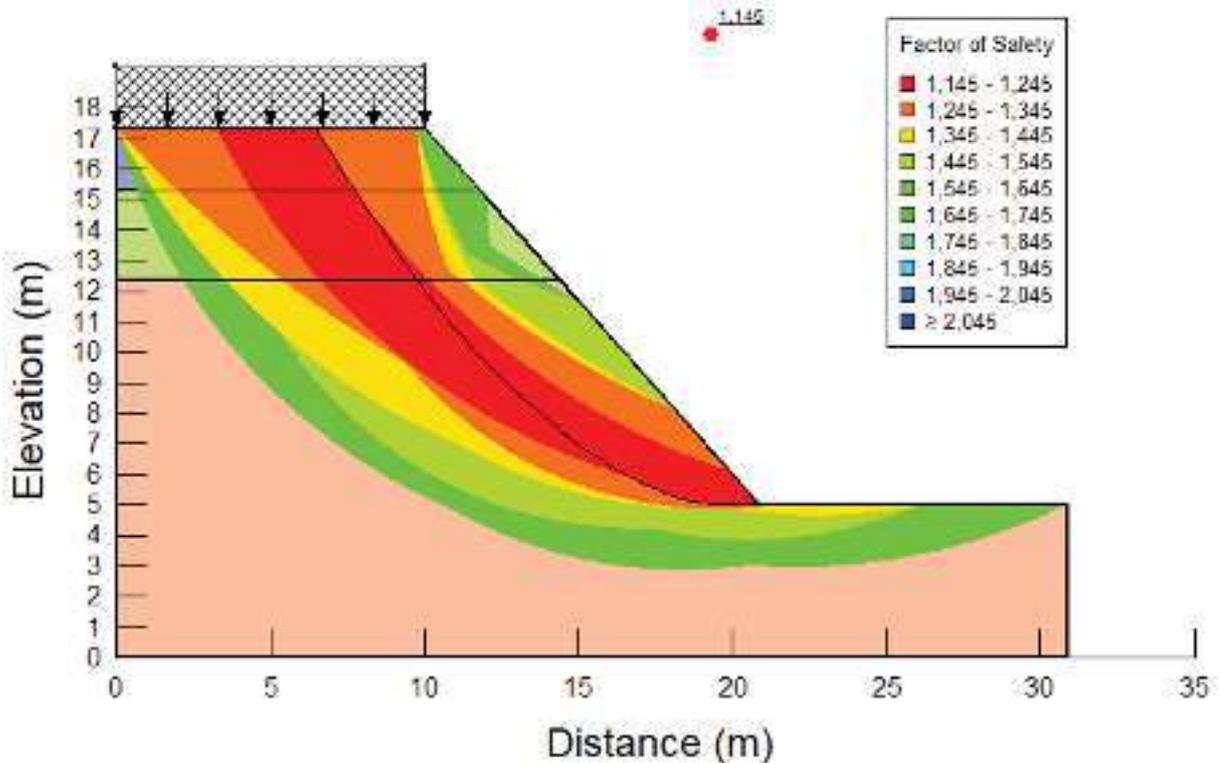
Figura 22 – Superfície de ruptura e fator de segurança críticos para o Método de Bishop



Fonte: Aatoria Própria, 2019

Utilizando o recurso de Slip Surface Color Map (Mapa Colorido da Superfície de Pesquisa), pode ser observado o comportamento dos valores de FS na Figura 23. Essa análise é importante para avaliar não uma geometria específica, mas uma zona onde superfícies de ruptura com FS similares acontecem. Logo, além do valor de FS igual a 1,145, pode ser observada uma zona significativa de instabilidade, colocando em risco de escorregamento até 10 metros antes da crista do talude, completamente ocupada.

Figura 23 – Slip Surface Color Map para o Método de Bishop

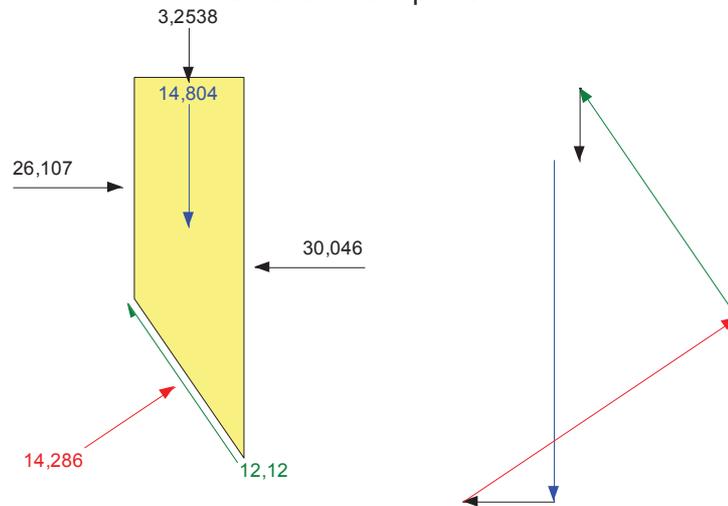


Fonte: Autoria Própria, 2019

A análise do diagrama de corpo livre e do polígono de forças é importante para verificação do equilíbrio das forças. Sabendo que a análise da estabilidade ocorre no equilíbrio estático, a resultante das forças deve ser igual a zero, fechando o polígono. O não fechamento significa que a fatia não está em equilíbrio estático, comprometendo os resultados.

Observando essas informações na Figura 24, tem-se que o polígono não está fechado, com erro considerável. Esse erro pode ser associado ao método de análise, que considera apenas o equilíbrio dos momentos e desconsidera certos esforços atuantes, como o atrito entre fatias.

Figura 24 – Diagrama de corpo livre e do polígono de forças da fatia 8 para o Método de Bishop
Slice 8 - Bishop Method



Fonte: SLOPE/W, 2012

O Quadro 12 apresenta os esforços resistentes e solicitantes associados ao talude obtidos pelo método de Bishop.

Quadro 12 – Esforços resistentes e solicitantes associados ao talude pelo Método de Bishop

Método	Bishop
Volume Total	52,018 m ³
Peso Total	967,84 kN
Momento Resistente	16.194 kNm
Momento Solicitante	14.145 kNm

Fonte: Autoria Própria, 2019

De maneira análoga para o método de Jambu, tem-se na Figura 25 a superfície de ruptura crítica e seu FS associado, e na Figura 26 o *Slip Surface Color Map*. O valor de FS menor do que o apresentado pelo método de Bishop reforça a importância das forças verticais e horizontais na estabilidade, refletido na instabilidade do talude.

Figura 25 – Superfície de ruptura e fator de segurança críticos para o Método de Jambu

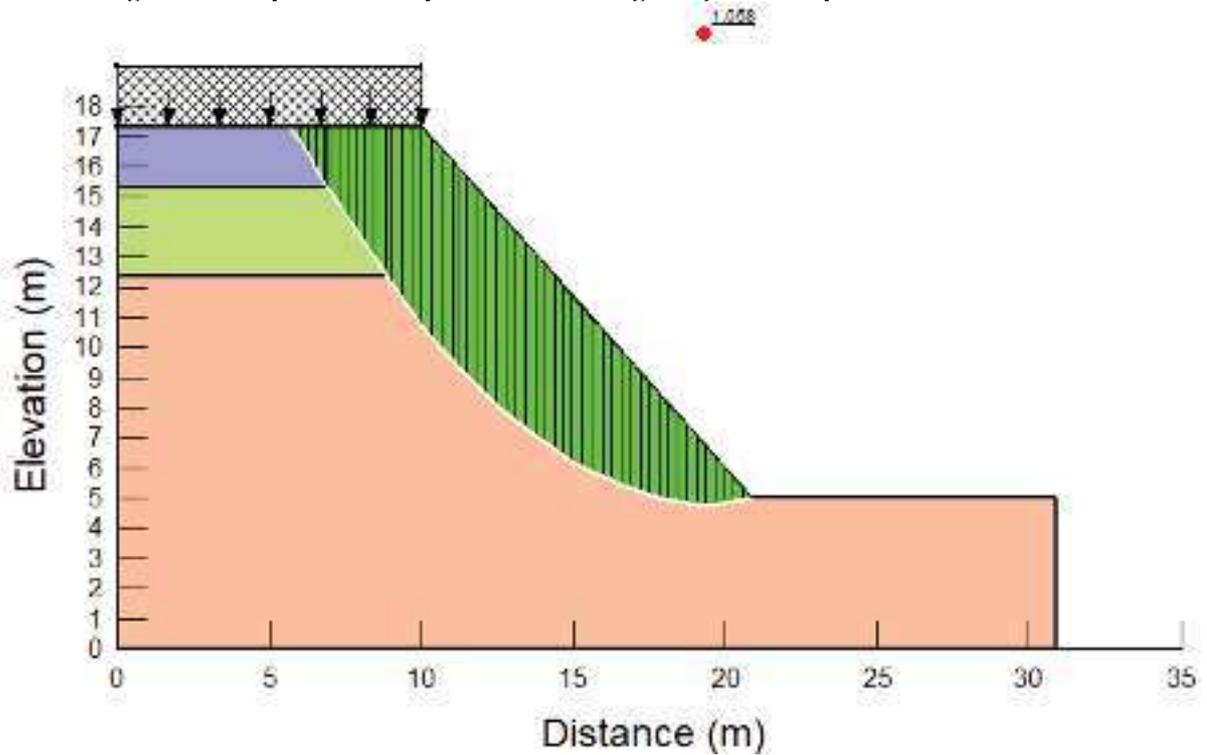
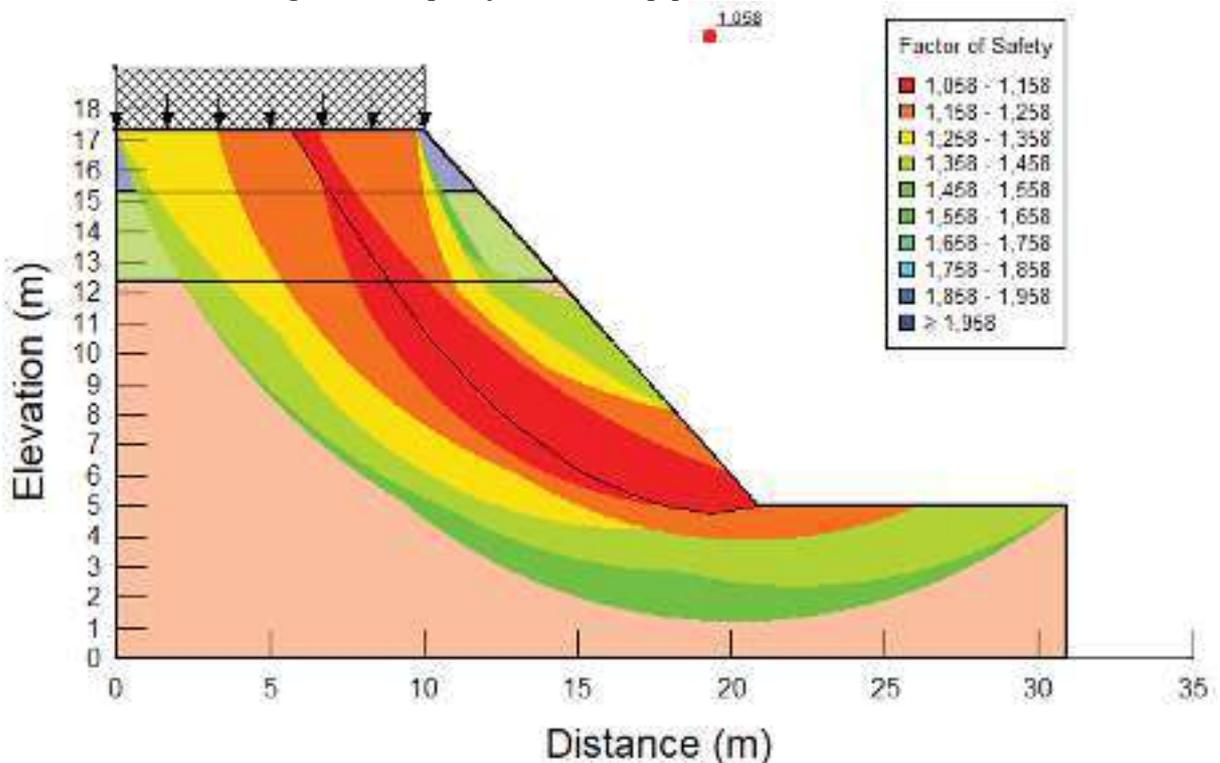
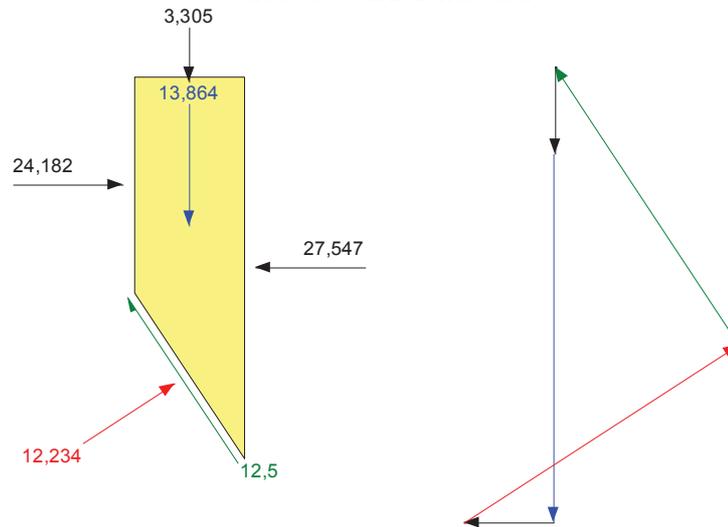


Figura 26 – Slip Surface Color Map para o Método de Jambu



Observando o diagrama de corpo livre e do polígono de forças na Figura 27, tem-se um melhor fechamento comparado à Figura 24, apresentando esse método como mais representativo. O Quadro 13 mostra os esforços resistentes e solicitantes associados ao talude obtidos pelo método de Jambu.

Figura 27 – Diagrama de corpo livre e do polígono de forças da fatia 8 para o Método de Jambu
Slice 8 - Janbu Method



Fonte: SLOPE/W, 2012

Quadro 13 – Esforços resistentes e solicitantes associados ao talude pelo Método de Jambu

Método	Jambu
Volume Total	64,431 m ³
Peso Total	1.199,5 kN
Força Resistente	652,86 kN
Força Solicitante	616,97 kN

Fonte: Autoria Própria, 2019

Para o método de Spencer, tem-se a superfície de ruptura crítica e seu FS associado (Figura 28), e o *Slip Surface Color Map* (Figura 29). Esse método apresenta o maior FS, porém é o que considera uma maior gama de ações, como observado no diagrama de corpo livre e no polígono de forças (Figura 30).

Figura 28 – Superfície de ruptura e fator de segurança críticos para o Método de Spencer

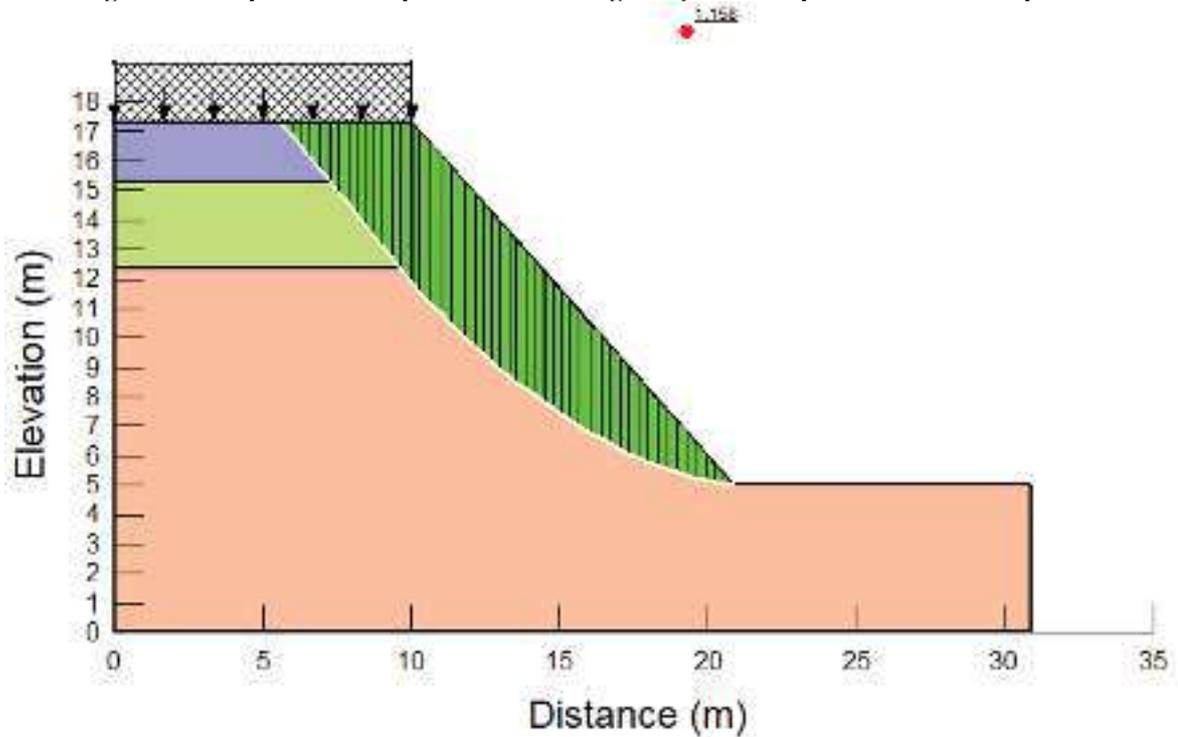


Figura 29 – Slip Surface Color Map para o Método de Spencer

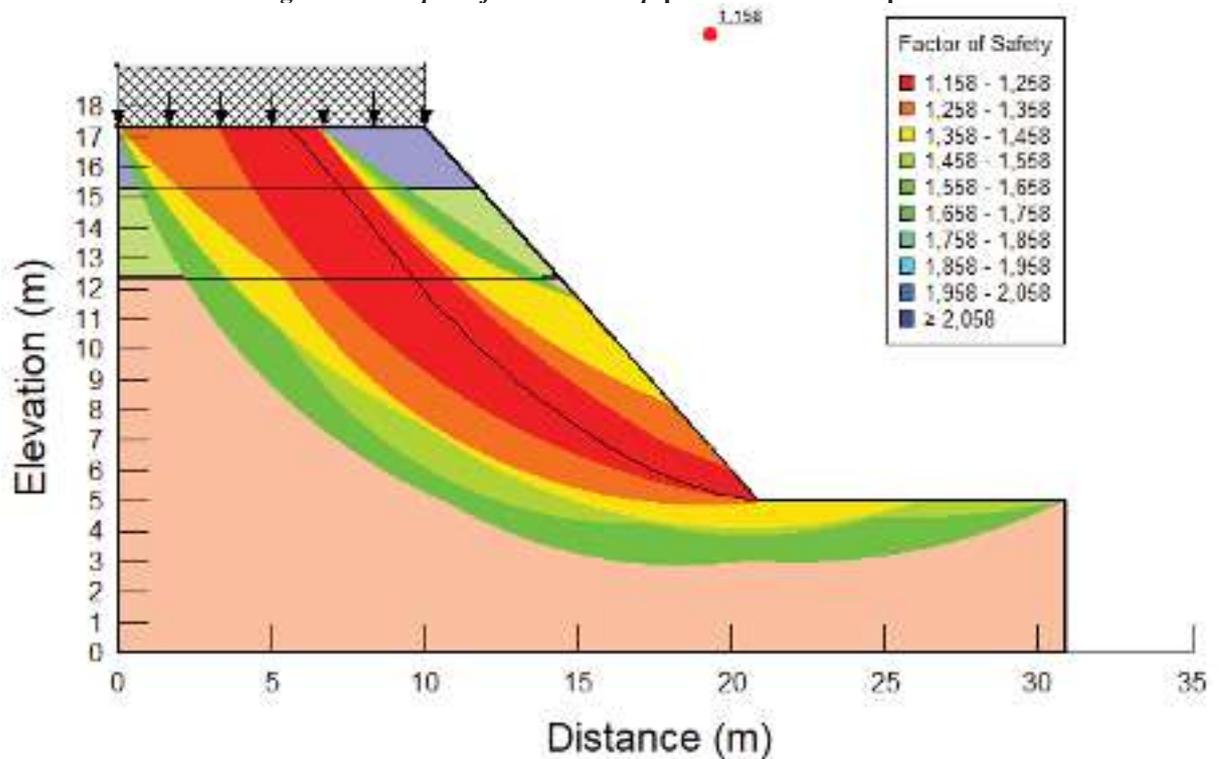
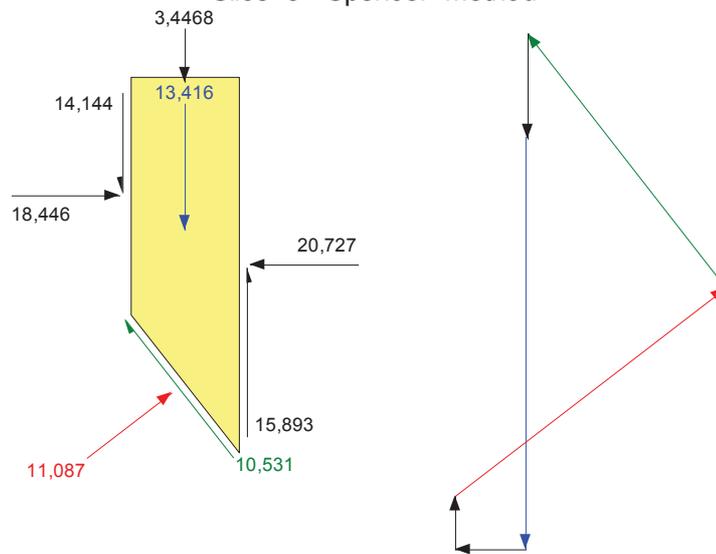


Figura 30 – Diagrama de corpo livre e do polígono de forças da fatia 8 para o Método de Spencer



Fonte: SLOPE/W, 2012

O Quadro 14 mostra os esforços resistentes e solicitantes associados ao talude pelo método de Spencer.

Quadro 14 – Esforços resistentes e solicitantes associados ao talude pelo Método de Spencer

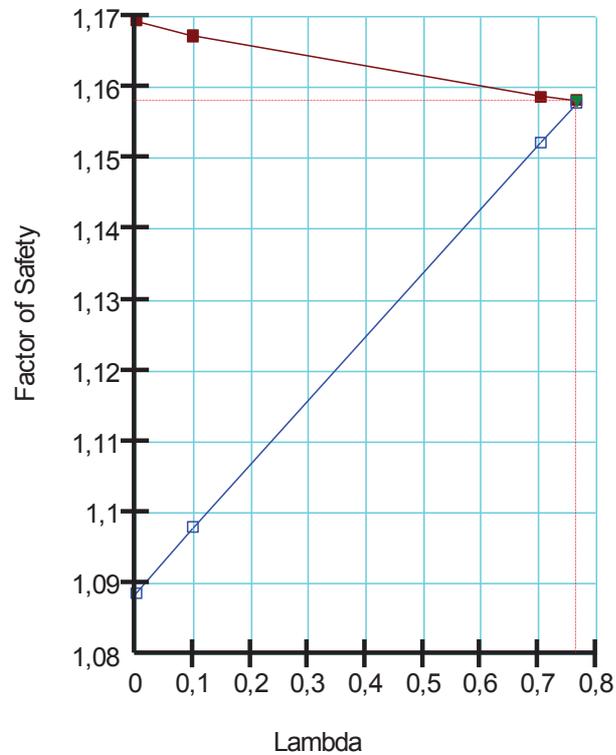
Método	Spencer
Volume Total	51,061 m ³
Peso Total	947,36 kN
Momento Resistente	15.863 kNm
Momento Solicitante	13.695 kNm
Força Resistente	567,45 kN
Força Solicitante	490,09 kN

Fonte: Autoria Própria, 2019

Observando o gráfico do Fator de Segurança vs. Lambda (Figura 31), podem ser observadas divergências entre os valores para lambda igual a zero e os obtidos pelos métodos de Bishop (curva vermelha) e Jambu (curva azul). Isso se dá devido ao uso da otimização da linha de ruptura, que consiste em dividir a superfície de ruptura obtida por um método tradicional em linhas retas, e mover sucessivamente esses pontos à procura de um FS menor. Quando comparados os valores com e sem a otimização para o Método de Bishop (Figura 22 e Figura 32), tem-se uma diferença numérica de 0,042. A partir do gráfico, podemos observar que utilizar métodos menos rigorosos como o de Bishop não significa estar sempre a favor da segurança, já que o Método de Spencer, mais rigoroso, apresentou um FS menor que o

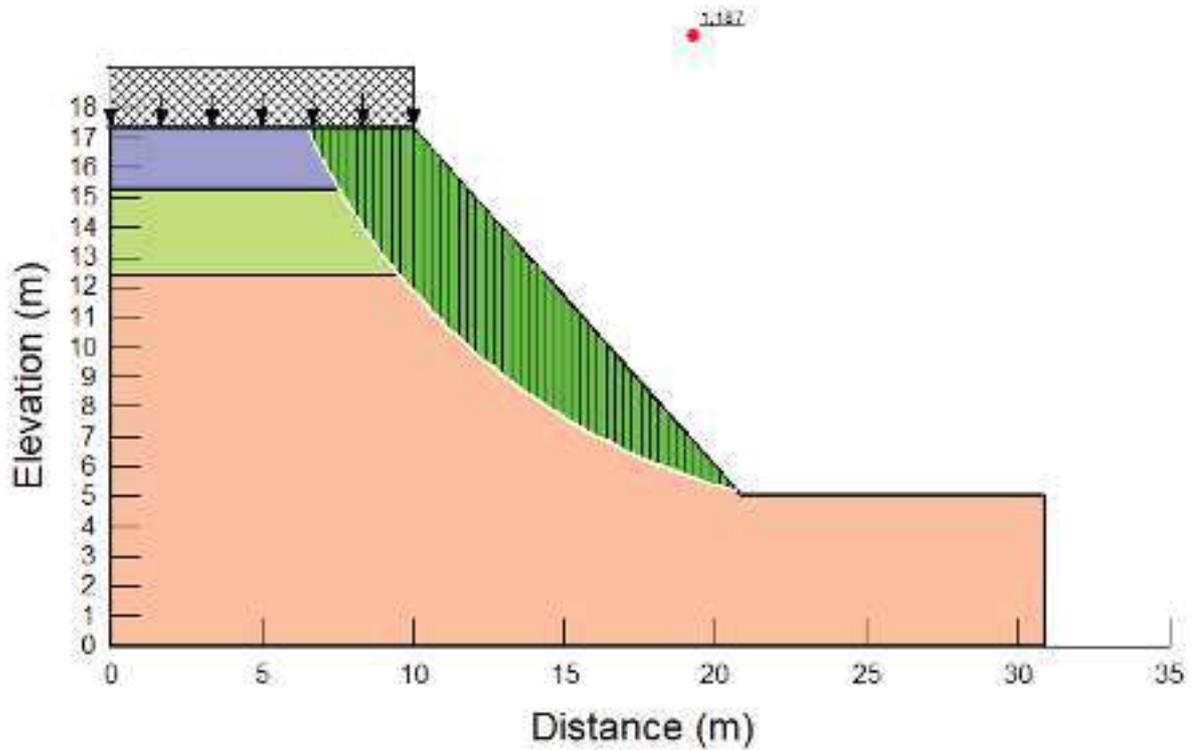
Método de Bishop. Além disso, é confirmado no caso em estudo como o Método de Jambu apresenta FS muito baixo para superfícies de rupturas circulares.

Figura 31 – Gráfico do Fator de Segurança vs Lambda



Fonte: SLOPE/W, 2012

Figura 32 – Superfície de ruptura crítica não otimizada para o Método de Bishop



Fonte: Autoria Própria, 2019

De maneira análoga ao apresentado, o perfil foi analisado para o caso saturado, com FS para cada método apresentado no Quadro 15, e comparado com os valores para o caso natural. A análise da estabilidade para o solo saturado teve como finalidade examinar o comportamento do talude na presença de chuvas. Através dos resultados obtidos, tem-se uma diminuição do FS da condição natural para a saturada em todos os casos, entretanto com pequenas variações.

Quadro 15 – Comparação entre os FS no estado natural e saturado para cada método

MÉTODO	FATOR DE SEGURANÇA	
	Natural	Saturado
Bishop	1,145	1,121
Jambu	1,058	1,040
Spencer	1,158	1,132

Fonte: Autoria Própria, 2019

Apesar das pequenas variações observadas, existem diversos elementos de uma precipitação que não são incluídos na análise, que variam desde o fluxo de água não drenada da comunidade até o poropressão negativa (sucção). O Quadro 16 apresenta um resumo dos Fatores de Segurança obtidos, com os menores valores destacados.

Quadro 16 – Resumo dos FS obtidos

ESTACA	FATOR DE SEGURANÇA					
	NATURAL			SATURADO		
	Bishop	Jambu	Spencer	Bishop	Jambu	Spencer
1 + 0	1,553	1,423	1,563	1,527	1,401	1,528
2 + 0	1,501	1,374	1,504	1,475	1,354	1,475
3 + 0	1,496	1,377	1,508	1,470	1,353	1,475
4 + 0	1,145	1,058	1,158	1,121	1,040	1,132
5 + 0	1,160	1,058	1,169	1,135	1,038	1,144
6 + 0	1,185	1,097	1,206	1,159	1,074	1,182
7 + 0	1,557	1,421	1,560	1,527	1,401	1,526
8 + 0	2,051	1,844	2,050	2,011	1,811	2,012
9 + 0	2,688	2,394	2,646	2,640	2,354	2,598
10 + 0	1,773	1,536	1,768	1,728	1,501	1,718

Fonte: Autoria Própria, 2019

A variação dos FS entre os métodos de Bishop e Jambu é um bom indicador de representatividade, visto que quando dois métodos apresentam o mesmo fator de segurança, mesmo apresentando diferentes considerações de distribuição de esforços internos, representa

que esse valor possui uma relativa insensibilidade à distribuição de forças internas (MORGENSTERN; PRICE, 1965).

Devido ao mau fechamento do polígono de forças, os valores de FS obtidos pelo Método de Bishop não foram considerados representativos, sendo descartados. Além disso, foi indicado pelo gráfico do Fator de Segurança vs. Lambda que os valores pelo Método de Jambu apresentam valores muito baixos, devido sua limitação para superfícies de ruptura circulares, como as do estudo em questão. Dessa forma, pelos FS do Método de Spencer, foi identificada a necessidade de intervenção no trecho de 3 + 0 a 7 + 0, que apresentam valores de FS abaixo do limite mínimo de 1,5 fixado pela NBR 11.682 (ABNT, 2009).

É importante frisar que, para todas as análises para o estado saturado, através do Método de Spencer, apresentou-se uma quantidade significativa de erros tipo 994. Esse erro ocorre quando há problemas de convergência ou quando os valores de lambda não são suficientes para haver interseção do FS por momentos e do FS pelas forças. Dessa maneira, não é possível afirmar se os valores de FS dos casos que apresentaram erro 994 teriam valores maiores ou menores do que o tido como crítico. Entretanto, salienta-se que o valor de FS dos casos saturados foram usados apenas para fins comparativos.

4.3 PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO

Foi identificada a presença de instabilidade no trecho de 3 + 0 a 7 + 0, tendo como seção crítica 4 + 0. Foram caracterizadas como agentes instabilizadores a sobrecarga de ocupação, caracterização geológica-geomorfológica do solo que apresenta baixos índices de resistência à penetração, geometria do talude com altas declividades e precipitações, onde a última é caracterizada pela correlação entre deslizamentos e ocorrência de chuvas (Figura 12), mesmo com a baixa variação do FS entre os casos saturado e natural (Quadro 16). Desta forma, é observada a necessidade de solução de estabilização nesse trecho, sendo imprescindível a presença de sistema de drenagem, devido a água ser um fator atuante na instabilidade da encosta, e de proteção superficial, devido a ocorrência de escorregamentos rasos. Devido sua declividade variar de 45° a 85°, a encosta em estudo é considerada como Área de Preservação Permanente, conforme a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Entretanto, em sua Seção II, lê-se:

Art. 8º A intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental previstas nesta Lei.

[...]

§ 3º É dispensada a autorização do órgão ambiental competente para a execução, em caráter de urgência, de atividades de segurança nacional e obras de interesse da defesa civil destinadas à prevenção e mitigação de acidentes em áreas urbanas (BRASIL, 2012).

Dessa forma, pelo caráter da solução em questão, é possível propor um sistema de contenção para estabilização da encosta ocupada sem ferir à legislação vigente. É notória a necessidade de remoção das casas enfileiradas na crista do talude do trecho crítico, devido os riscos ao qual estão submetidas as famílias que ali residem. O Plano Diretor de Reposição de Moradias e Reinstalação de Atividades Econômicas (PMJP, 2017) apresenta o plano de implantação de dois conjuntos habitacionais para abrigar população sujeita a relocação, dentre elas, o Conjunto Habitacional 2 do Complexo Beira Rio (CH2-CBR), apresenta reserva de unidades habitacionais para famílias de algumas comunidades interessadas na solução, em particular famílias da comunidade Santa Clara onde não existe terreno próximo disponível para construção de um conjunto habitacional.

O Plano analisa diversas comunidades em situação de risco, e estabelece a prioridade de implantação, estando a Comunidade Santa Clara em 4º lugar. Dentre os aspectos analisados, está a tendência de adesão à relocação das comunidades, onde a comunidade em estudo, apesar de não ter formalizado pedidos no orçamento participativo em 2014, não apresenta indícios de rejeição a realocação, conforme percepção e conhecimento técnico da Secretaria Municipal de Habitação (SEM HAB).

Realizadas a caracterização e análise do objeto de estudo, conforme recomendação da NBR 11.682 (ABNT, 2009), pode-se proceder o estudo das alternativas de projeto, as quais devem considerar:

- Acessos;
- Condições de operação de equipamentos;
- Disponibilidade de materiais;
- Local adequado para “bota-fora”, se for o caso;
- Dificuldades construtivas;
- Interferências com instalações existentes, enterradas ou não, e propriedades de terceiros;
- Implicações ambientais;
- Dificuldades de manutenção;
- Segurança de equipe/equipamentos envolvidos na construção;
- Custos;

- Prazos.

No caso em estudo, essas considerações tornam-se fundamentais ao funcionamento da solução, visto que o local apresenta inúmeras limitações construtivas. O Quadro 17 apresenta os principais tipos de obras de contenção de taludes que se mostraram inviáveis ao caso em estudo.

Quadro 17 – Obras de contenção e respectivas análises prévias de viabilidade

TIPO DE OBRA DE CONTENÇÃO	ANÁLISE PRÉVIA DE VIABILIDADE
Muros de gravidade (de pedra, gabião, concreto ciclópico, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Inviabilidade técnica para a altura do talude
Muro de concreto armado	<ul style="list-style-type: none"> • Propostas do DNIT (2013) dessa solução para outros trechos instáveis da BR 230; • Economicamente viável apenas para alturas até 4 m; • Retroaterro não atende aos requisitos construtivos pela alta faixa de desapropriação (laje base entre 40 a 70% da altura, limitada pela rodovia); • Alto volume de movimentação de terra, com traslado limitado pela rodovia de tráfego intenso.
Cortina atirantada	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo.
Retaludamento	<ul style="list-style-type: none"> • Alta quantidade de casas desapropriadas; • Alto volume de movimentação de terra.
Realocação da comunidade	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo; • Não é suficiente para estabilizar a encosta (Apêndice K).

Fonte: Autoria Própria, 2019

O solo grampeado é uma excelente alternativa para estabilização de taludes, já conhecida pelo seu uso em encostas ocupadas desordenadamente (SANTANA, 2006). Lima (2009) afirma que, com o uso do próprio maciço como elemento estrutural, os preços relativamente baixos dos grampos e uso de poucos tipos de equipamentos, a obra possui um bom custo-benefício. Além disso, devido sua construção simultânea, tem-se uma alta velocidade de execução, imprescindível para diminuição dos transtornos associados à interdição parcial da BR 230, que é possível devido aos equipamentos utilizados serem de pequeno porte, além de emitirem poucos ruídos, fator ideal para utilização em áreas urbanas. Porém, sua principal vantagem está associada à flexibilidade da técnica, que se adapta às diferentes geometrias do maciço, reduzindo o volume escavado e suportando melhor os recalques.

Além disso, a FHWA-NHI-14-007/2015 aponta que os solos do tipo silte argilosos e silte arenosos, como apresentados no caso em estudo, apresentam condições favoráveis para solo grampeado. Somado à ausência de nível de água, a precaução ao seu uso se deve apenas

à análise dos deslocamentos apresentados e presença de edificações sensíveis aos mesmos. A técnica é bastante empregada na cidade de João Pessoa, principalmente com uso de grampos injetados, existindo empresas locais que realizam obras do tipo.

Portanto, a técnica escolhida para estabilização do trecho crítico da encosta ocupada pela comunidade Santa Clara foi o solo grampeado com grampos injetados. No tópico 4.4 será apresentada a sua concepção e análise, realizado segundo a FHWA-NHI-14-007 (2015) – *Soil Nail Walls Reference Manual*, visto que não existem normas nacionais específicas sobre solo grampeado.

4.4 ANÁLISE DA ESTABILIDADE COM ESTRUTURA DE CONTENÇÃO

4.4.1 Configuração dos grampos

Foi utilizado um espaçamento vertical (S_V) igual a 1,5 m, espaçamento horizontal (S_H) igual a 2,0 m, o espaçamento entre a última fileira de grampos e o pé da escavação (S_{VN}) igual a 0,8 m e o espaçamento entre o ponto mais alto da escavação e a primeira fileira de grampos (S_{VO}) variando entre 1,0 e 1,5 m devido à irregularidade da altura da encosta. Essa irregularidade tornou necessário o uso de alguns espaçamentos S_{VO} maiores que os recomendados pela FWA-NHI-14-007 (2015), no valor de $S_{VO,máx} = 1$ m, porém não há o comprometimento da estrutura, visto que sua delimitação ocorre para reduzir a possibilidade de instabilidades durante a escavação e reduzir os efeitos de balanço da face temporária, o que não acontece no objeto de estudo por ser um talude já consolidado.

Além disso, o valor de S_{VO} foi adotado levando em consideração as possíveis obstruções subterrâneas, como a fundação das casas e tubulações hidrossanitárias. Deve ser observado através dos ensaios tipo SPT (Anexos B e C) que há presença de sumidouros à profundidades de 2,20 e 2,80 m, que serão soterrados sem causar problemas à população, visto que pertencem às áreas com sugestão de desapropriação. O valor de $S_H \times S_V$ é igual a 3,0 m², abaixo do limite máximo de 3,9 m² estabelecido pela FWA-NHI-14-007 (2015). A inclinação dos grampos adotada em relação à horizontal foi de 15°, valor geralmente empregado conforme FHWA-NHI-14-007 (2015). O perfil longitudinal da configuração dos grampos pode ser observado no Apêndice L.

4.4.2 Parâmetros adotados

O valor de adesão solo-grampo (q_s) foi obtido através do Método de Ortigão (1997) que correlaciona seu valor com o N_{SPT} a partir da equação 14:

$$q = L \cdot w_r \cdot E \cdot \gamma \cdot 0 \quad (14)$$

Apesar de intuitivamente querer-se utilizar a média dos N_{SPT} do perfil, deve ser observado o comportamento do ensaio atentamente. Através do Anexo B pode ser observado que a maior parte do SP 01 varia de 5 a 11 golpes, apresentando apenas em sua última camada um valor de 20 e 28 golpes. Enquanto a média de todos os valores é igual a 10, excluindo os valores excêntricos, tem-se um N_{SPT} de 8. Essa diferença pode ocorrer devido um matacão ou camada mais compactada, entretanto, independentemente de sua origem, causa distúrbio no valor que deve representar o perfil em sua totalidade. Já para o SP 02 (Anexo C), tem-se uma variação mais suave de valores, podendo ser utilizado a média de todos os N_{SPT} . Portanto, para a configuração de camadas do SP 01 e SP 02, respectivamente:

$$M_{E \ 45} \ L \ S \ S \ \# \ 2 = \quad (15)$$

$$M_{E \ 46} \ L \ S \ S \ \# \ 2 = \quad (16)$$

Foi adotada barra de aço CA-50 com diâmetro de 20 mm e furos com diâmetro de 100 mm, conforme valor mínimo para este diâmetro recomendado por Lima (2007). Logo, a resistência à tração admissível do chumbador ($R_{T,adm}$) é igual a expressa nas equações 17 e 18:

$$4 \cdot E \ L \ B \ H \ # \ , \quad (17)$$

$$4 \cdot E \ L \frac{w_r \ H \ S \ R}{S \ E \ W} \ H \frac{L \ H \ R \ E \ t}{V} \ L \ S \ U \ \# \ G \ 0 \quad (18)$$

Não foi considerada a resistência ao cisalhamento do chumbador, ação que vai a favor da segurança visto que este é um esforço resistente.

O comprimento dos grampos (L) pode ser fixo, variando de 0,8 H a 1,2 H para grampos perfurados (CLOUTERRE, 1991), ou variáveis, diminuindo o comprimento do topo para a base através de um coeficiente R . Desta maneira, foram adotadas diversas configurações e observado o comportamento do FS. Para L fixo, foram adotados as relações 0,8H, 0,9H e H (aproximadamente 10, 11 e 12 m, respectivamente). Para L variável, a FHWA-NHI-14-007 (2015) recomenda utilizar a metade superior dos grampos constante, enquanto na metade inferior seu comprimento é minorado no último grampo pelo coeficiente

R que varia conforme o tipo de solo, e os demais por interpolação. Para solos de granulação fina, tem-se que $0,30 \leq R \leq 0,45$. Logo, é apresentado no Quadro 18 as configurações adotadas. Pode ser observada a concordância dos parâmetros adotados com seus valores típicos em obras nacionais apresentados no Quadro 19.

Quadro 18 – Comprimento dos grampos variável

	GRAMPO	L = 10 m		L = 11 m		L = 12 m	
		R = 0,40	R = 0,45	R = 0,40	R = 0,45	R = 0,40	R = 0,45
FIXO	1	10,0	10,0	11,0	11,0	12,0	12,0
	2	10,0	10,0	11,0	11,0	12,0	12,0
	3	10,0	10,0	11,0	11,0	12,0	12,0
	4	10,0	10,0	11,0	11,0	12,0	12,0
VARIÁVEL	5	8,5	8,6	9,4	9,5	10,2	10,4
	6	7,0	7,3	7,7	8,0	8,4	8,7
	7	5,5	5,9	6,1	6,5	6,6	7,1
	8	4,0	4,5	4,4	5,0	4,8	5,4

Fonte: Autoria Própria, 2019

Quadro 19 – Parâmetros típicos de maciços grampeados em obras nacionais para areias e siltes

TIPO DE MATERIAL	TALUDE		GRAMPO					
	β	H	L	$\phi_{aço}$	ϕ_{furo}	α	S _H	S _V
	graus	m	m	mm	mm	graus	m	m
Areia Argilosa	90	9,7	5	20	-	-	1,5	1,5
	90	6	4	20	-	-	1,4	1
	90	12	8	20	-	-	1,2	1,2
Areia Siltosa	90	14	8	-	-	-	1,3	1,3
Media	90	10,4	6,3	20	-	-	1,3	1,2
Máximo	90	14	8	20	-	-	1,5	1,5
Mínimo	90	6	4	20	-	-	1,2	1
Silte Arenoso	75	12,5	3,6 a 7,0	20	75	15	2	1,5
	90	7,5	5	20	-	-	-	-
	90	6	4,0 a 6,0	13 a 20	-	-	1,3	1,3
	90	5,1	4	20	-	-	1,3	1,3
	90	11	7	20	-	-	-	-
	90	4	4	20	-	-	1	1
	90	7	6	25	-	-	1	1
Silte	90	6	4	20	-	-	1	2,1
	90	12	10	-	-	-	-	-
	60	7,0 a 16,0	6,0 a 10,0	25	75	30	1,5	1,5
Media	85	7,9	5,7	20	75	22,5	1,4	1,4
Máximo	90	12,5	10	25	75	30	2,1	2,1
Mínimo	60	4	4	20	75	15	1	1

Fonte: Adaptado de LIMA, 2007

Onde β = ângulo de inclinação do talude, L = comprimento do grampo, $\phi_{\text{aço}}$ = diâmetro da barra de aço, ϕ_{furo} = diâmetro do furo do grampo, α = inclinação do grampo com a horizontal, S_H = espaçamento horizontal entre grampos e S_V = espaçamento vertical entre grampos.

4.4.3 Análise da estabilidade

A FHWA-NHI-14-007 (2015) apresenta quatro tipos de análises de estabilidade: local, global, tombamento e deslizamento, sendo as duas últimas realizadas somente se aplicável; caso do estudo em questão, onde não há solo fofo na base do muro, nem camada de solo fraco horizontal ou sub-horizontal, logo não há necessidade de realização de análise de estabilidade para tombamento e deslizamento.

Na ruptura global a superfície não intercepta os grampos, sendo a contenção “levada”, enquanto na ruptura local a superfície intercepta os pontos de maiores tensões, arrancando ou rompendo os grampos. O Quadro 20 apresenta as soluções propostas e seus respectivos FS para o Método de Spencer, obtidos através do Slope/W. As superfícies de ruptura crítica de cada proposta se encontram no Apêndice M.

Quadro 20 – Resumo das análises realizadas e seus respectivos FS

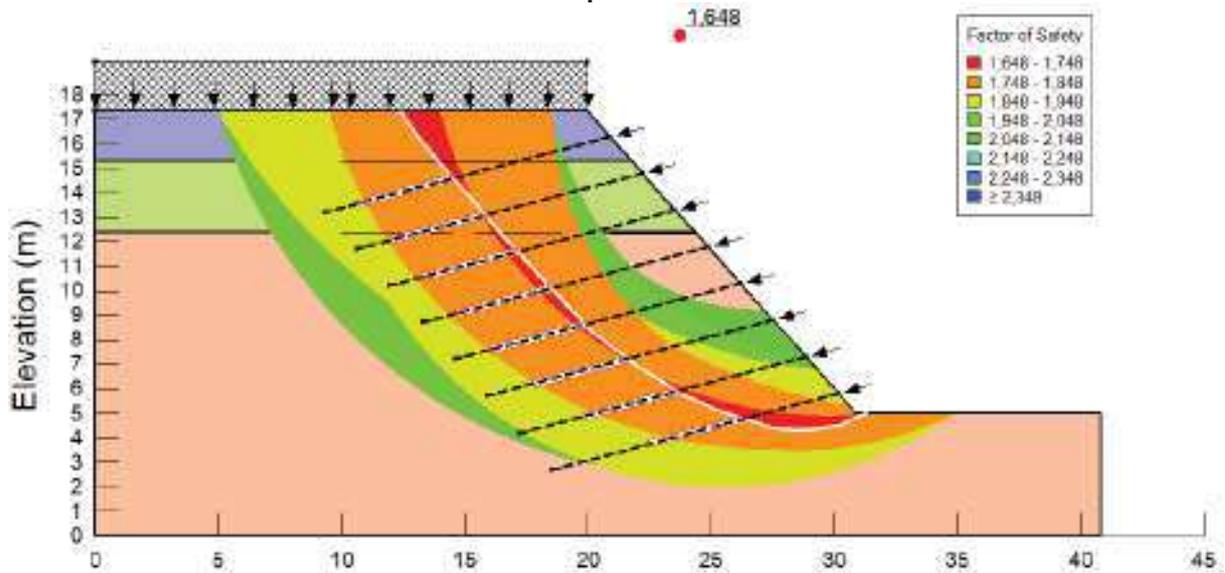
PROPOSTA	FS GLOBAL	DESCRIÇÃO
01	1,589	L constante igual a 10,0 m
02	1,644	L constante igual a 11,0 m
03	1,648	L constante igual a 12,0 m
04	1,422	L variando de 4,0 a 10,0 m
05	1,423	L variando de 4,5 a 10,0 m
06	1,466	L variando de 4,4 a 11,0 m
07	1,476	L variando de 5,0 a 11,0 m
08	1,464	L variando de 3,6 a 12,0 m
09	1,497	L variando de 4,8 a 12,0 m

Fonte: Autoria Própria, 2019

Apesar de as propostas 01, 02 e 03 apresentarem FS acima de 1,5, valor mínimo conforme NBR 11.682 (ABNT, 2009), é necessário analisar a configuração dos grampos quanto à superfície de ruptura. Os esforços resistentes em cada grampo são proporcionais ao comprimento do mesmo após a superfície de ruptura. Isso significa que, por exemplo, na Proposta 06 (Apêndice M), os dois últimos grampos, que estão completamente dentro da

superfície de ruptura, apresentam resistência ao arrancamento igual a zero. Dessa forma, grampos nessa condição não estão cumprindo sua função de estabilizar a zona ativa (instável) à zona passiva (estável). Analisando essa condição, tem-se que a configuração de grampos que apresenta melhor comportamento é a Proposta 03, com comprimento constante igual a 12 m e superfície de ruptura crítica exposto na Figura 33.

Figura 33 – Superfície de ruptura crítica da estrutura de contenção com solo grampeado conforme Proposta 03.



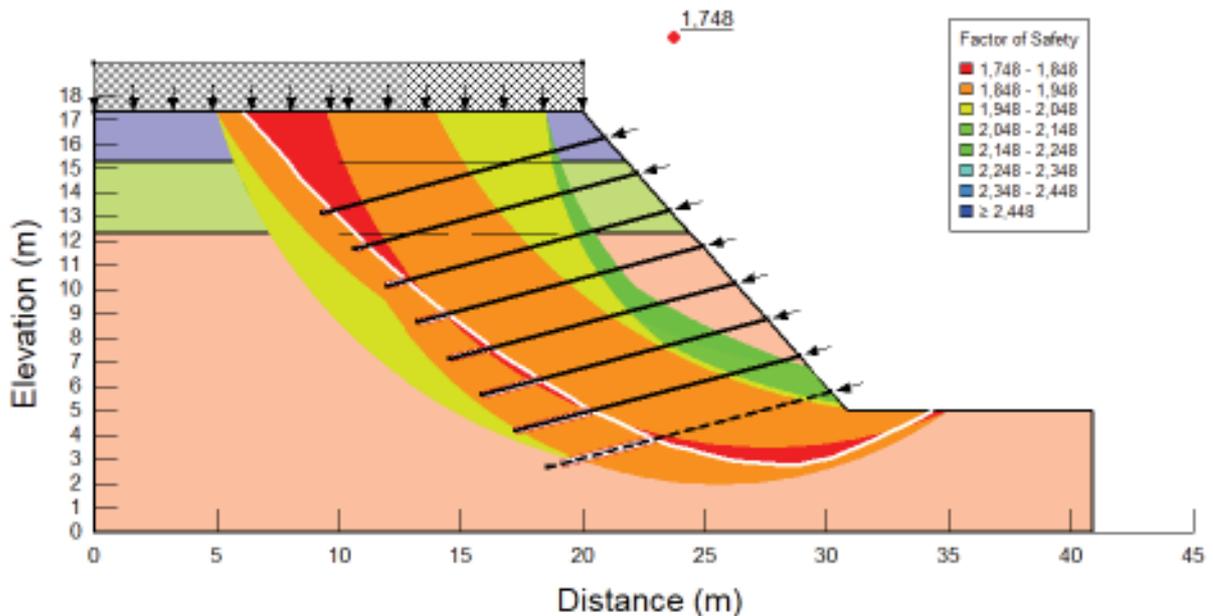
É importante frisar que realizaram-se análises para $S_H = 1,5$ m, visto que a FHWA-NHI-14-007 (2015) apresenta que o uso de S_V e S_H iguais tem como finalidade facilitar a execução e controle da obra. Entretanto, apesar de os FS serem maiores, como observado no Quadro 21, a configuração dos grampos quanto às superfícies de ruptura não foram satisfatórias, como pode ser observado na Figura 34. No caso, pode-se observar que a superfície de ruptura crítica é do tipo local, apresentando como componente governante a ligação solo-grampo, relacionado à capacidade de arrancamento dos grampos (linha contínua), exceto no último, que apresenta a barra como componente governante, relacionado à resistência à tração da barra (linha tracejada).

Quadro 21 – Resumo das análises realizadas e seus respectivos FS para $S_H = S_V$

PROPOSTA	FS GLOBAL	DESCRIÇÃO
01'	1,610	L constante igual a 10,0 m
02'	1,681	L constante igual a 11,0 m
03'	1,748	L constante igual a 12,0 m
04'	1,445	L variando de 4,0 a 10,0 m
05'	1,451	L variando de 4,5 a 10,0 m
06'	1,503	L variando de 4,4 a 11,0 m
07'	1,505	L variando de 5,0 a 11,0 m
08'	1,528	L variando de 3,6 a 12,0 m
09'	1,545	L variando de 4,8 a 12,0 m

Fonte: Autoria Própria, 2019

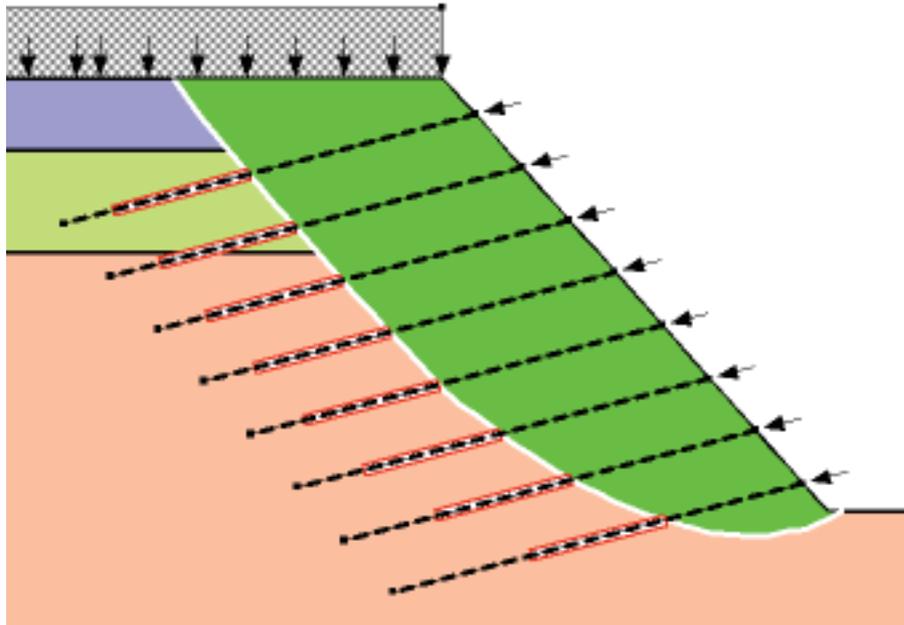
Figura 34 – Superfície de ruptura crítica da estrutura de contenção com solo grampeado conforme Proposta 03' com $S_H = S_V$.



Fonte: Autoria Própria, 2019

Pode ser observado que, mesmo com a diminuição da densidade de grampos, na Proposta 03 o comprimento após a linha de ruptura aumentou significativamente em todos os grampos, havendo uma margem de segurança entre o comprimento necessário e o disponível, que pode ser observado através do recurso visual do Slope/W, onde o comprimento do grampo que mobiliza a resistência ao arrancamento necessária é envolto por um retângulo vermelho, como pode ser observado na Figura 35. Conseqüentemente, o componente governante é a barra.

Figura 35 – Detalhe dos grampos da Proposta 03.



Fonte: Autoria Própria, 2019

Logo, a solução escolhida foi a Proposta 03, com $S_H = 2,0$ m, $S_V = 1,5$ m e $L = 12$ m. No Quadro 22 pode-se observar um resumo dos esforços resistentes e solicitantes associados à solução, onde pode ser analisado o reflexo do FS nos esforços resistentes e solicitantes do sistema. Enquanto isso, no Quadro 23 tem-se os valores de FS para demais estacas, comprovando a estabilização da encosta ocupada com o sistema de solo grampeado adotado. As superfícies de ruptura para demais estacas se encontram no Apêndice N.

Quadro 22 – Características da solução escolhida

Momento Resistente	42.094 kNm
Momento Solicitante	25.603 kNm
Força Resistente	2.051,5 kN
Força Solicitante	1.247,7 kN

Fonte: Autoria Própria, 2019

Quadro 23 – Valor de FS para demais estacas após intervenção

ESTACA	FS
3 + 0	1,808
5 + 0	1,680
6 + 0	1,742
7 + 0	2,132

Fonte: Autoria Própria, 2019

5 CONCLUSÃO

Através do presente estudo pode-se concluir que a encosta ocupada pela Comunidade Santa Clara, caracterizada geologicamente como Formação Barreiras, apresenta como principais agentes instabilizadores o solo de baixa resistência a penetração, a água, a sobrecarga da ocupação espontânea e a intervenção antrópica realizada na topografia original plana e ondulada da cidade que resultou nas altas declividades e elevações. A encosta ocupada já havia sido caracterizada como uma área de alto risco de deslizamento (CPRM, 2013), porém foi possível determinar o trecho crítico onde foi estudada a proposta de intervenção. Para isso foram realizadas análises pelos métodos de Bishop, Jambu e Spencer, resultando para o trecho entre as estacas 3 + 0 e 7 + 0 valores de FS abaixo do mínimo estabelecido pela NBR 11.682 (ABNT, 2009).

Foi apresentada como solução para a instabilidade um sistema de solo grampeado, visto sua adequação técnica, construtiva, econômica e social aos condicionantes do objeto de estudo. Após a realização de análises de estabilidade, foi adotada a configuração com espaçamento vertical (S_v) igual a 1,5 m, e espaçamento horizontal (S_H) igual a 2,0 m, inclinação dos grampos em relação à horizontal de 15° e comprimento dos grampos fixo igual a 12 m. Os valores de FS com a estrutura de contenção variam de 1,680 a 2,132, constatando a estabilização da encosta ocupada.

Como sugestões para futuras pesquisas, pode-se elencar o dimensionamento da estrutura de contenção em solo grampeado, a realização dos ensaios de caracterização geotécnica da encosta, a retroanálise da ruptura ocorrida e análise da influência da sucção na estabilidade.

REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M. M. *et al.* **Manual de ocupação dos morros da região metropolitana de Recife**. Programa Viva o Morro, Fundação de Desenvolvimento Municipal. Recife, 2003.

ALMEIDA, A. D. C. **Proposta para estabilização de talude na rodovia BR-230, KM 19**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682**. Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, ago. 2009.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. *In*: OLIVEIRA, A. M.S; BRITO, S. N. A. (Orgs.). **Geologia de engenharia**. 1ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

BARBOSA, Tamires Silva. **Geomorfologia urbana e mapeamento geomorfológico do município de João Pessoa–PB, Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa: UFPB, 2015.

BASTOS, I. G. **Estabilização de encostas através de drenagem profunda**: estudo de um caso de estabilização com túnel de drenagem. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BRASIL. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n°s 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. CPRM. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2002.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007.

CARVALHO, P. A. S. (Coord.). **Manual de geotecnia**: orientações para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

CLOUTERRE. **Recomendations Projet National Clouterre**, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Presses de l'ENPC, Paris, English Version, 1991.

CRAIG, R. F. **Craig's Soil Mechanics**. New York: Spon Press, 7 ed., 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA EM TRANSPORTES - DNIT. **Elaboração de projeto executivo de engenharia para melhoramentos em rodovias com adequação de capacidade e segurança da BR-230/PB**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/licitacoes/superintendencias/projetos-superintendencias-1/paraiba>>. Acesso em: 07 outubro 2018.

ECKEL, E. B. Introduction. In: **Landslides Investigation and Mitigation**. Special Report, 247. National Academ Press. Washington DC. 1958.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **FHWA-NHI-14-007** – Geotechnical Engineering Circular No. 7 – Soil Nail Walls – Reference Manual. Washington: Federal Highway Administration, 2015.

FELTOSA, Y. **Mais de 80 casas precisarão ser demolidas no Castelo Branco**. Paraíba, João Pessoa, 16 mai. 2017. Disponível em: < <http://www.paraiba.com.br/2017/05/16/56154-mais-de-80-casas-precisarao-ser-demolidas-no-castelo-branco-assista>>. Acesso em: 10 outubro 2018.

FERREIRA, J. L. F. **Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Janbu e Spencer**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto: FEUP: 2012.

FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (Org.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale Itajaí, 2009.

FREIRE, A. S. **Indicadores de projeto para edifícios em alvenaria estrutural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FREIRE, E. S. D. Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática. Revista Construção, Rio de Janeiro, 1965. In: MATTOS, K. C. A. **Processos de instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos: Estudo na rodovia Castello Branco (SP 280), Km 305 a 313**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da Folha João Pessoa 1:100.000**. 2007. 213 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo: USP, 2007.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESES, L. F. **Geomorfologia e tectônica da formação Barreiras no Estado da Paraíba**. Geologia USP Série Científica, São Paulo, v. 6, n. 2, 2006.

GALO, D. B. **Análise de riscos de barragens de rejeitos com o uso de técnicas semiprobabilísticas de estabilidade de taludes** – um estudo de caso. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador: UFBA, 2017.

GEO-SLOPE International Ltd. **Slope/W**. GeoSlope. 2012.

GEO-SLOPE International Ltd. **Stability Modeling with GeoStudio**. GeoSlope. 2019.

GOOGLE (2018). **Google Earth Pro**. Versão 7.3.2. Google Inc., 2018. Disponível em: <<http://earth.google.com>>. Acesso em: 10 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

JOPPERT JR, I. **Fundações e contenções de edifícios**: qualidade total na gestão do projeto e execução. São Paulo: Editora Pini, 1 ed., 2007.

KELLER, E. A. Introduction to environmental geology. Pearson Education, 2012. *In*: FONSECA, J. A. C. **Riscos associados à instabilidade de taludes**: proposta de metodologia de abordagem a partir da análise comparada de diversos PDMs. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2014.

KRAHN, J. **The 2001 R.M. Hardy Lecture**: The limits of limit equilibrium analyses. Canadian Geotechnical Journal, vol. 40, p. 643-660, 2003.

LEMOS, C. A. M. *et al.* **Caldas, argamassas e betões**. Caldas de cimento: Aplicações, composição e caracterização. 2014.

LIMA, A. P. **Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss**. 2007. 431 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2007.

LIMA, J. M. F. **Análise de Resistência ao Cisalhamento de Interface em Caldas de Cimento e Caldas de Solo-Cimento para utilização em solos grampeados**. 2009. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MASSAD, F. **Obras de terra**: curso básico de geotecnia. 2. ed. Oficina de textos, 2010.

MATTOS, K. C. A. **Processos de instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos**: Estudo na rodovia Castello Branco (SP 280), Km 305 a 313. 2009. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MEDEIROS, M. C. S.; SILVA JÚNIOR, J. B. **Estudo de caso da expansão do shopping Manaíra e comunidade São José sobre o rio Jaguaribe em João Pessoa-PB**. POLEM!CA, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 071-089, 2016. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/22903/16386>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

MORGENSTERN, N. R.; PRICE, V. E. **The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces**. Géotechnique, Vol. 15, n. 1, p. 79-93. 1965. DOI: 10.1680/geot.1965.15.1.79

OLIVEIRA, D. A.; MÉLO, T. C. **Considerações de projetos de estabilização de encostas em áreas de ocupação espontânea**: uma visão conjunta de engenharia e social. *In*: IV Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas. 2005. Salvador.

PEDROSO, E. O. **Estruturas de contenção reforçadas com geossintéticos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

- PIAZZA, G. A. *et al.* **Modelo de avaliação de obras de contenção de pequenos movimentos de massa.** Sustentabilidade em Debate. Brasília, v. 6, n. 1, 2015.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA – PMJP. **Diretoria de Geoprocessamento e Cadastro.** Disponível em: < <http://geo.joaopessoa.pb.gov.br/digeoc/htmls/>>. Acesso em: 24 outubro 2018.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA – PMJP. **Plano de Reassentamento e Relocalização de População e Atividades Econômicas.** Programa de Desenvolvimento Urbano Integrado e Sustentável do Município de João Pessoa. 2017.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA – PMJP. **Plano Diretor de Reposição de Moradias e Reinstalação de Atividades Econômicas.** Programa de Desenvolvimento Urbano Integrado e Sustentável do Município de João Pessoa. 2017.
- RODRIGUEZ, J. L. **Acumulação de capital e produção do espaço: a caso da Grande João Pessoa.** Editora Universitária/UFPB: João Pessoa, 1980.
- SANTANA, R. G. **Análise de soluções de engenharia para estabilização de encostas ocupadas na Região Metropolitana do Recife – PE.** Estudo de caso: Ruptura ocorrida em encosta com ocupação desordenada na UR 2, Ibura. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife: UFPE, 2006.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa.** Ministério de Minas e Energia, Departamento de Gestão Territorial DEGET. 2013. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19738>>. Acesso em 05 mar. 2019.
- SEYED-KOLBADI, S. M.; SADOOGHI-YAZDI, J; HARIRI-ARDEBILI, M. A. **An Improved Strength Reduction-Based Slope Stability Analysis.** Geosciences (Switzerland). DOI: 10.3390/geosciences9010055. 2019.
- SILVA, R. R. **Proposta para estabilização de uma encosta ocupada em Camaragibe – PE com a consideração de um tratamento global.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2010.
- SPOSATI, A. (Coord.). **Topografia Social da cidade de João Pessoa.** João Pessoa: PMJP, 2009. Disponível em: <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/TOPOGRAFIA-SOCIAL-DE-JOAO-PESSOA_2009.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP.** 2007. 213 f. Tese (doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, São Paulo: USP, 2007.
- VARNES, D. J. Slope Movement Types and Processes. *In*: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Ed.). **Special report 176: landslides: analysis and control.** Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1978.

WARD, W. H. The Stability of Natural Slopes. Geog. Jour., London, v. 105, n 5-6, 1945. *In: Landslides Investiation and Mitigation*. Special Report, 247. National Academ Press. Washington DC. 1958.

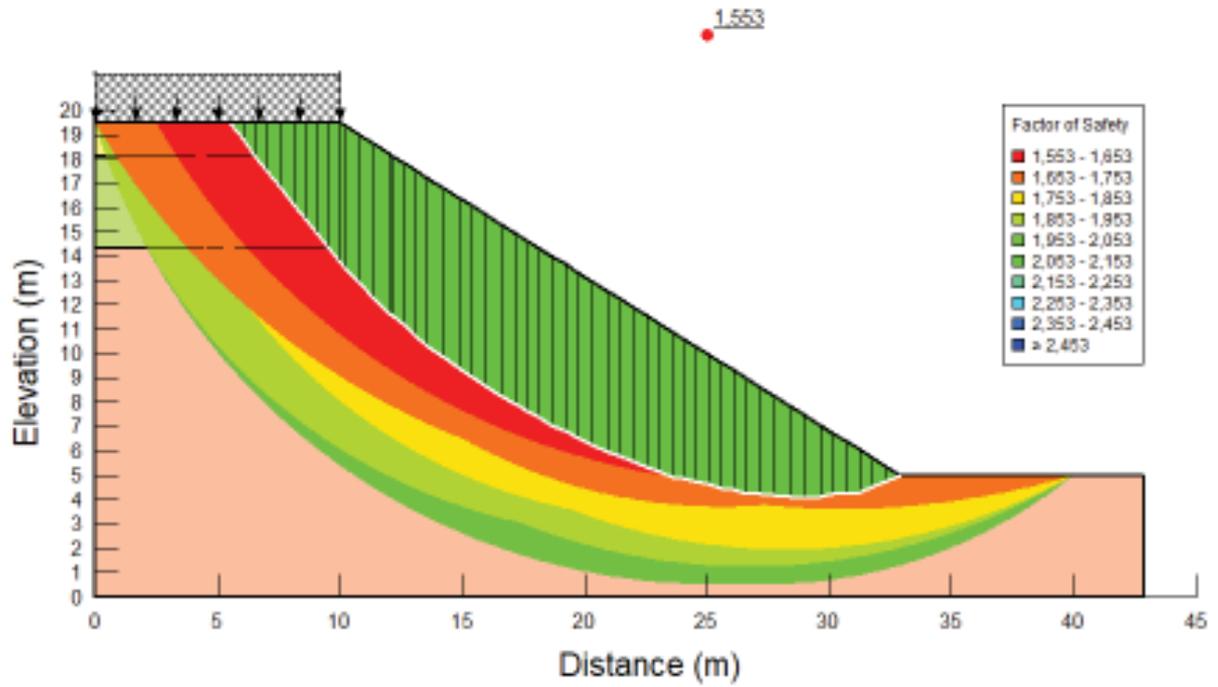
WOLLE, C. M. **Taludes naturais** – mecanismos de estabilização e critérios de segurança. 1972. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972.

ZHU, D. Y. Investigations on the accuracy of the simplified Bishop method. *In: Proceedings of the 10th International Symposium on Landslides and Engineered Slopes, China. 2008. In: FERREIRA, J. L. F. Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Janbu e Spencer*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto: FEUP: 2012.

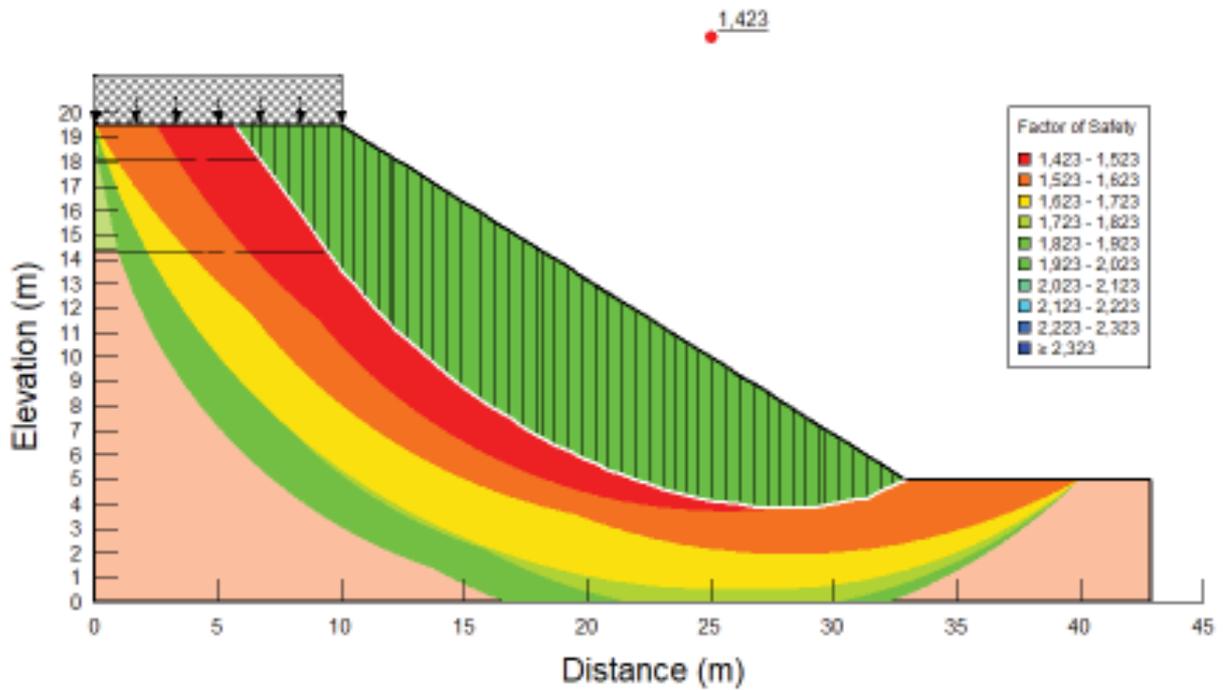
APÊNDICE A – ESTAQUEAMENTO



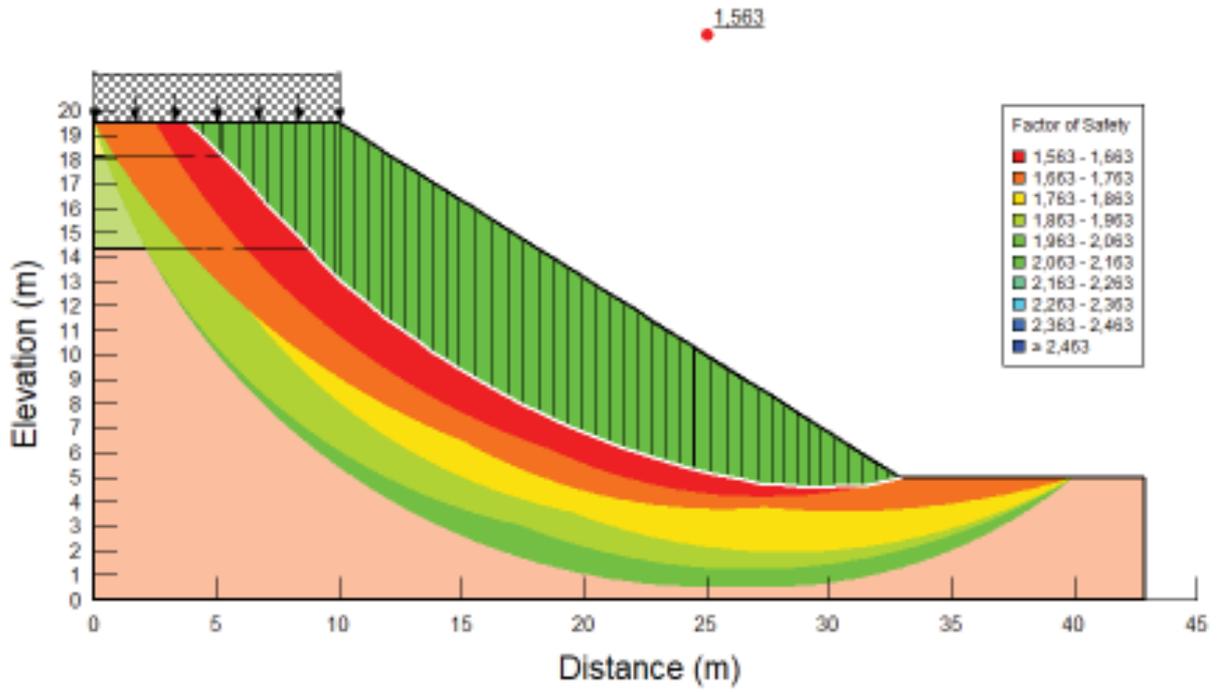
APÊNDICE B – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 1 + 0



Método de Bishop

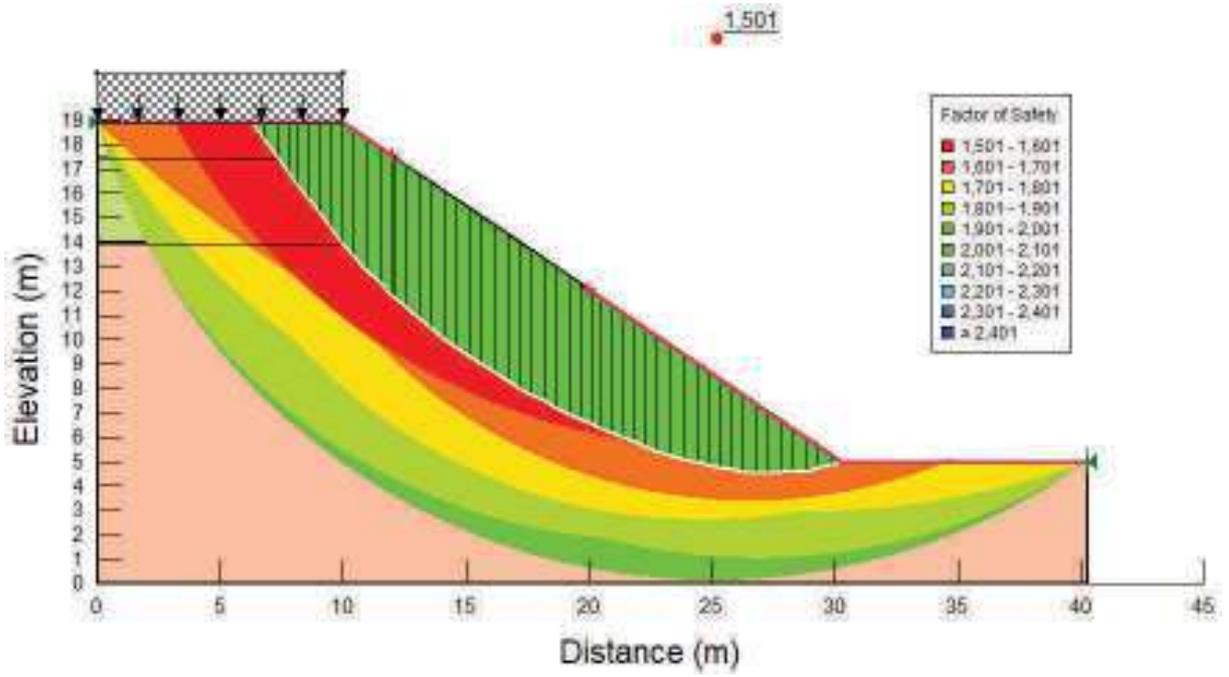


Método de Jambu

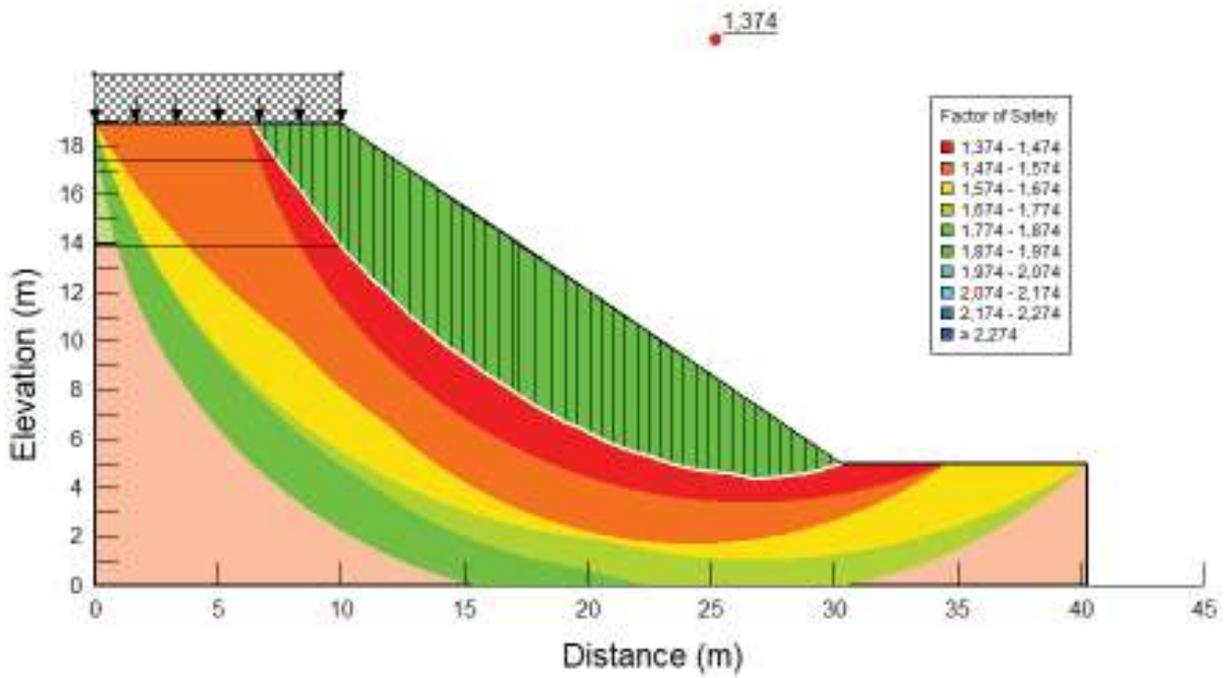


Método de Spencer

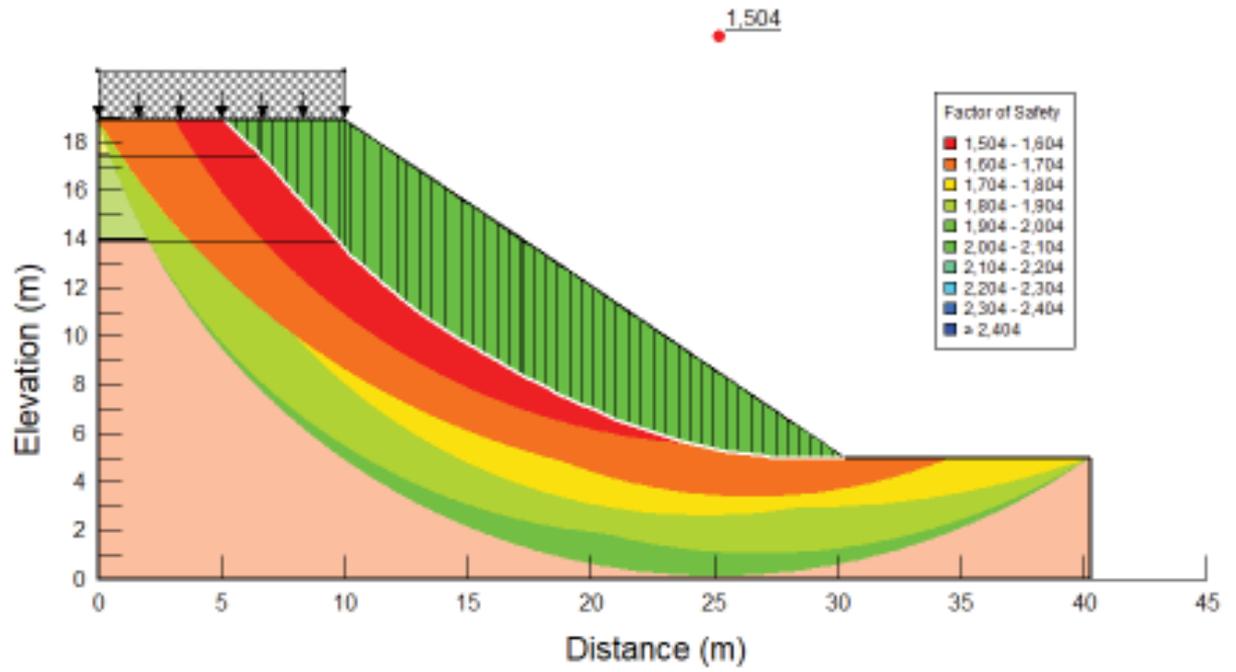
APÊNDICE C – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 2 + 0



Método de Bishop

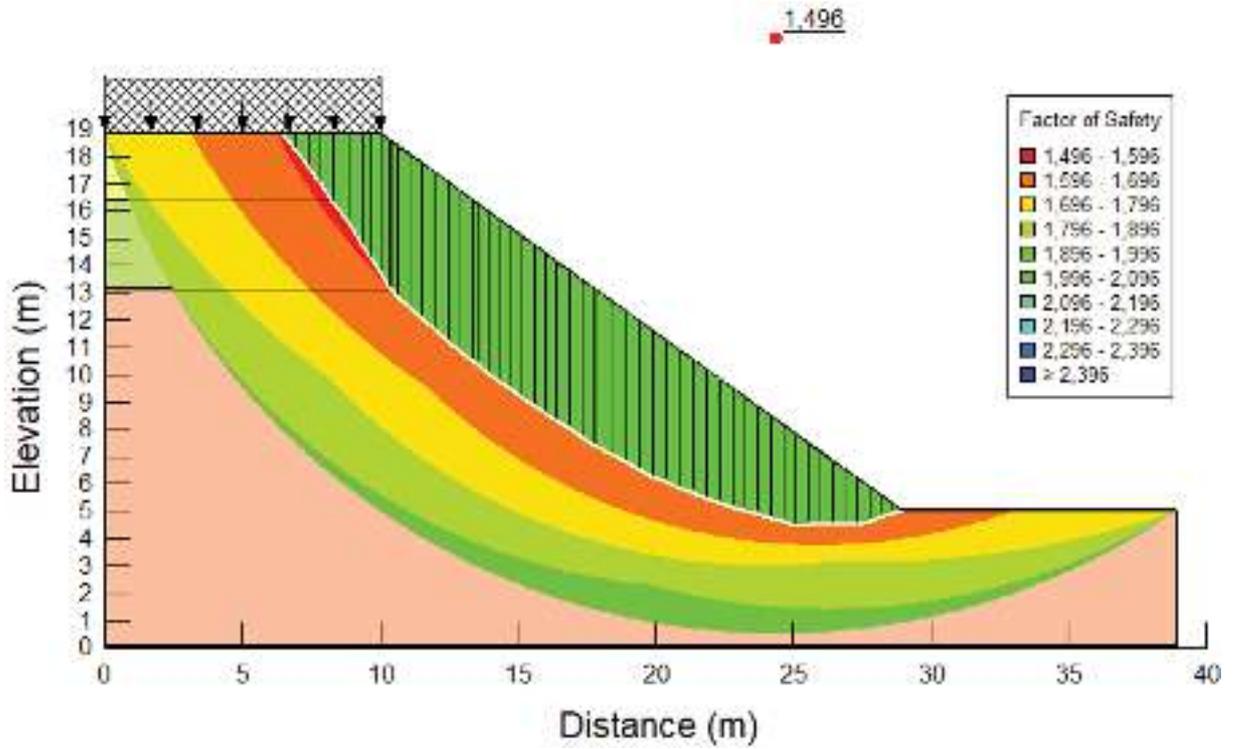


Método de Jambu

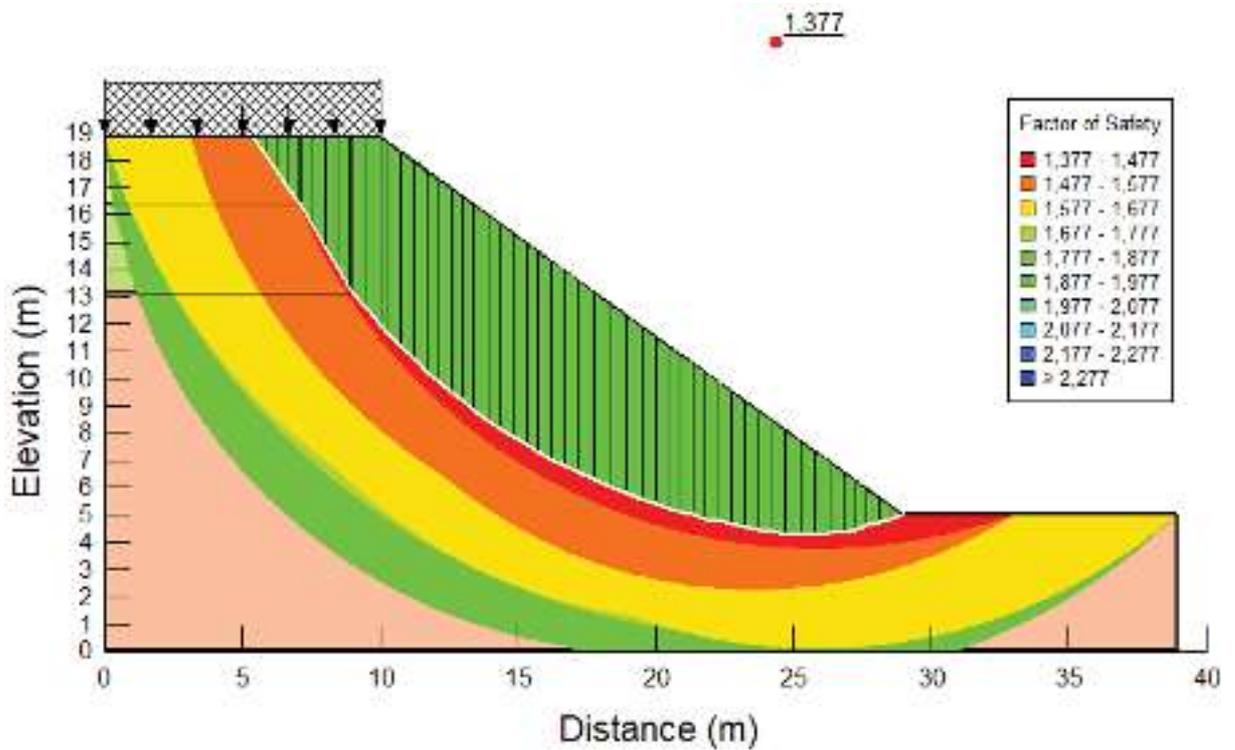


Método de Spencer

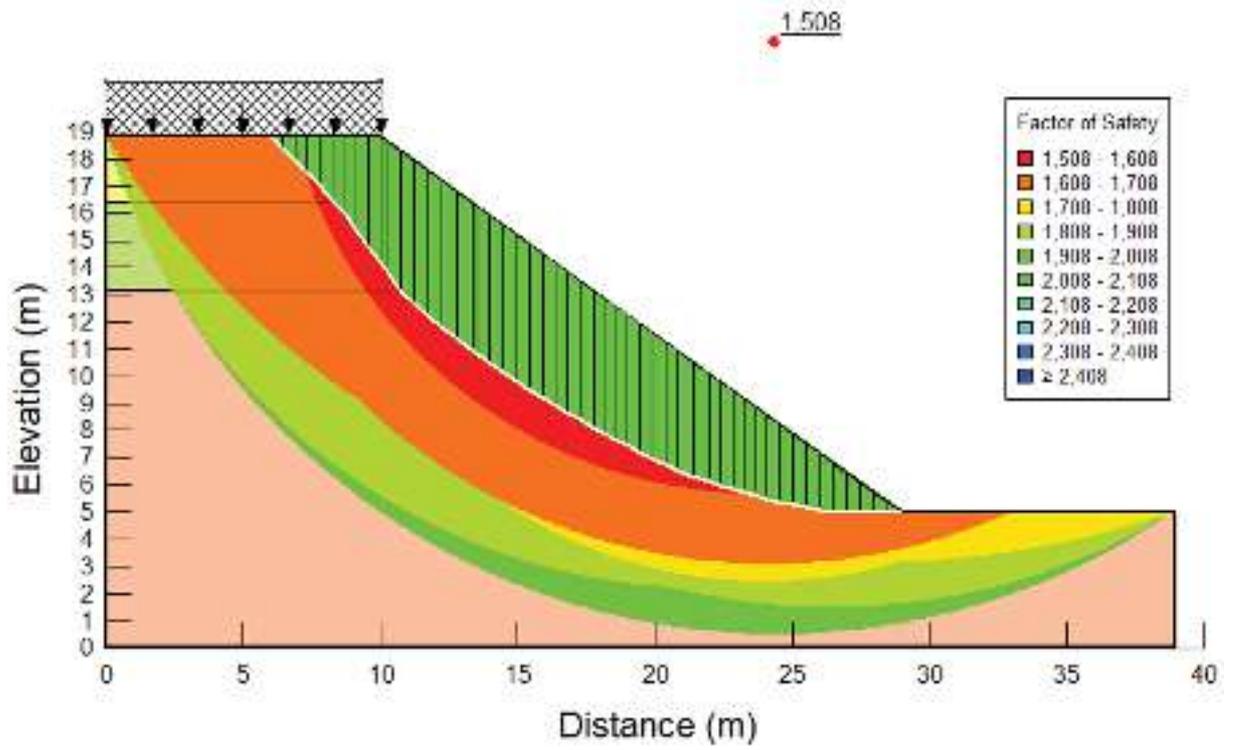
APÊNDICE D – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 3 + 0



Método de Bishop

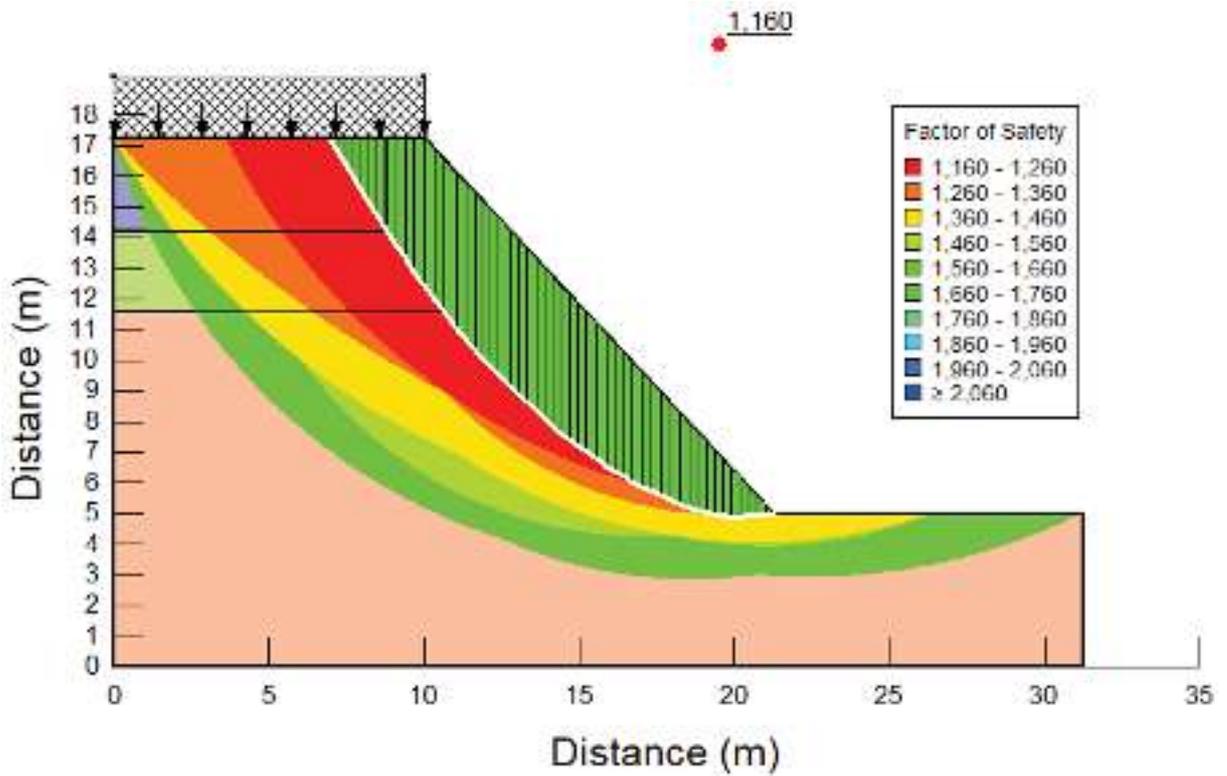


Método de Jambu

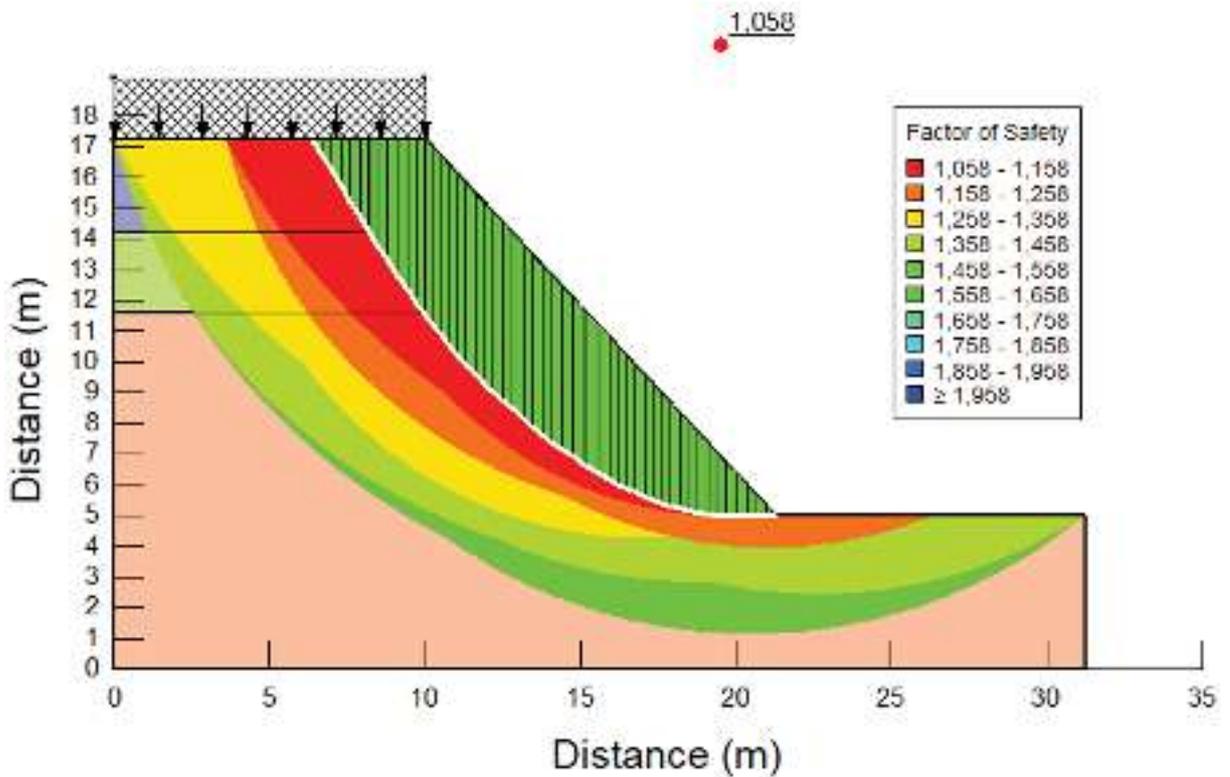


Método de Spencer

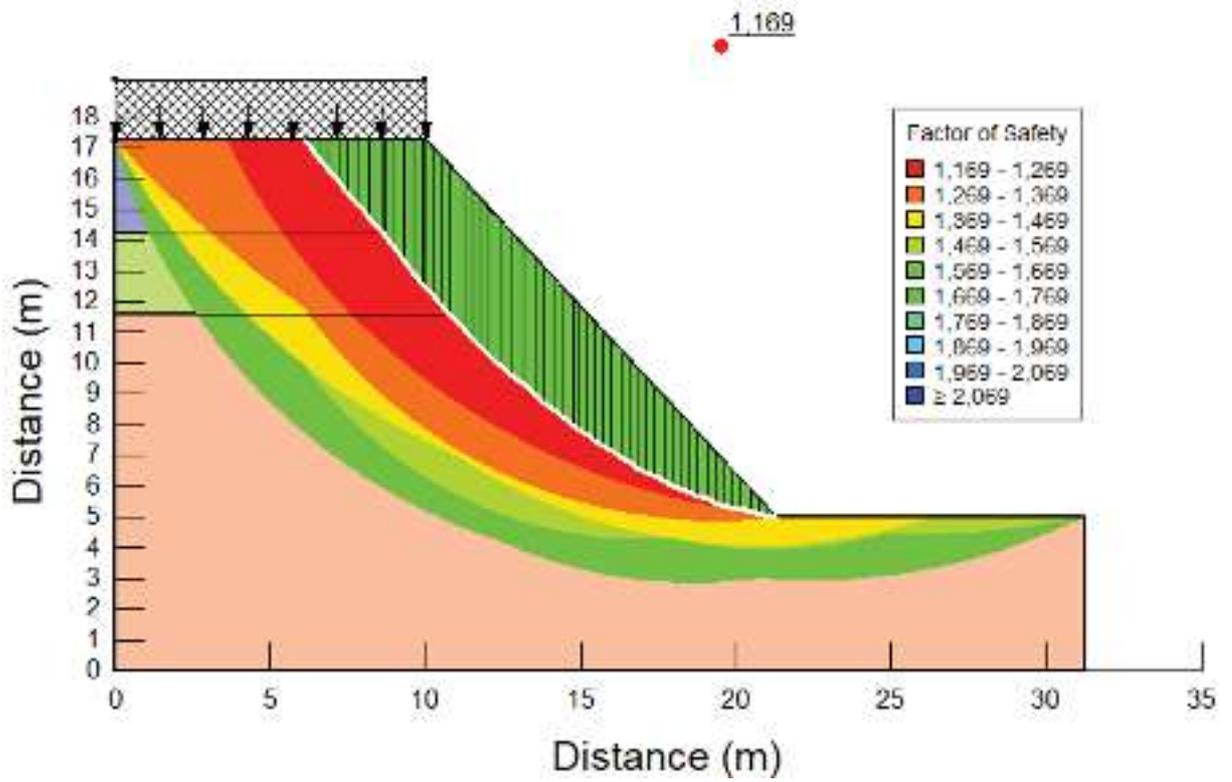
APÊNDICE E – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 5 + 0



Método de Bishop

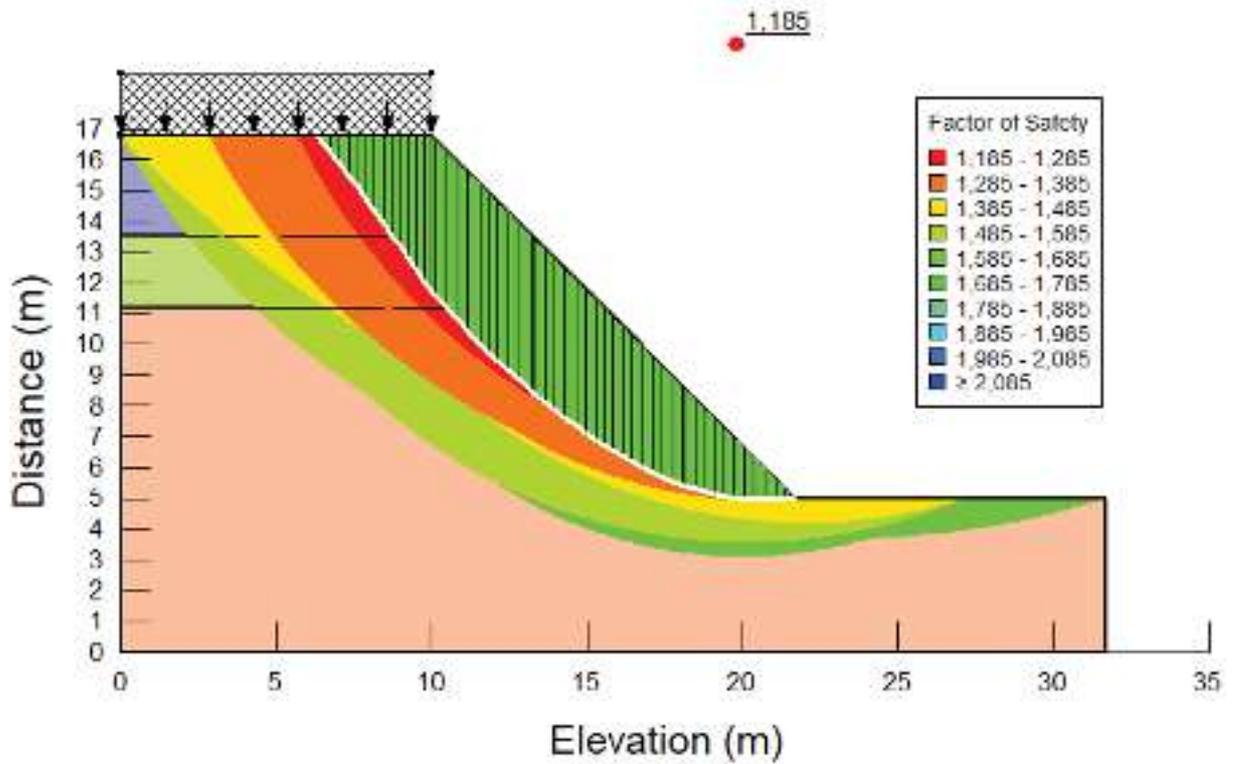


Método de Jambu

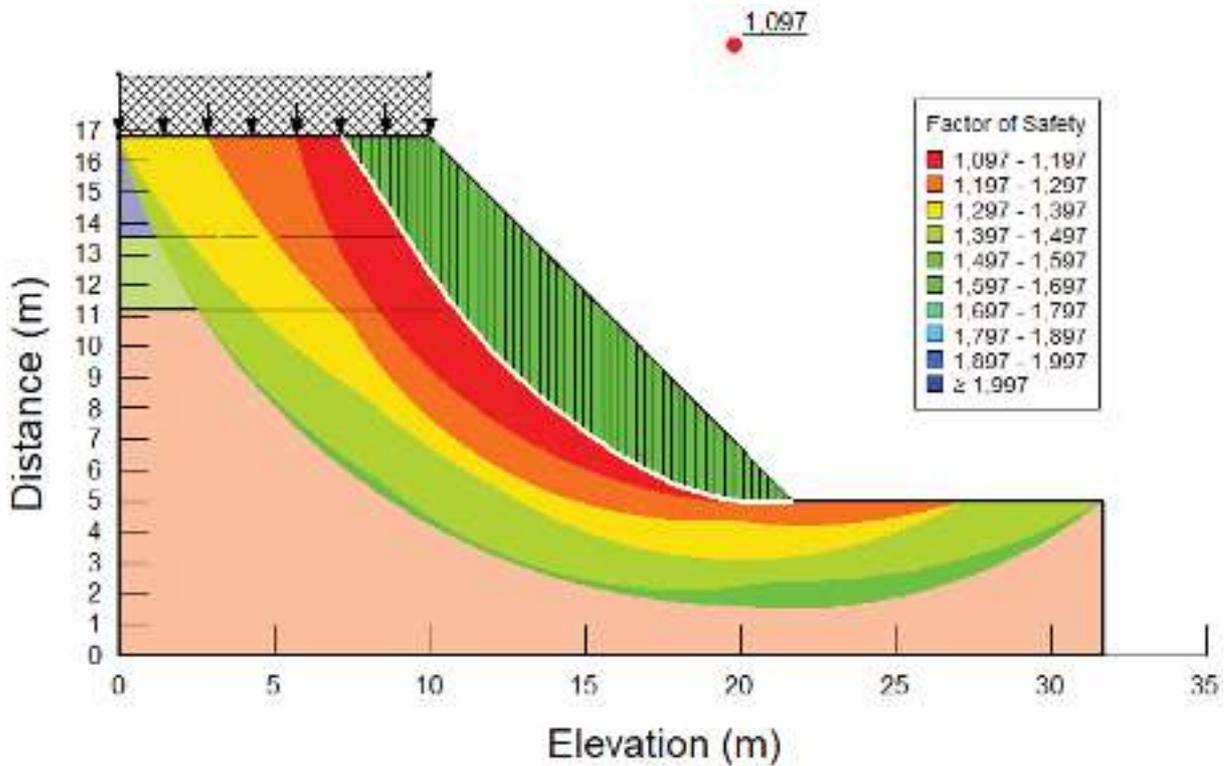


Método de Spencer

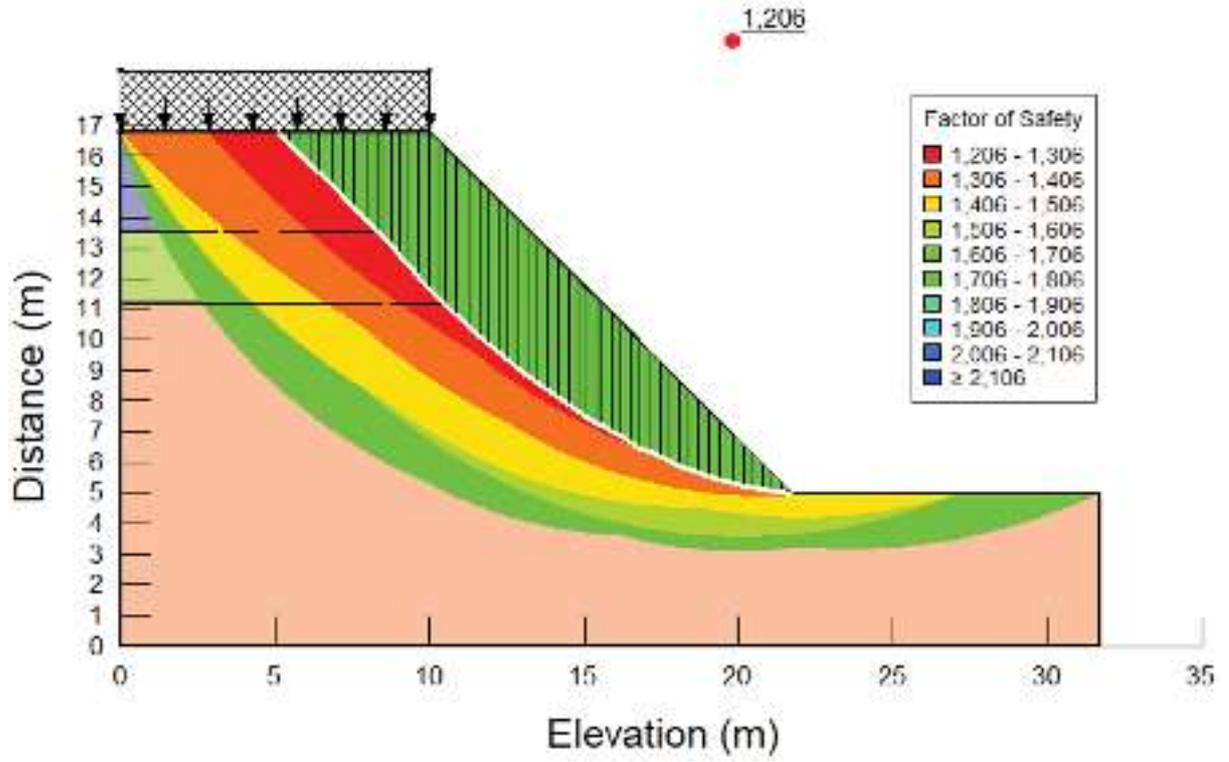
APÊNDICE F – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 6 + 0



Método de Bishop

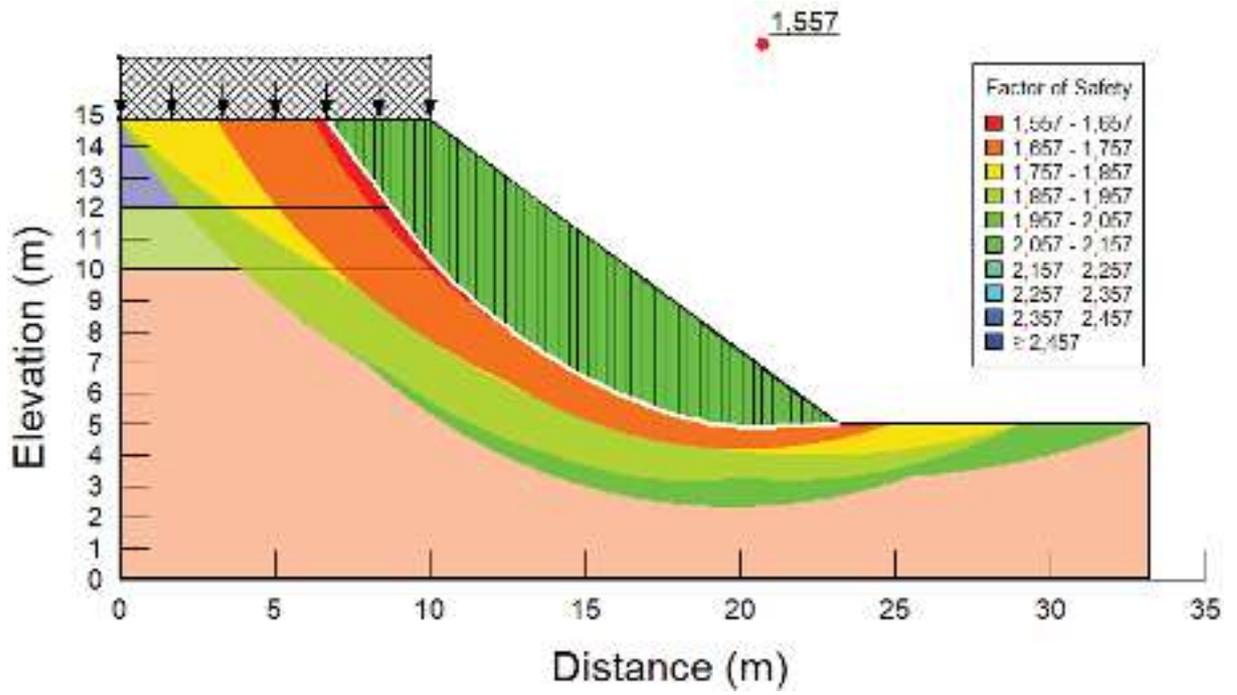


Método de Jambu

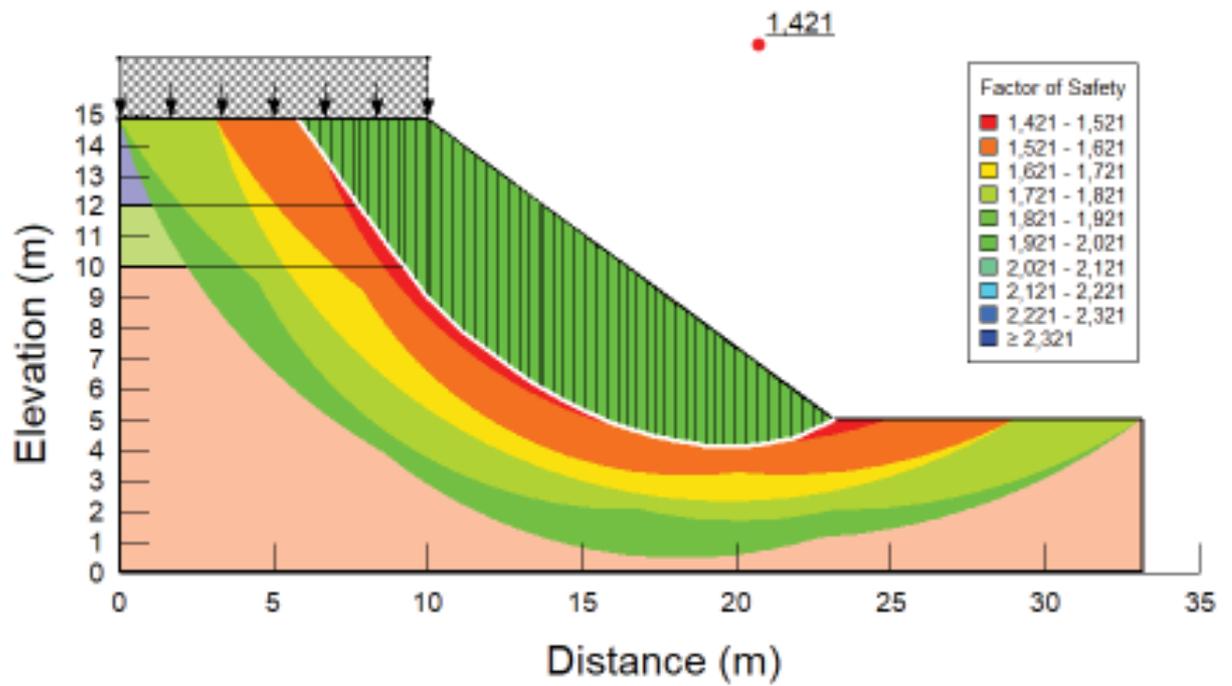


Método de Spencer

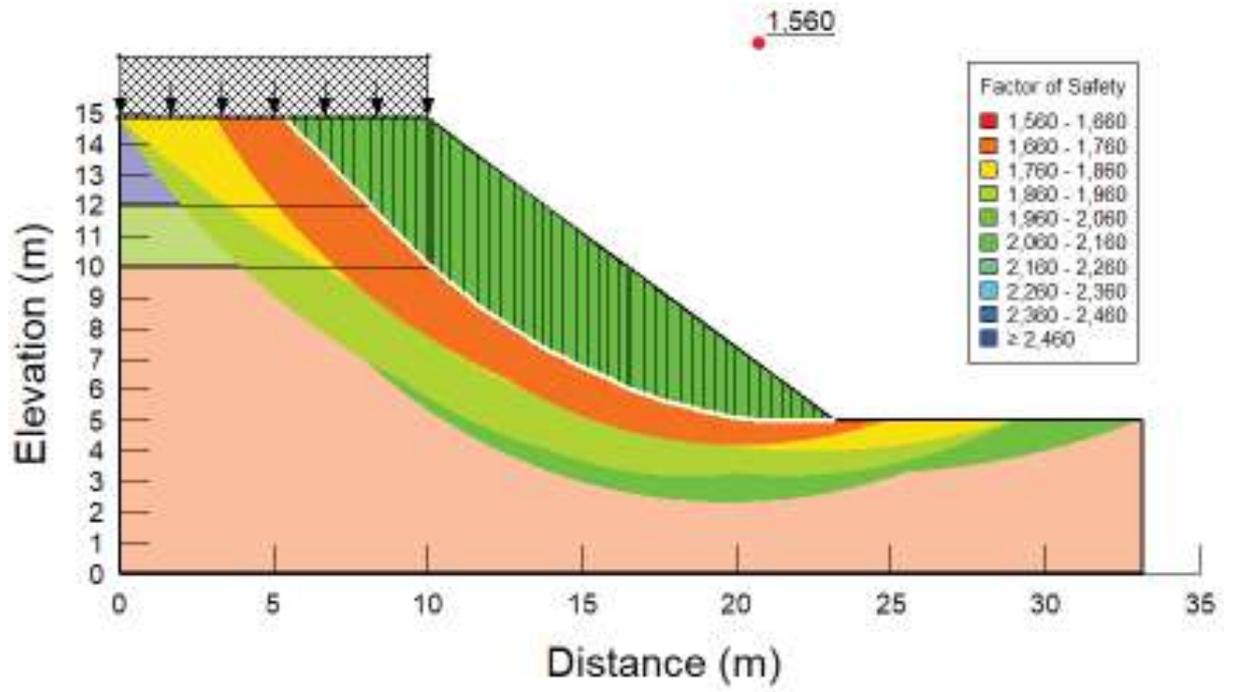
APÊNDICE G – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 7 + 0



Método de Bishop

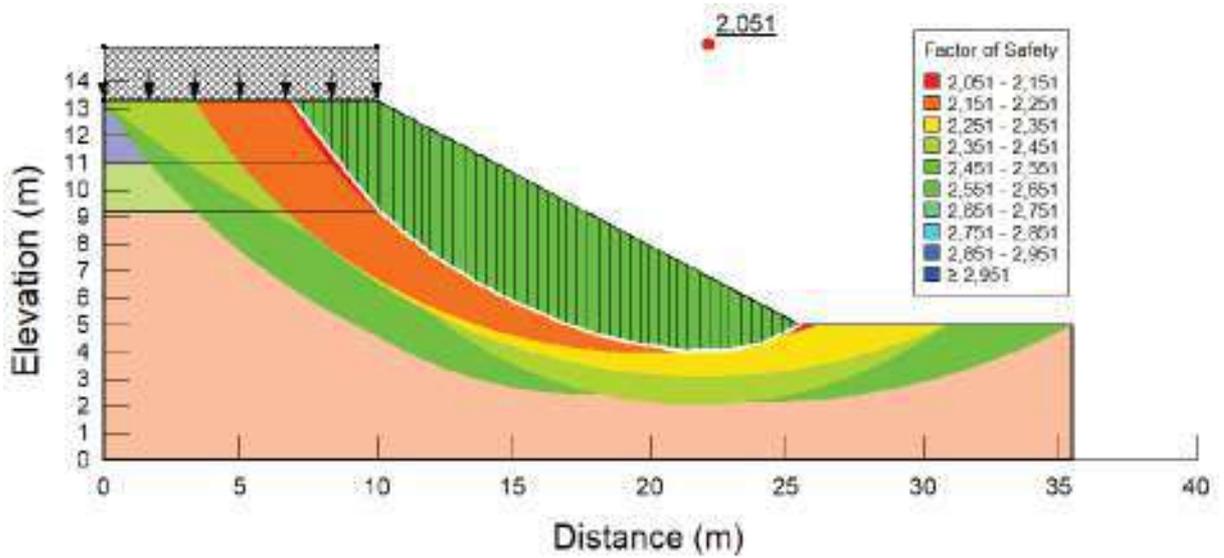


Método de Jambu

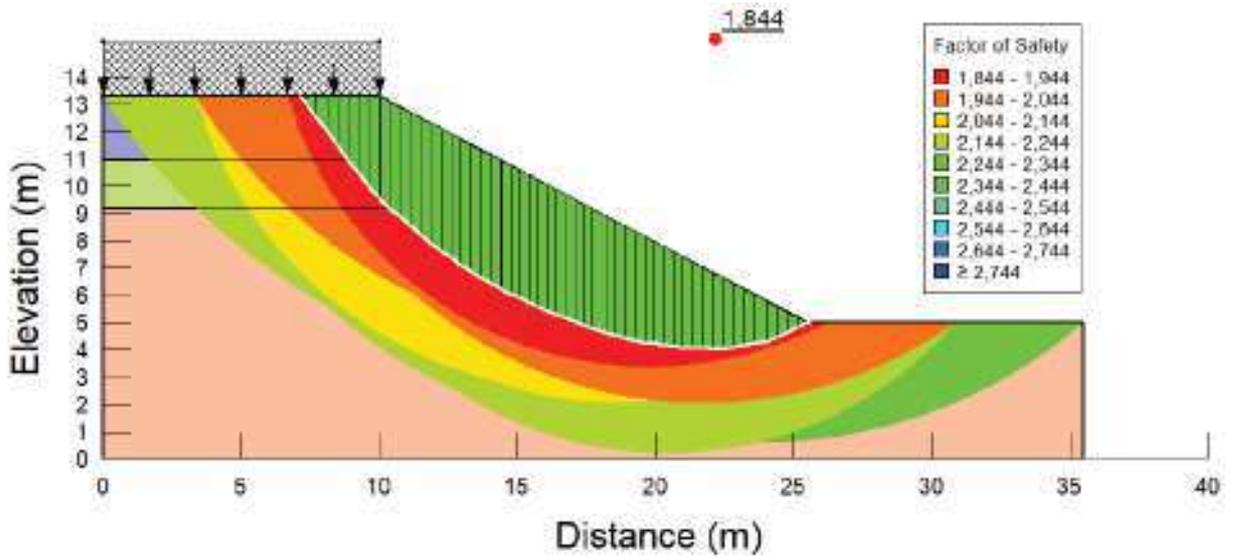


Método de Spencer

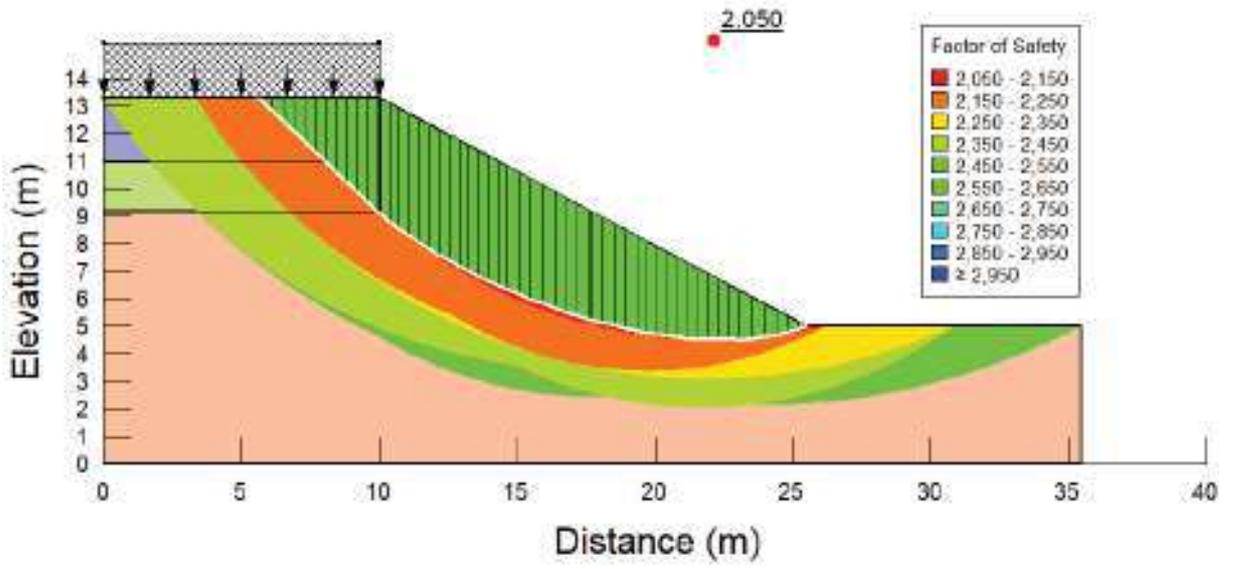
APÊNDICE H – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 8 + 0



Método de Bishop

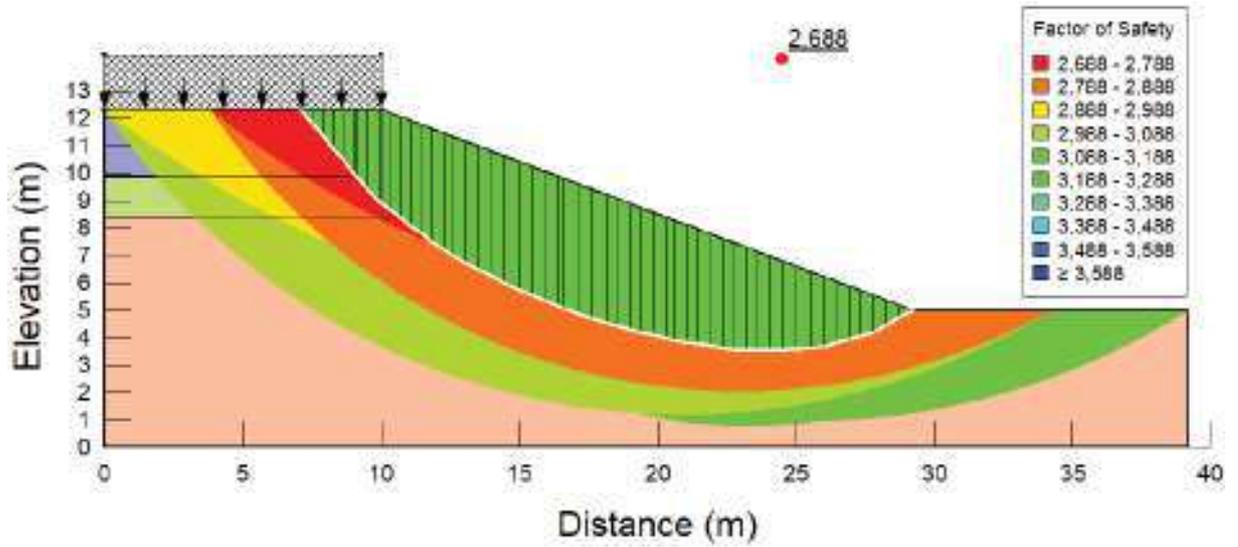


Método de Jambu

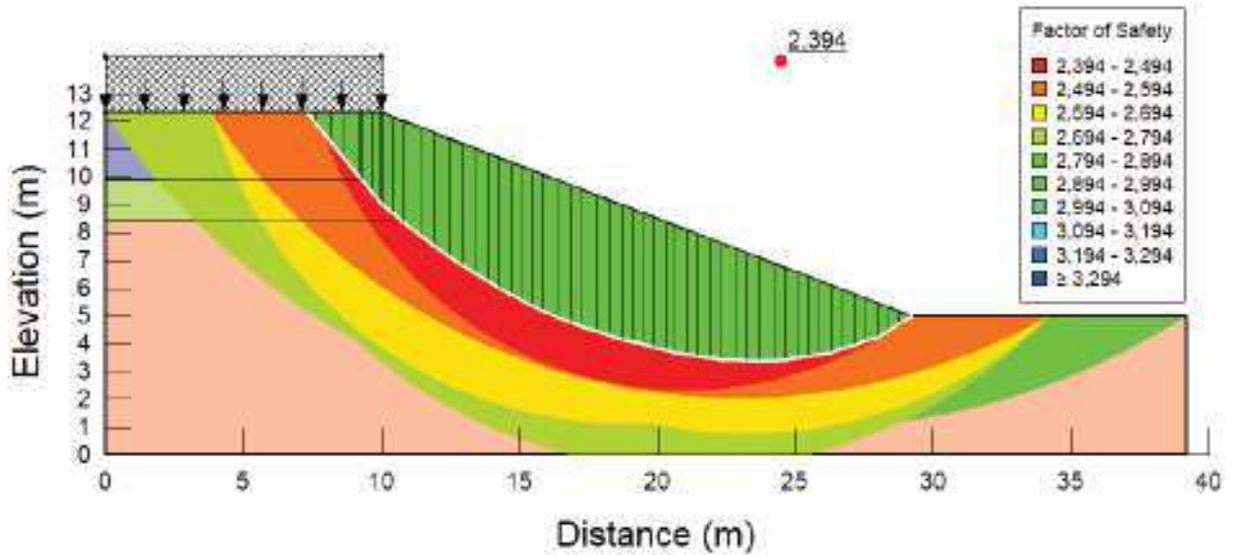


Método de Spencer

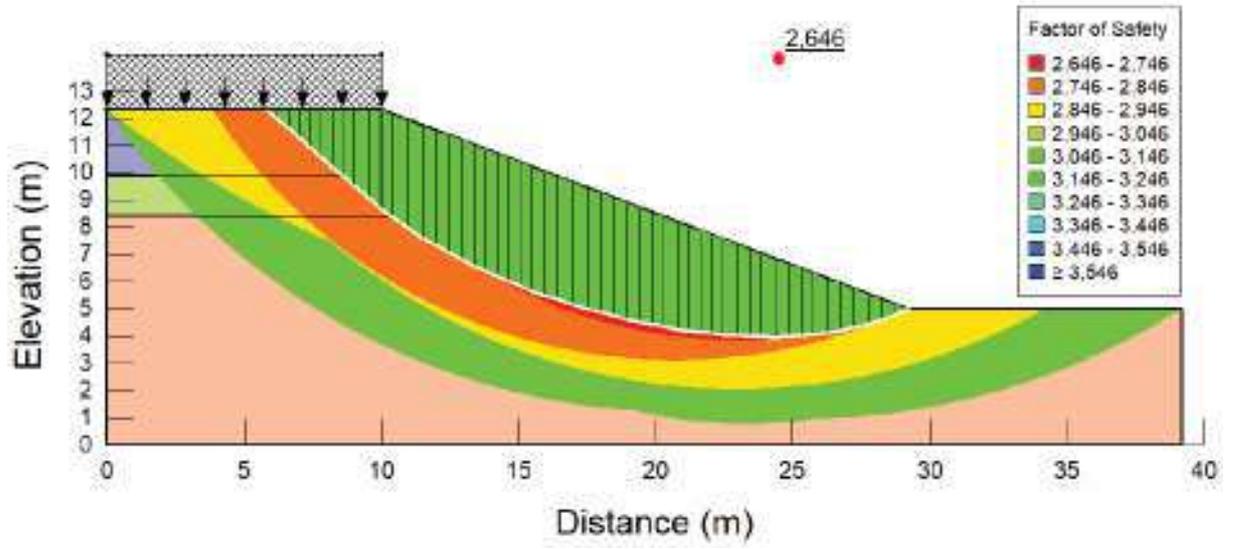
APÊNDICE I – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 9 + 0



Método de Bishop

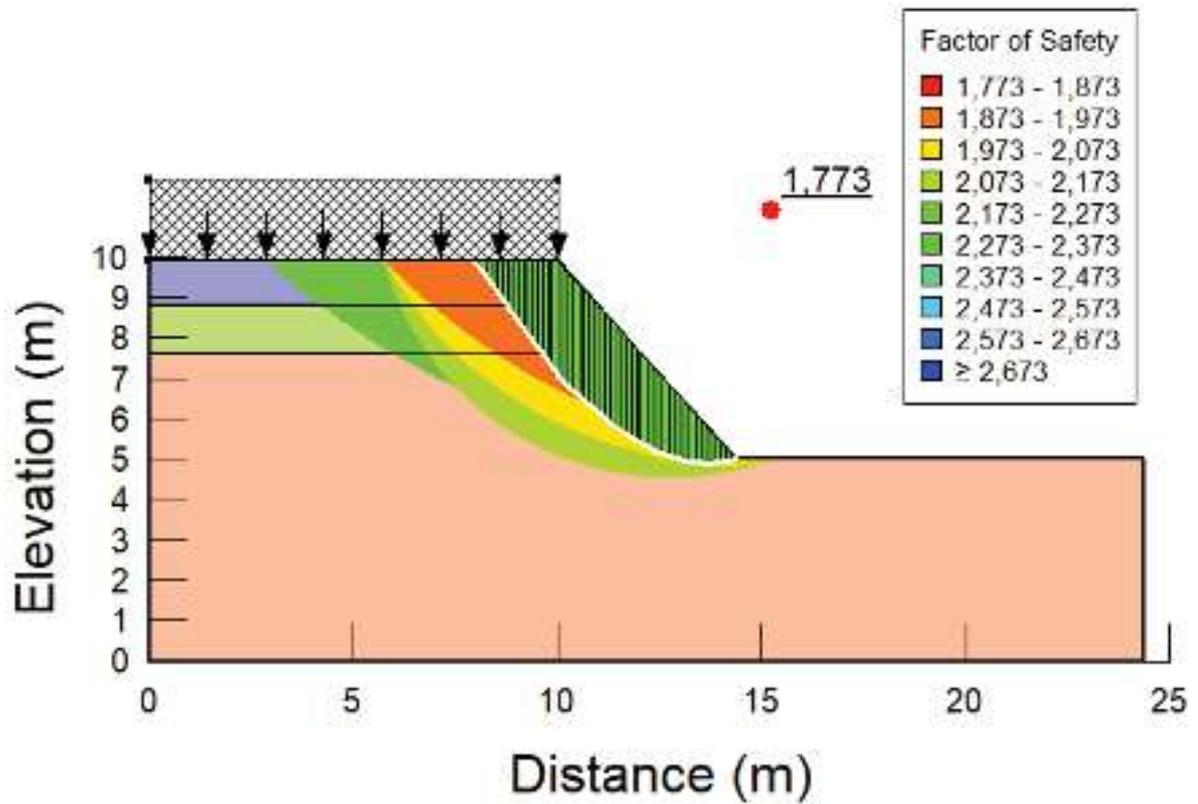


Método de Jambu

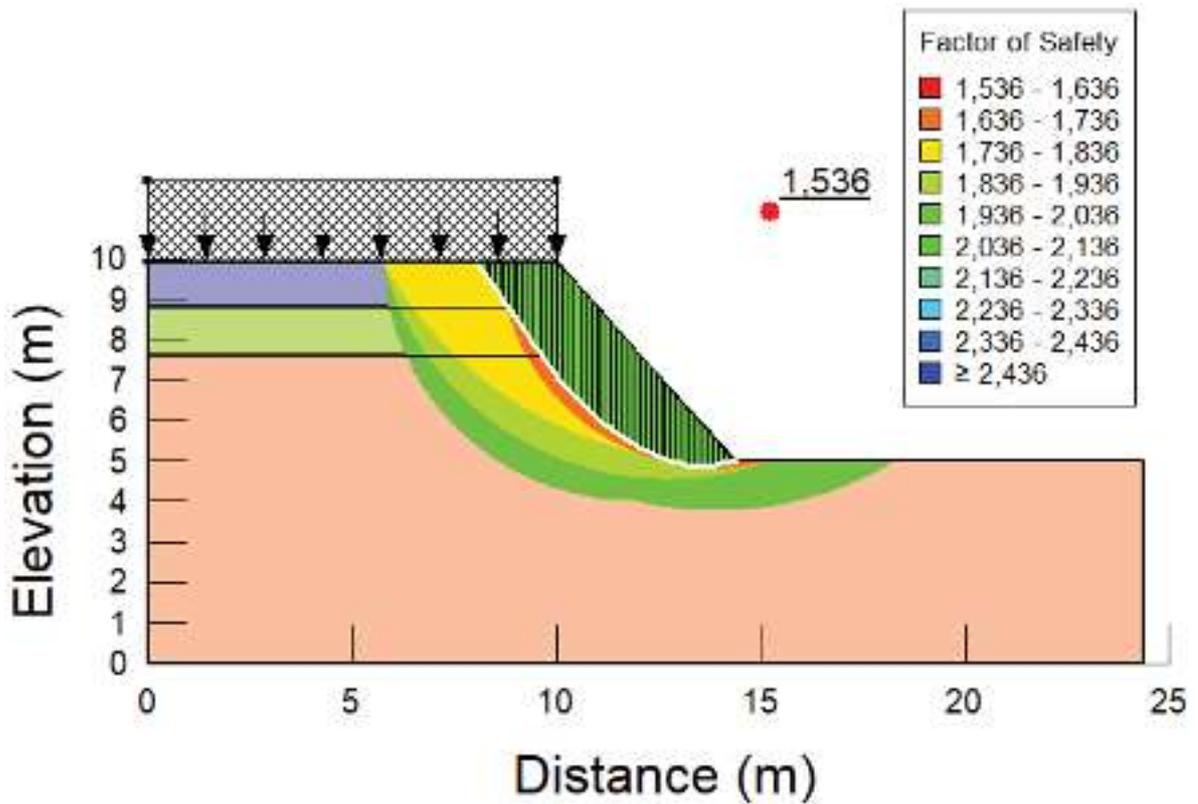


Método de Spencer

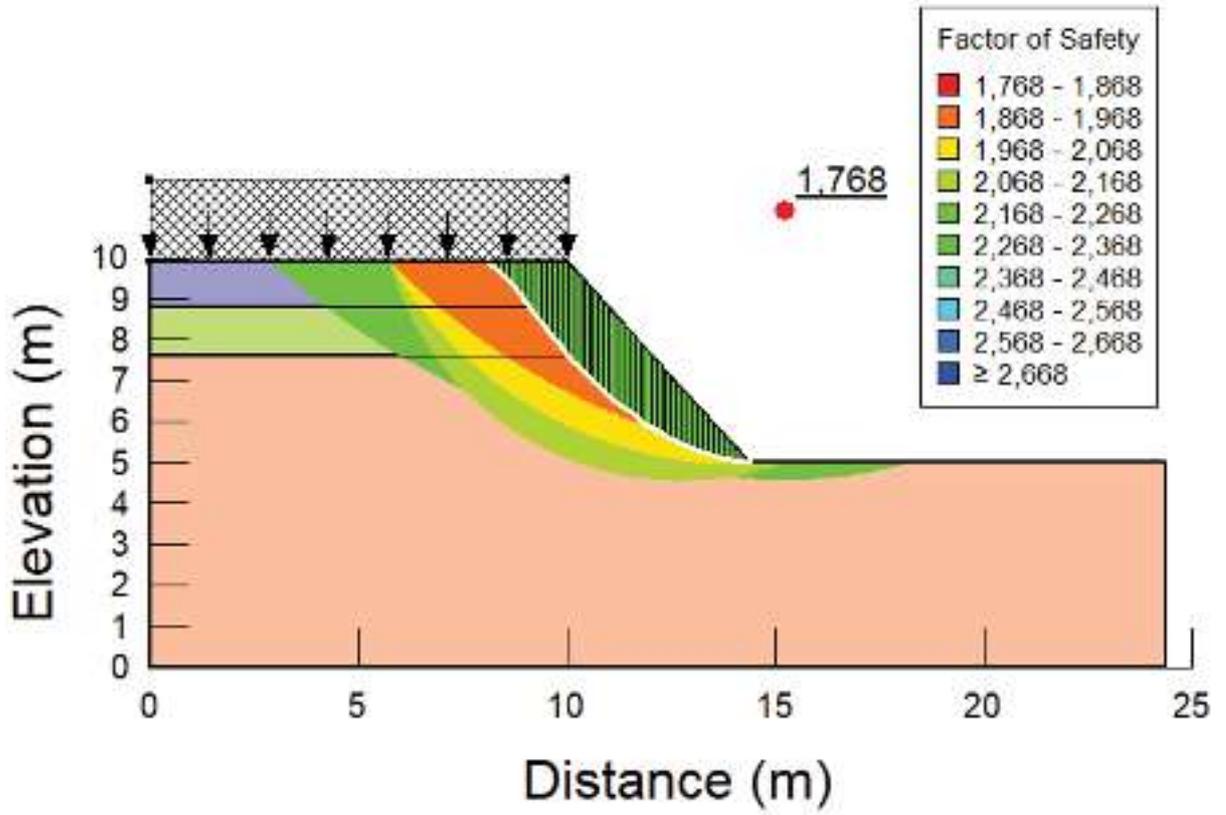
APÊNDICE J – ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA 10 + 0



Método de Bishop

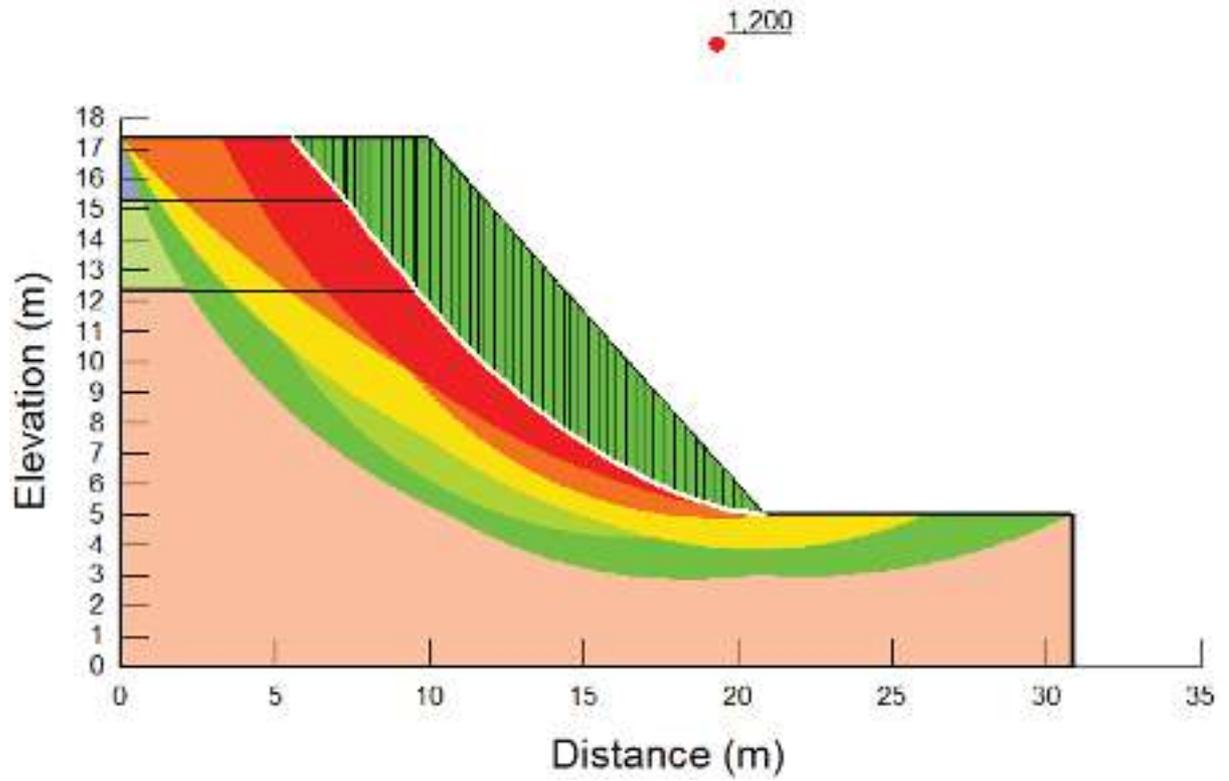


Método de Jambu

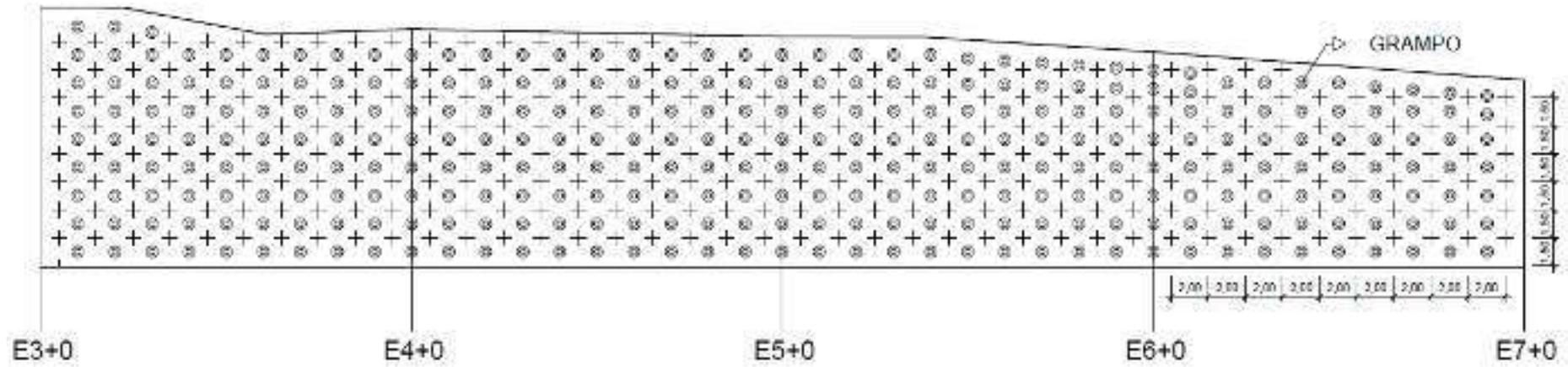


Método de Spencer

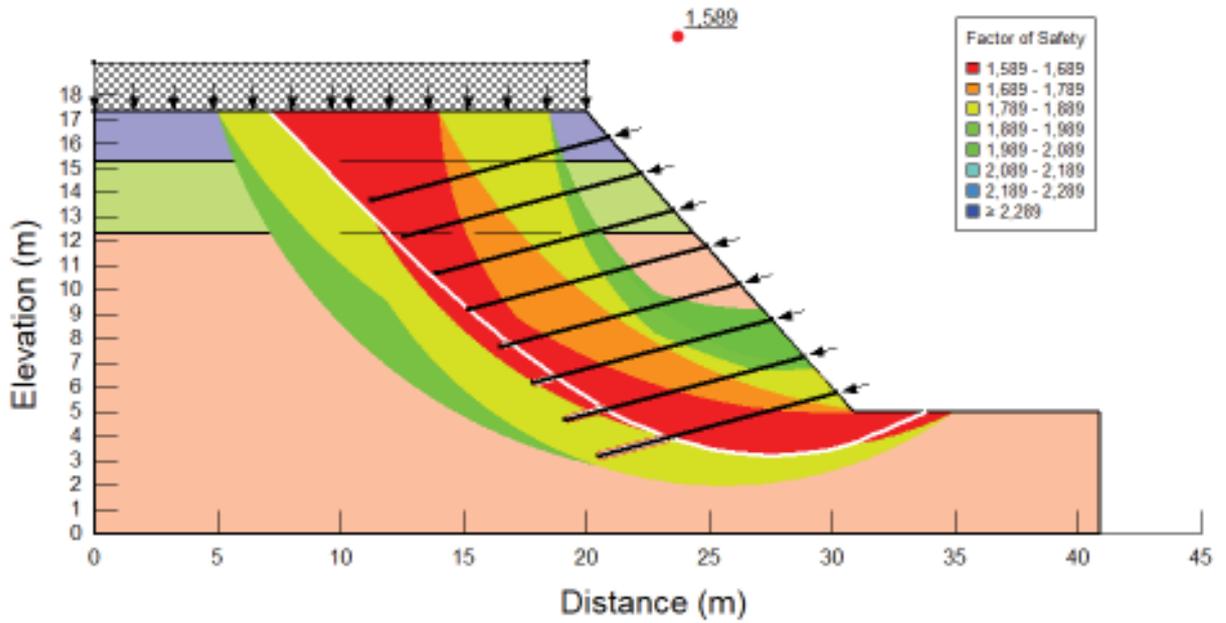
APÊNDICE K – ANÁLISE DA ESTABILIDADE COM REALOCAÇÃO DA COMUNIDADE



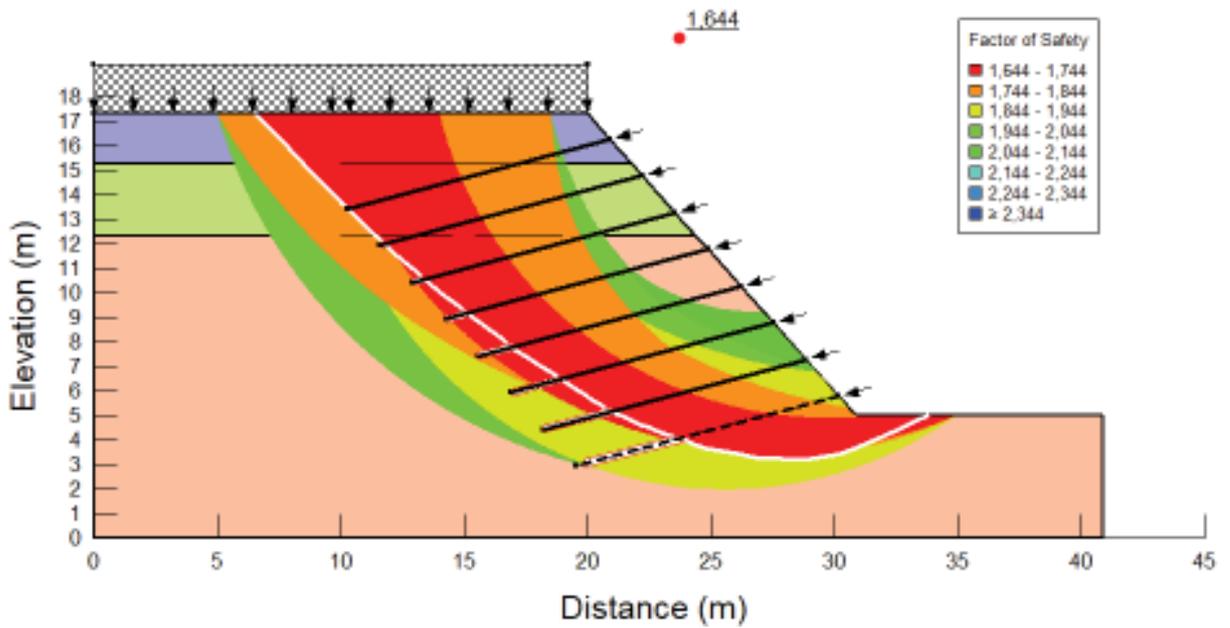
APÊNDICE L – CONFIGURAÇÃO DOS GRAMPOS ADOTADA



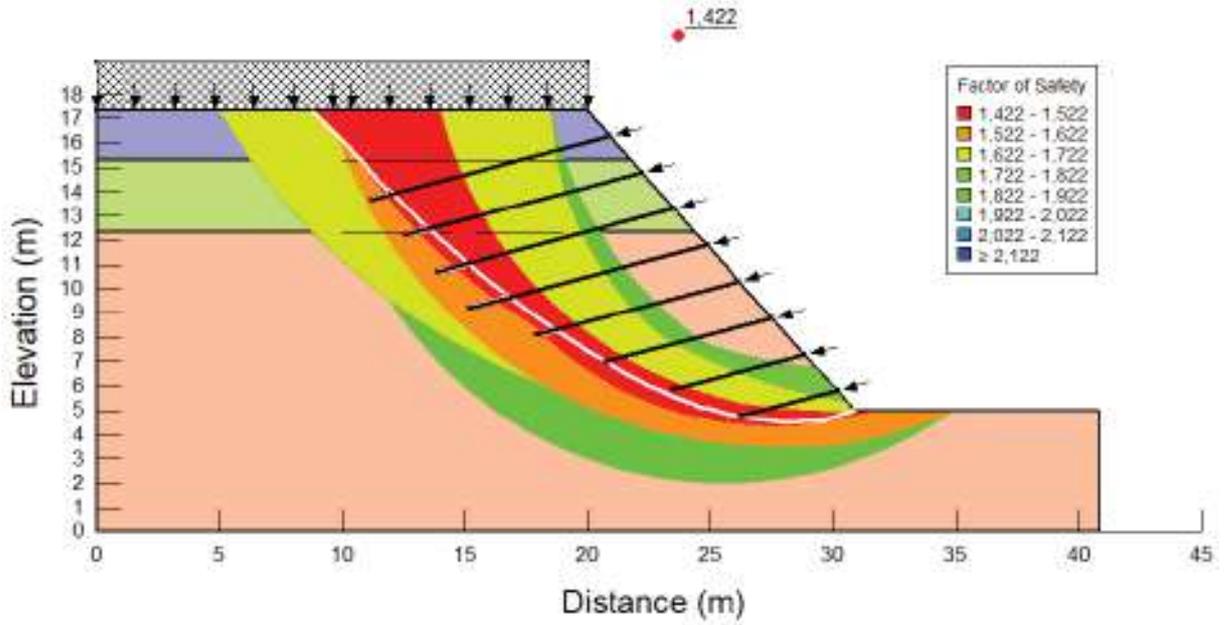
APÊNDICE M – ANÁLISE DAS PROPOSTAS EM SOLO GRAMPEADO



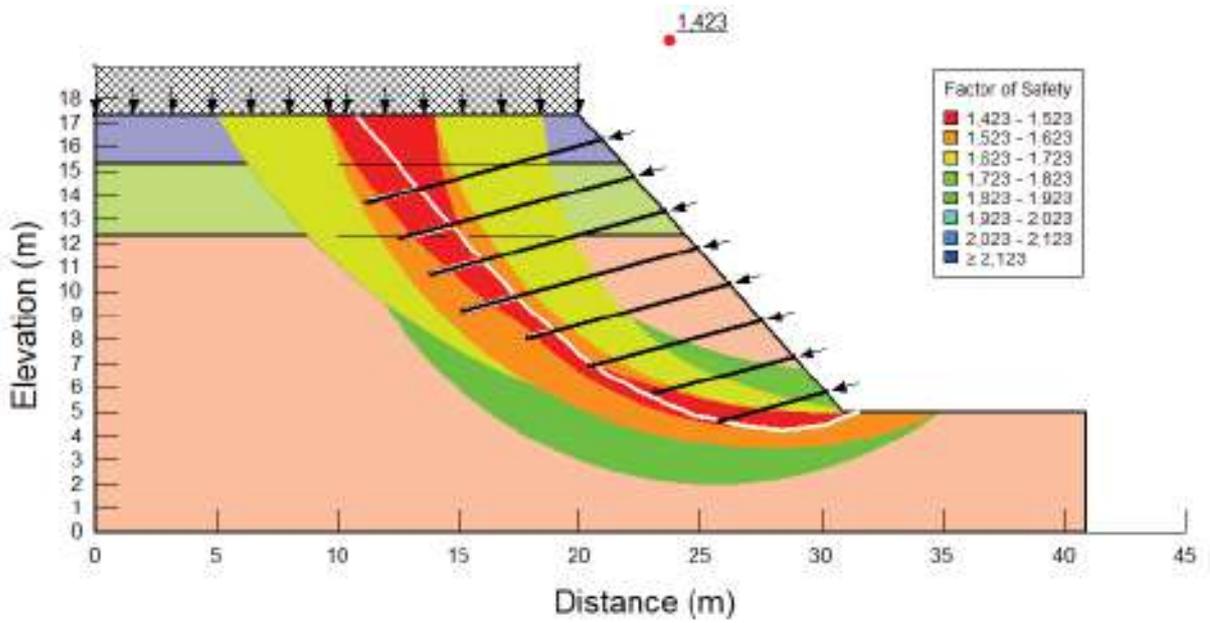
Proposta 01 - L constante igual a 10,0 m



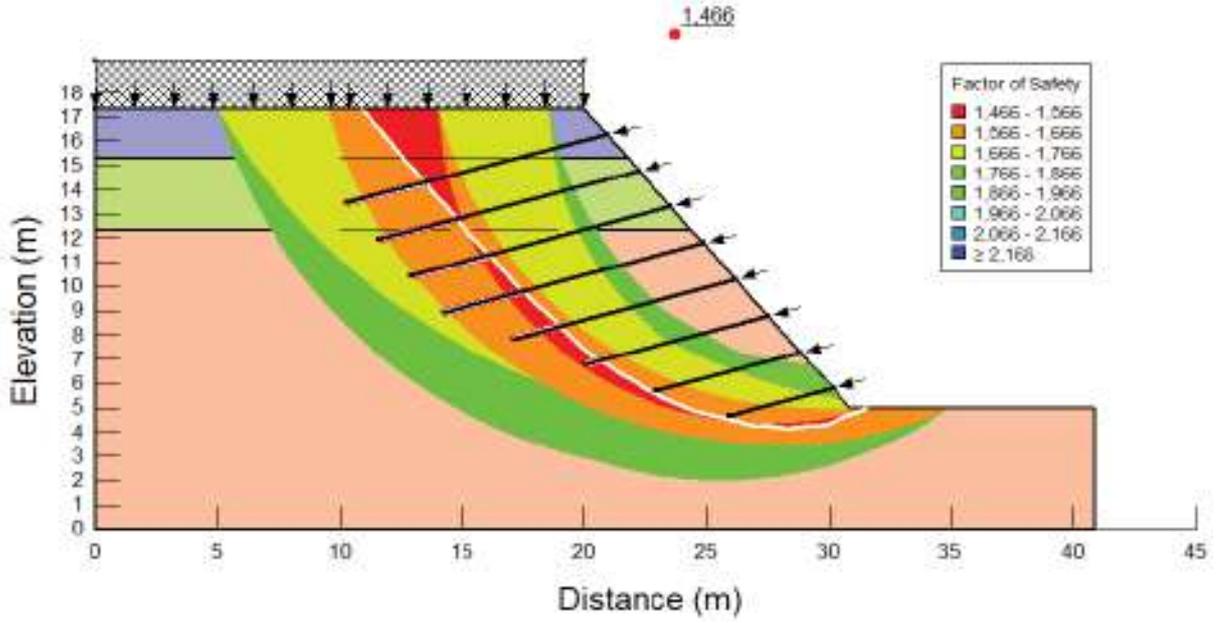
Proposta 02 - L constante igual a 11,0 m



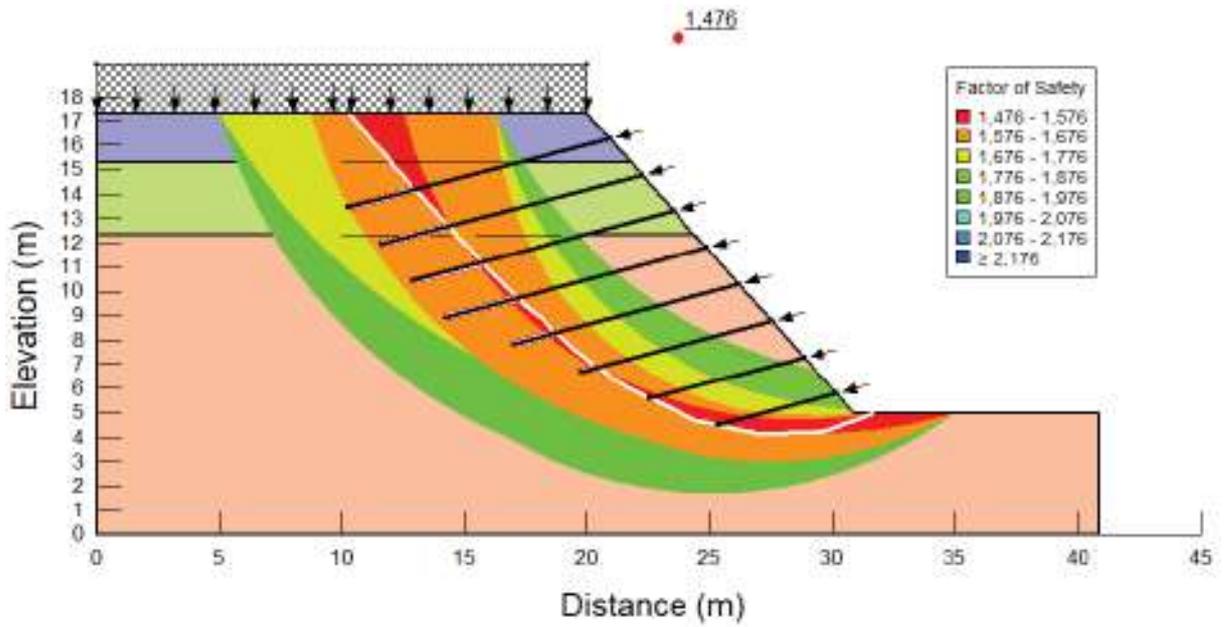
Proposta 04 - L variando de 4,0 a 10,0 m



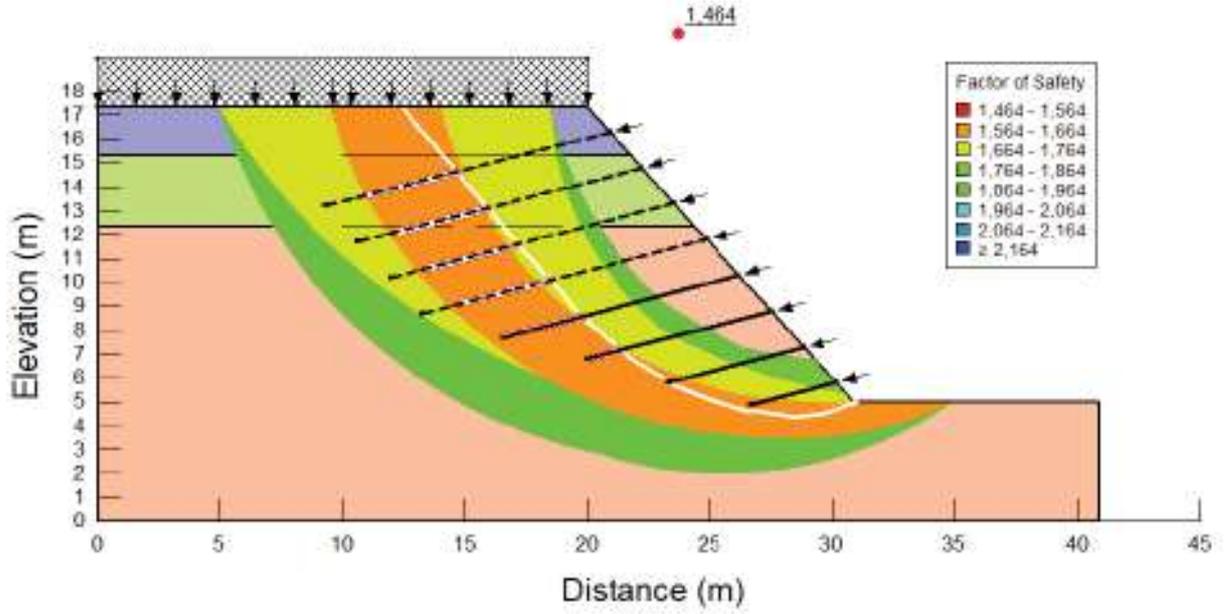
Proposta 05 - L variando de 4,5 a 10,0 m



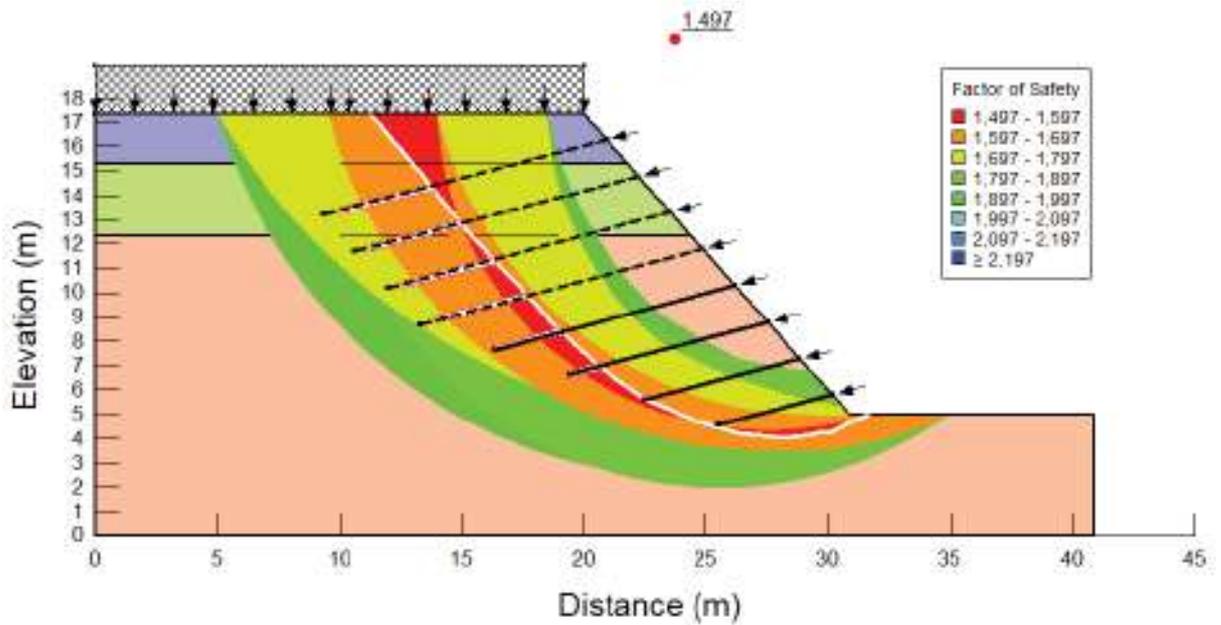
Proposta 06 - L variando de 4,4 a 11,0 m



Proposta 07 - L variando de 5,0 a 11,0 m

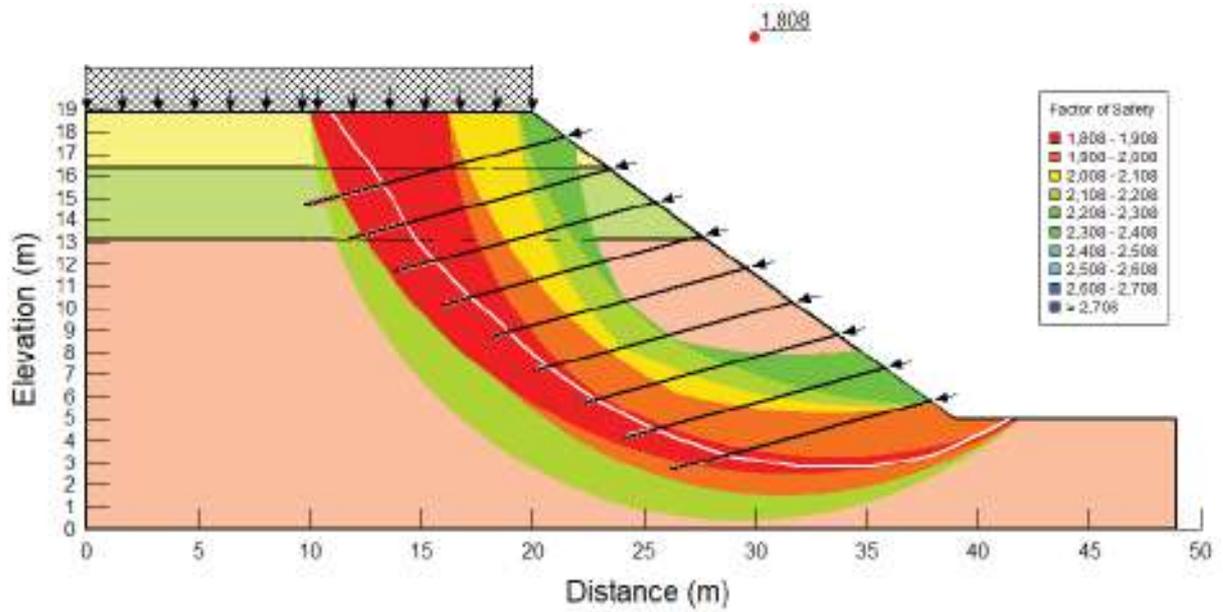


Proposta 08 - L variando de 3,6 a 12,0 m

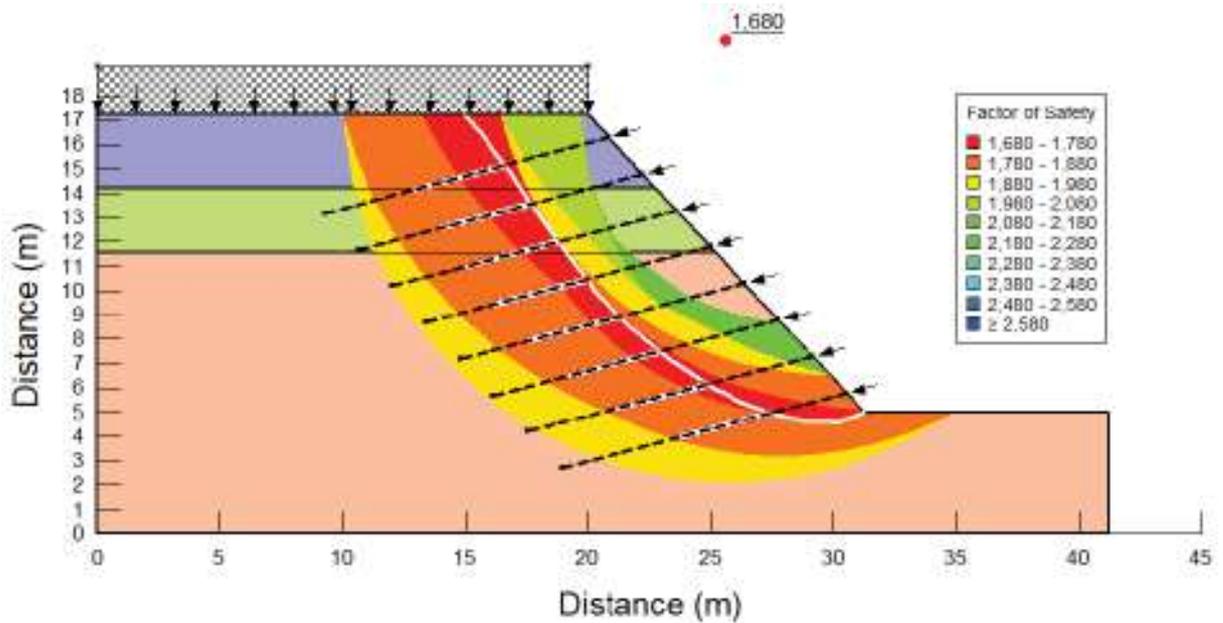


Proposta 09 - L variando de 4,8 a 12,0 m

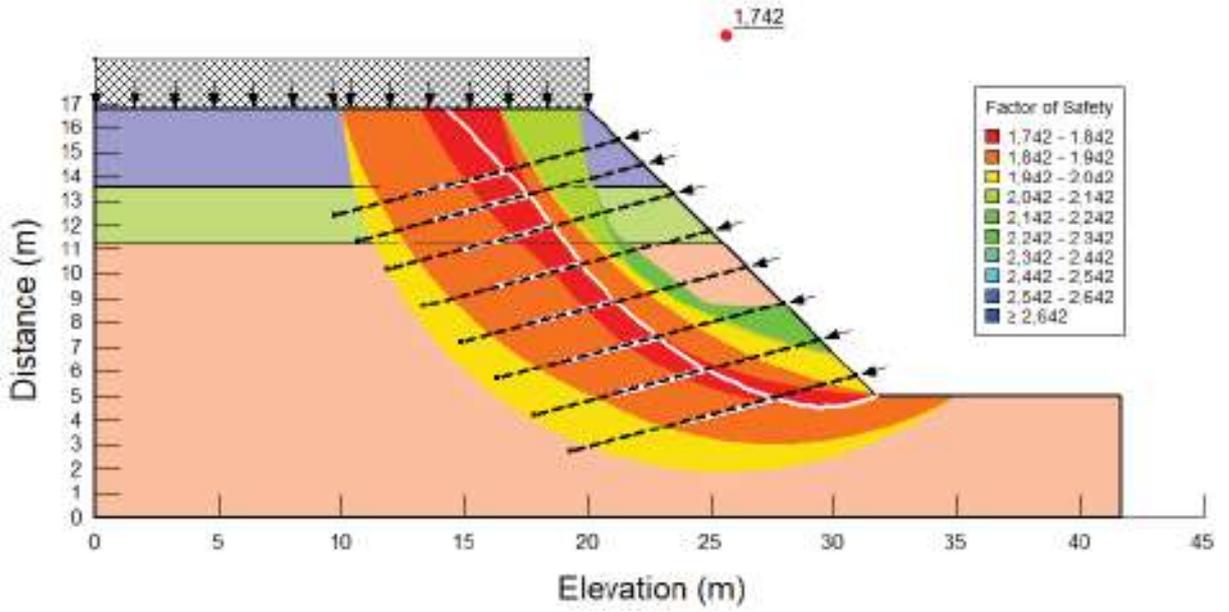
APÊNDICE N – ANÁLISE DA SOLUÇÃO PROPOSTA PARA DEMAIS ESTACAS



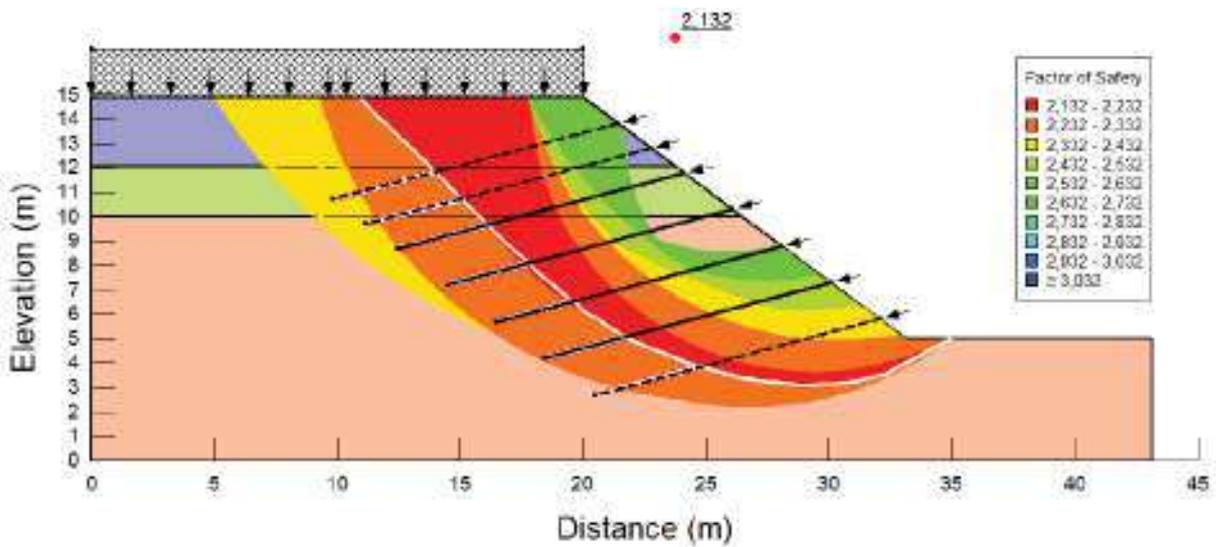
Estaca 3 + 0



Estaca 5 + 0

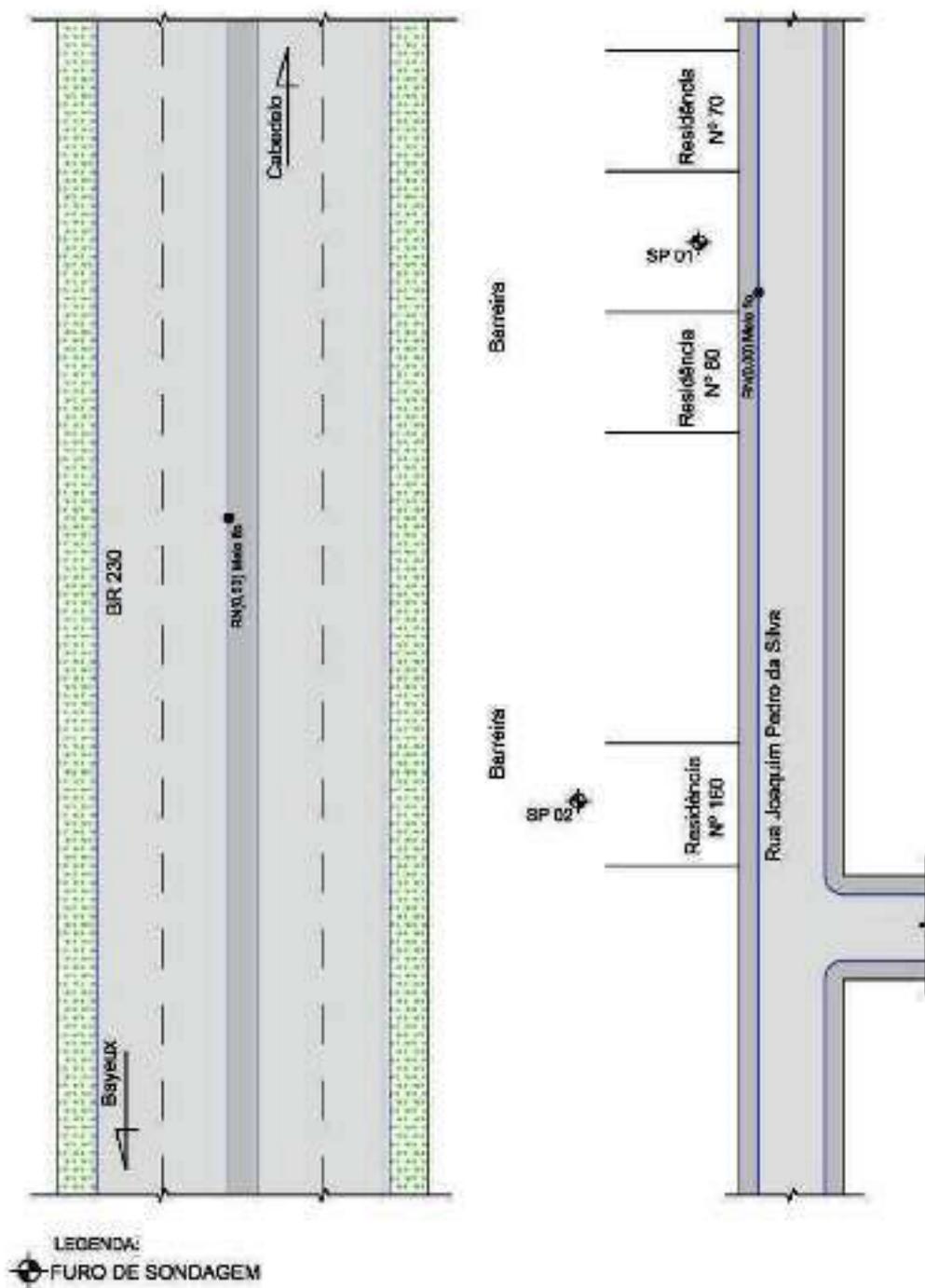


Estaca 6 + 0



Estaca 7 + 0

ANEXO A – LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS TIPO SPT (DNIT, 2013)



ANEXO C – SONDAGEM DO FURO SP 02 (DNIT, 2013)

SONDAGEM À PERCUSSÃO																		
CLIENTE / OBRA								SONDADOR										
Contécnica - Consultoria Técnica / Estabilidade de Talude na BR 230								Cleonilson										
SP		LOCALIZAÇÃO DO FURO						DESENHO										
02		Castelo Branco - João Pessoa / PB						Pedro										
AMOSTRADOR (diâm.)		REVEST (diâm. nom.)		MARTELO		COTA DO FURO		REF. DE NÍVEL (RM) 0,00m (Mão frs.)		DATA	REFERÊNCIA							
Externo 80,8 mm		67 mm		Piso 65 kg AL. do queda 75 cm		(-)3,50m				INÍCIO	TERMINO							
Interno 34,9 mm										11/7/2013	12/7/2013							
Posição do Revest	Profund. (m)	Número de Golpes Penetração (15cm)	NºPT	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO - PROFUNDIDADE												Nível d'água (MA)	Profund. das camadas (m)	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL AMOSTRADO
				ESCALA: 1/100														
	0,45	2 15 1 33	2													Não Incentivado	0,00	Aterro arenoso cor variegada
	1	1 50 1 28	1														1,25	Siltos areno-argilosos fofos cor variegada
	2	1 15 3 15	4														3,10	Siltos areno-argilosos c/ pedregulho fofos a med. compacto - cor variegada
	3	2 15 3 15	3														5,10	Siltos areno-argilosos c/ pedregulho med. compacto - cor variegada
	4	2 15 3 15	4															
	5	2 16 3 16	9															
	6	2 15 3 15	11															
	7	2 15 3 15	11															
	8	2 15 3 15	13															
	9	2 15 3 15	18														9,20	Siltos arenosos c/ pedregulho medianamente compacto - cor variegada
	10	2 15 3 15	16															
	11	2 15 3 15	16															
	12	2 15 3 15	19														12,45	Limite de Sondagem
	13																	
	14																	
	15																	
	16																	
	17																	
	18																	
	19																	
	20																	
											OBSERVAÇÃO:							
											- Sondagem à 2,20m							