

BRUNO KIM MARTINO
BRUNO LUIS GONÇALVES FERNANDES
VINICIUS LOPES DE FARIA
VITOR CASTALDI

**ESTABILIDADE DE ENCOSTAS NATURAIS E ESTRUTURAS DE
CONTENÇÃO**

Projeto de Formatura
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, no âmbito
do Curso de Engenharia Civil

São Paulo
2014

**BRUNO KIM MARTINO
BRUNO LUIS GONÇALVES FERNANDES
VINICIUS LOPES DE FARIA
VITOR CASTALDI**

**ESTABILIDADE DE ENCOSTAS NATURAIS E ESTRUTURAS DE
CONTENÇÃO**

Projeto de Formatura
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, no âmbito
do Curso de Engenharia Civil

ORIENTADOR: PROF.DR. MAURICIO ABRAMENTO

São Paulo
2014

RESUMO

Os Bairros Cota estão localizados na Serra do Mar, mais precisamente no município de Cubatão, e têm suas origens remontadas à década de 1940, período no qual se iniciou a construção da Via Anchieta. Esta grande operação precisou alocar sua mão de obra em regiões não muito distantes como uma solução para a logística dos operários. De maneira irregular e informal surgiram diversos acampamentos à beira das obras formados pelos trabalhadores e suas famílias, mas que com o tempo passaram de uma solução temporária para uma ocupação permanente.

A precariedade das habitações aliada aos fatores geofísicos e climáticos da área pode ser uma combinação perigosa. Por ser uma região com altos índices pluviométricos, com taludes muito íngremes e camadas de solos frágeis, é comum que ocorra a instabilidade do solo gerando grandes catástrofes. Os moradores destes assentamentos sofrem com as movimentações de terra, tanto quando suas casas são atingidas, como quando os acessos são obstruídos.

A estabilização dos taludes dos bairros Cota juntamente com a estabilização dos arredores da Rodovia Anchieta e Imigrantes representam o maior desafio da Serra do Mar para os engenheiros geotécnicos do Brasil. Diversas obras na tentativa de atenuar e solucionar os problemas de movimentação de terra foram executadas, no entanto a intensidade do problema gera uma necessidade constante de estudo e monitoramento da região, bem como uma análise da eficácia das soluções.

Algumas técnicas de contenções se mostraram insuficientes na proteção, uma vez que toda massa do terreno pode sofrer rastejo deslocando tudo o que está na região, levando até mesmo as contenções com ela. As soluções devem ser, portanto, estudadas em conjunto, pensando localmente e em todo entorno. Este trabalho busca examinar as peculiaridades da região, bem como os esforços que vem sendo feitos para solucionar os problemas locais.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Início da construção da Via Anchieta	16
Figura 2 - Trabalhadores na estrada, por volta de 1940).	16
Figura 3 - Núcleos de habitação irregulares	18
Figura 4 - Registro do IPT de uma moradia no Bairro Cota 400	19
Figura 5 - Instalações hidrossanitárias recorrentes na região)	19
Figura 6 - Panorama do Programa de Recuperação Socioambiental ...	22
Figura 7 - Ganhos em Reflorestamento	24
Figura 8 - Vista do Bairros Cota.....	25
Figura 9 – Mapa de Pluviosidade total anual	32
Figura 10 - Sondagem 1	37
Figura 11 - Sondagem 2	38
Figura 12 - Fellenius	45
Figura 13 – Bishop Simplificado.....	46
Figura 14 - Cullman	47
Figura 15 – Morgenstern e Price.....	48
Figura 16 - Esquema escorregamento Talus	53
Figura 17 - Esquema escorregamentos translacionais planares	54
Figura 18 - Esquema escorregamento de rochas	55
Figura 19 - Esquema desconfinamento	56
Figura 20 - Sondagem local.....	58

Figura 21 - Parâmetros	58
Figura 22 - Seção Transversal.....	60
Figura 23 - Superfície crítica sem presença de água	61
Figura 24 – Superfície critica com elevação da linha piezométrica	62
Figura 25 – Elevação da linha piezométrica e variação das dos parâmetros de coesão e peso específico para o solo saprolítico	62
Figura 26 – Superfície crítica devido a elevação da linha piezométrica e variação dos parâmetros de coesão e peso específico para ambos os solos .	64
Figura 27 – Elevação da linha piezométrica para o horizonte pertencente ao solo coluvionar	65
Figura 28 - Elementos do tirante.....	67
Figura 29 - Detalhe no interior da bainha coletiva.....	68
Figura 30 - Perfuração e instalação do elemento de tração	69
Figura 31 - Sequência executiva esquemática.....	70
Figura 32 - Vista em corte de conteção de talude no Bairro Cota 200 ..	71
Figura 33 - Vista frontal de conteção de talude no Bairro Cota 200	72
Figura 34 - Partes construtivas do chumbador.....	74
Figura 35 - Vista frontal do solo grampeado do bairro cota 200	76
Figura 36 - Vista em corte do solo grampeado do bairro cota 200	76
Figura 37 — Localização do Morro dos Macacos (fonte: Google Maps).77	
Figura 38 — Vista aérea do Morro dos Macacos (fonte: Google Earth). 78	
Figura 39 — Morro dos Macacos antes das obras de estabilização da encosta, 2010	79

Figura 40 -- Habitação típica da área e ligações elétricas precárias e improvisadas, 2010	80
Figura 41 - Aterros, entulhos e lixos recorrentes por toda a encosta, 2010	80
Figura 42 área logo após o deslizamento, durante o período de obras, 2011	83
Figura 43 -- Foliações no solo residual exposto pelo deslizamento, 2011	84
Figura 44 -- Mapa Geológico da região do Morro dos Macacos (fonte: Emplasa).....	86
Figura 45 -- Mapa de declividade do Morro dos Macacos	88
Figura 46 -- Remete a localização dos cortes originários das seções 2 e seção 3, devidamente representadas abaixo. Note que a figura ainda mostra outras seções que não serão estudadas pelos motivos já descritos	92
Figura 47 -- Ilustra a seção transversal correspondente ao corte de número 2.....	93
Figura 48 - Ilustram as sondagens 08 e 206 ampliadas, com sua composição e parâmetros de resistência a penetração de cone.	93
Figura 49 - Representa o perfil longitudinal da seção 03	94
Figura 50 - Ilustra a disposição das camadas de solo no perfil demonstrado S03.....	95
Figura 51 -- Demonstra as sondagens SP-04 E SP 221	95
Figura 52 -- Detalha as sondagens SP-05 e SP 205.....	96
Figura 53 - Ilustra o movimento de camadas não superficiais do solo ..	98
Figura 54 - Ilustra característica da região do escorregamento	100
Figura 55 -Vista lateral do deslizamento	101

Figura 56 condição natural do terreno na região 3.....	104
Figura 57 - Seção 03 com inserção de paredes de concreto nos trechos mais íngremes.	105
Figura 58 - Seção 03 com parâmetros reduzidos para o solo coluvionar	106
Figura 59 - Introdução das cargas	107
Figura 60 - Demonstra a modificação imposta no relevo e a disposição dos tirantes na solução	108
Figura 61 - Verifica a eficiência dos tirantes elevando o fator de segurança.	109
Figura 62 - Seção típica da 1ª alternativa (software slide)	111
Figura 63 - Seção típica da 2ª alternativa	112
Figura 64 Seção típica do solo grampeado.....	113
Figura 65 - Detalhe do grampo	114
Figura 66 - Dreno Sub-Horizontal Profundo (DHP)	115
Figura 67 Detalhe da desapropriação dos imóveis.	117
Figura 68 - Detalhe da demolição dos imóveis	117
Figura 69 - - Execução do concreto projetado.	118

SUMÁRIO

1. Introdução	12
2. Objetivo	13
3. Metodologia	14
4. ESTUDO DE CASO: Bairros Cota	15
4.1. Breve histórico	15
4.2. Bairros Cota	17
4.3. Interesses na região.....	20
4.4. O Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar 21	
5. Formação e Evolução da Serra do Mar	25
5.1. localização	25
5.2. Formação das Encostas (Geomorfogênese)	25
5.3. Evolução das Encostas	26
5.3.1. Causas Naturais	27
5.3.1.1. Geologia	27
5.3.1.2. Clima.....	28
5.3.1.3. Vegetação.....	32
5.3.1.4. Intemperismo	33
5.3.2. Causas Antropogênicas	34
5.4. Tipos de Solo nos Bairros Cotas	36
5.5. Sondagens.....	37
6. interpretação da norma nbr 11682:2006	39
6.1. Norma	39
6.2. Projeto	39
6.3. Procedimentos Preliminares.....	39
6.4. Investigações	40

6.5.	Elaboração do Projeto.....	40
6.6.	Fator de Segurança (FS).....	41
6.7.	Estudo de Estabilidade de Taludes Naturais	44
6.7.1.	Método Fellenius.....	45
6.7.2.	Método Bishop Simplificado	46
6.7.3.	Método de Cullman	46
6.7.4.	Método de Morgenstern e Price	47
6.7.5.	Comparação entre os métodos	49
7.	Processos de instabilização na Serra do Mar	51
7.1.	Rastejos de Massa de Tálus	52
7.2.	Escorregamentos translacionais planares	53
7.3.	Escorregamentos Rotacionais.....	54
7.4.	Escorregamentos em rocha	54
7.5.	Escorregamentos provocados pelo desconfinamento	55
8.	Diagnóstico.....	57
8.1.	Definição dos Parâmetros	57
8.2.	Seção Transversal do terreno	59
8.3.	Estudos de estabilidade	60
8.4.	Elevação da Linha Piezométrica	61
8.5.	Avanço de frentes de Saturação	63
8.6.	Elevação da Linha Piezométrica através do horizonte de solo coluvial 64	64
8.7.	Conclusão e diagnóstico	65
9.	Contenções utilizadas nos Bairros Cota	67
9.1.	Cortina Atirantada	67
9.2.	Dreno Horizontal profundo (DHP)	72
9.3.	Solo Grampeado	73
10.	Estudo de caso: Morro dos macacos.....	77

10.1.	breve histórico.....	77
10.2.	Morro dos Macacos.....	78
10.3.	O Programa de Urbanização de Favelas	81
10.4.	Deslizamentos de terra e o desastre de 2011	82
11.	Descrição do Solo	86
11.1.	Geomorfologia	88
12.	Definição da Seção Crítica e o Mapeamento de Risco	90
12.1.	Considerações iniciais.....	90
12.2.	Caracterização do perfil geológico	90
12.3.	Caracterização dos tipos de deslizamento	96
12.4.	Rastejo e Escorregamento em Rocha	97
12.5.	Debris Flow (fluxo de detritos).....	99
12.6.	Escorregamento Translacionais e Rotacionais.....	100
12.7.	Fator de Segurança	102
12.8.	perdas Humanas.....	102
12.9.	Risco Ambiental e Material.....	102
12.10.	Justificativa do método escolhido para solução.....	102
12.11.	Parametros do Solo	103
12.12.	Diagnostico das Seções.....	103
12.13.	Sugestão para solução e analise	108
13.	Apresentação das Soluções.....	110
13.1.	Execução da solução adotada	112
14.	Conclusão	119
15.	Referências	121

1. INTRODUÇÃO

Até pouco tempo atrás, ao descer a Serra pela Rodovia Anchieta sentido litoral seria impossível deixar de notar a quantidade de habitações precárias na beira da estrada e adentro da vegetação na região de Cubatão. Estas moradias compunham bairros irregulares formados há muitos anos, e que não se limitavam às margens da estrada, indo muito além ocupando uma área extensa devido ao elevado número de habitantes. Devido à localização na encosta, tanto pela inclinação do maciço, quanto pelo tipo de solo, estes núcleos habitacionais eram considerados, muitas vezes, impróprios para a moradia por apresentar alto risco de desmoronamento.

Diversos deslizamentos ocorreram durante a construção da Rodovia Anchieta (na época chamada apenas de Via Anchieta) e da Rodovia dos Imigrantes, e até os dias de hoje as movimentações de terra são um problema constante. Com o fim das obras e com o passar dos anos os deslizamentos continuaram: bastava uma chuva um pouco mais forte para que um novo desastre pudesse ocorrer. Obras de proteção precisavam ser construídas para controlar a estabilidade dos taludes e conter o rastejo do solo de alguns locais.

Por ser um problema de alto impacto na população local, o Governo do Estado de São Paulo decidiu intervir. Aliando forças com as autoridades municipais e obtendo recursos junto ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Governo paulista possibilitou uma urbanização da região, melhorando as condições de infraestrutura da área, e até mesmo optando por planos de remanejamento para os casos mais extremos. Este trabalho busca dissecar os fatores, os agentes e as soluções envolvidas nesta ação.

De forma análoga, temos o ocorrido no Morro dos Macacos, análise efetuada na segunda etapa do trabalho, onde uma encosta ocupada por moradias irregulares sofria frequentemente deslizamentos, até a devida intervenção. Porém durante a obra, houve um desastre, devido ao não conhecimento das características locais, que iremos tratar no presente trabalho.

2. OBJETIVO

Na primeira metade do Trabalho de Graduação foi feito um estudo da região dos Bairros Cota, fazendo-se uma identificação da área, um estudo do subsolo, da topografia, dos índices pluviométricos, da vegetação, e de todos os fatores que tenham relação com a estabilidade do terreno. Buscou-se uma interdisciplinaridade mediante uma contextualização histórica e socioambiental do problema que afeta a região e todos os seus habitantes.

Também foram estudadas as metodologias para a análise dos dados encontrados, e as diversas teorias de modelos de rupturas com todas as suas formulações. Foram estudadas as principais alternativas de contenção, e os métodos para a majoração dos coeficientes de segurança nos taludes.

Desse modo, o objetivo será analisar minuciosamente as particularidades da região em encostas, seus entraves e soluções adotadas. Buscar-se-á ilustrar todo o problema que atinge os Bairros Cota e o Morro dos Macacos, tanto com um olhar técnico no que tange a engenharia, quanto com uma visão humana no que diz respeito às características socioambientais do local. Desta forma, espera-se criar uma ferramenta de estudo e análise da estabilidade de encostas naturais que possa ser aplicada em outras regiões de características similares.

3. METODOLOGIA

A fim de possibilitar a criação de uma ferramenta de trabalho adequada para a análise de estabilidade de encostas naturais, primeiramente foi necessária a realização de uma revisão bibliográfica do assunto para a assimilação eficiente de todos os fatores técnicos envolvidos. Neste processo, diversos livros, teses, normas, relatórios técnicos e publicações reconhecidas na área da geotecnia foram estudadas e interpretadas. Desta forma, os fatores mais relevantes que poderiam influenciar na ocorrência de deslizamentos foram destacados e, em seguida, aprofundados.

Como o foco deste trabalho é a região dos Bairros Cota e o Morro dos Macacos, o levantamento do histórico do processo de ocupação e das particularidades locais foi de extrema importância para que os estudos antes realizados pudessem ser aplicados no entendimento dos entraves das regiões.

Toda a bagagem assimilada nas etapas iniciais deste trabalho possibilitou o entendimento do contexto geral dos problemas enfrentados pela população local e as medidas que vem sendo adotadas para solucionar o caso. Desta forma, pôde-se fazer uma análise crítica dos métodos e propostas de soluções existentes para o atendimento dos entraves socioambientais da região.

Ao fim de todo esse processo, atingiu-se o objetivo maior deste Trabalho de Formatura que era a compilação, em um único texto, de todos os principais fatores existentes e influenciadores na estabilidade das encostas da Serra do Mar na região de Cubatão, e o Morro dos Macacos em Diadema.

4. ESTUDO DE CASO: BAIRROS COTA

4.1. BREVE HISTÓRICO

No ano de 1939, o então Interventor Federal Ademar Pereira de Barros deu início às obras da Via Anchieta - que posteriormente veio a tornar-se a Rodovia Anchieta (SP-150) - inaugurando seu primeiro trecho (pista norte) em 1947, desta vez como governador do Estado de São Paulo. Mais tarde, em 1976, foi a vez do então Presidente Ernesto Geisel lançar ao público a Rodovia dos Imigrantes (SP-160), mas apenas com a pista norte em sua composição, visto que a pista sul seria inaugurada somente em 2002. Estas duas rodovias estaduais são consideradas obras-primas da engenharia brasileira, e pode-se dizer que foram projetos revolucionários em seu tempo dada a arrojada transposição da Serra do Mar por meio de túneis e viadutos. Juntamente com as rodovias não tão expressivas SP-41 (Interligação Planalto), SP-55 (Padre Manoel da Nóbrega), SP-59 (Interligação Baixada), e SP-248 (Cônego Domênico Rangoni), atualmente compõem o Sistema Anchieta-Imigrantes, que é a principal ligação entre a região metropolitana de São Paulo e o Porto de Santos, o Pólo Petroquímico de Cubatão, as indústrias do ABCD e a Baixada Santista.

As construções das Rodovias Anchieta e Imigrantes causaram impactos socioambientais expressivos na região da Serra do Mar, que por sua vez engloba uma área importantíssima do ameaçado bioma da Mata Atlântica: além do desmatamento, redução do habitat e perda de biodiversidade - consequências diretas da intervenção do homem na região relacionadas à construção das vias - diversos operários e suas respectivas famílias vieram a se instalar em áreas próximas à construção, dando origem a grandes acampamentos. A medida que as obras foram sendo concluídas, algumas famílias puderam deixar a região, porém o processo de ocupação da Serra do Mar já havia começado: ao mesmo tempo em que muitas famílias de operários optavam por continuar residindo no local, diversos novos habitantes surgiam para ocupar os acampamentos abandonados. Além disso, novas residências de baixo padrão foram improvisadas, certamente de maneira irregular e desordenada, potencializando ainda mais a intervenção humana e seus

impactos negativos na natureza. Foi desta forma que os acampamentos provisórios tornaram-se bairros permanentes.



Figura 1 - Início da construção da Via Anchieta no trecho Serra-Baixada Santista, por volta de 1940. Nota-se o desmatamento feito para a execução das obras. (foto: Acervo Histórico Municipal, da Prefeitura Municipal de Cubatão)



Figura 2 - Trabalhadores na estrada, por volta de 1940 (foto: Acervo Histórico Municipal, da Prefeitura Municipal de Cubatão).

A ocupação destas áreas foi, portanto, na maior parte feita de forma irregular, dando origem a grandes favelas sem qualquer tipo de infraestrutura básica para a moradia. As instalações elétricas e sanitárias tiveram de ser improvisadas pelos próprios moradores, sem mencionar a precariedade estrutural que afetava as habitações. Diversos destes novos bairros irregulares surgiram ao longo das rodovias e sobre as encostas da Serra do Mar, muitas vezes em meio a áreas de Mata Atlântica que hoje são destinadas à preservação. Dentre toda essa região há um destaque para as áreas próximas ao município de Cubatão, as quais hoje são conhecidas como Bairros Cota.

4.2. BAIROS COTA

A ocupação da parte da Serra do Mar situada no município de Cubatão foi, a princípio, uma solução para a logística da mão-de-obra responsável pela construção das rodovias Anchieta e Imigrantes. Os próprios operários viram-se obrigados a instalarem-se em diversos locais ao longo da Serra, tanto no planalto quanto no meio e na base da encosta. Aos núcleos habitacionais irregulares formados ao longo da encosta foram dados os nomes de Bairros Cota já que os acampamentos diferenciavam-se basicamente por suas cotas topográficas, isto é, os bairros passaram a ser nomeados de acordo com sua altura na montanha em relação ao nível do mar. Foi desse modo que surgiram os Bairros Cota 95/100, Cota 200, Cota 400 e Cota 500. Além deles, outros bairros irregulares foram estabelecidos na base da Serra, como os núcleos Pinhal do Miranda, Água Fria, Pilões e Sítio dos Queirozes.

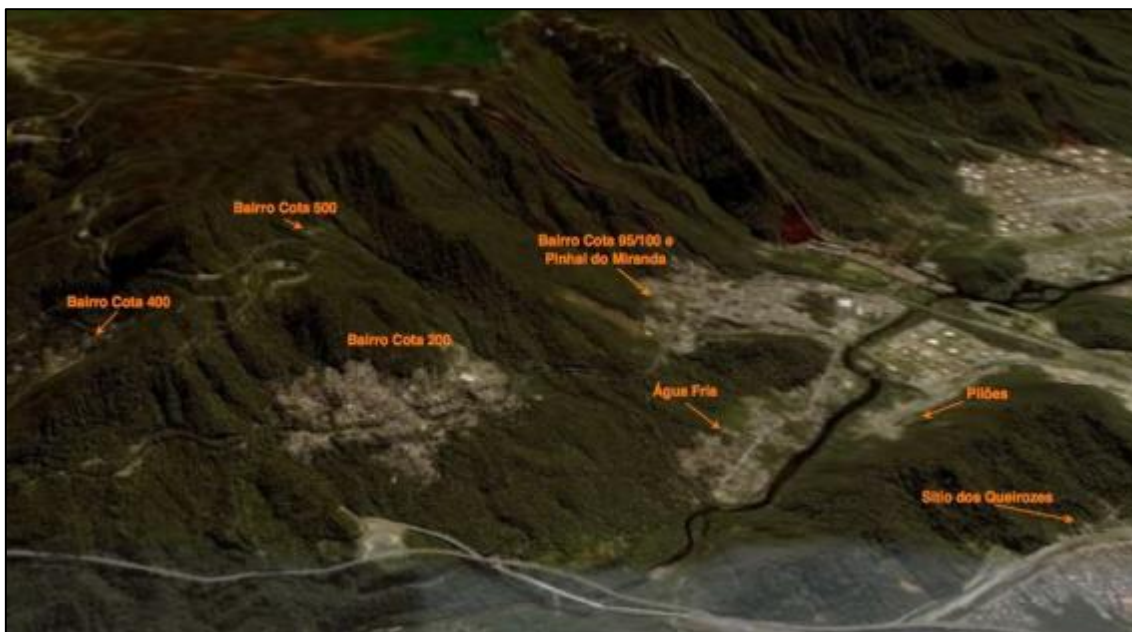


Figura 3 - Núcleos de habitação irregulares (Fonte: Pág. 39 do Relatório BR-L1241: Estratégia Ambiental e Social do Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar e do Sistema de Mosaicos da Mata Atlântica. Governo do Estado de São Paulo, 20 de novembro)

Em relatório publicado no ano 2000, a Secretaria de Planejamento da Prefeitura de Cubatão informava haver um total de 9.640 moradores na região dos Bairros Cota, sendo 5 na Cota 500, 682 na Cota 400, 5.971 na Cota 200 e 2.982 nas Cotas 95/100. Mais tarde, as atividades de cadastramento feitas pela CDHU e as de levantamentos de zonas de risco feitas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), ambas do ano de 2007, apontaram um número muito maior de moradores: ao todo eram mais de 25 mil pessoas residindo na região dos Bairros Cota, Pinhal do Miranda, Água Fria, Pilões e Sítio dos Queirozes, sendo que aproximadamente 45% delas residiam nos Bairros Cota.

A relevância destes bairros deve-se não somente ao grande volume de pessoas habitando uma área de Mata Atlântica - que hoje é destinada à preservação ambiental com a criação do Parque Estadual da Serra do Mar - mas também ao alto risco que certas regiões oferecem às habitações, em especial para aquelas situadas ao longo da encosta serrana. Além do fato de as moradias terem sido construídas de forma precária, com recursos limitados e sem planejamento prévio, somam-se as condições geológicas e climáticas da região, o que resulta em áreas extremamente perigosas para se morar.



Figura 4 - Registro do IPT de uma moradia no Bairro Cota 400 feito na etapa de levantamento de áreas de risco em 2007. Observa-se o padrão construtivo existente na região, com moradia de madeirite, ocupando patamar de corte em talude com depósito de cobertura de cobertura detrítica recente de aterro. Além disso, pode-se notar a precariedade das instalações hidrossanitárias. (Fonte: IPT - RELATÓRIO TÉCNICO Nº 98.277-205 - ANÁLISE DE RISCOS AMBIENTAIS RELACIONADOS AO BAIRRO



Figura 5 - Instalações hidrossanitárias recorrentes na região: córrego receptor de esgoto a céu aberto, no núcleo Água Fria em 2007 (esq.), e precário sistema de abastecimento de água, no Bairro Cota 400 em 2007 (dir). (Fonte: Equipe Social COBRAPE)

COTA 400)

4.3. INTERESSES NA REGIÃO

Não somente os Bairros Cota, mas outros núcleos habitacionais também estão estabelecidos dentro ou no entorno imediato do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM). Este parque foi criado em 1977 pelo Decreto nº 10.251 - de autoria do então Governador do Estado Paulo Egydio Martins – e é a maior unidade de conservação integral contínua da Mata Atlântica no país com quase 400 km de extensão desta floresta. Sua área está aproximada em 315 mil hectares que abrangem 23 municípios no litoral e no planalto, indo desde a divisa de São Paulo com o Rio de Janeiro, até o município de Itariri, no sul do Estado, passando por toda a faixa litorânea. O Parque é administrado pela Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo, por intermédio do Instituto Florestal. Deve-se ressaltar que o PESM foi criado após o início da ocupação da região, o que justifica a presença de moradias dentro desta área de preservação ambiental.

A integridade do PESM é fundamental para a conservação de inúmeras espécies de animais e plantas (muitas ameaçadas de extinção), além de todo o patrimônio histórico-cultural existente na área. Para ilustrar a relevância do parque, sabe-se que metade das espécies de aves da Mata Atlântica estão abrigadas na região. Além disso, de acordo com o relatório de Estratégia Ambiental e Social do Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar publicado pelo Governo do Estado do São Paulo em 2009, o PESM promove o habitat para incontáveis tipos de animais, em especial para 42 espécies de aves, 21 de mamíferos, 4 de anfíbios e 3 de répteis, todos ameaçados de extinção. Sua continuidade promove um importantíssimo corredor de biomas, conectando áreas que vão desde o Rio de Janeiro, até o Paraná, passando pelo Vale do Ribeira. Ademais, a floresta que existe no PESM exerce influência direta na vida da população que vive em suas imediações, e além de contribuir indiretamente na vida dos 18 milhões de habitantes de toda a cidade de São Paulo e região metropolitana por meio da barreira que faz com o litoral e sua atuação na regulação do clima, a área é berço de diversos mananciais que abastecem áreas próximas e grande parte da Baixada Santista. Percebe-se, portanto, a importância de sua conservação e recuperação.

Não somente a construção das Rodovias na Serra do Mar, mas também o desenvolvimento e industrialização da região como um todo causaram enormes impactos. Tudo isso porque houve uma carência de regulação e controle ambiental ao longo de todo este processo. Felizmente, hoje existe um interesse na preservação e reestruturação desta área, uma vez que os estudos mostraram os riscos inerentes à sua ocupação descontrolada.

Com relação à região de Cubatão, há uma preocupação especial no quesito ambiental, pois o processo de industrialização e ocupação acabou por estreitar a faixa contínua de Mata Atlântica local, que exerce fundamental conectividade da biodiversidade com os demais setores do Parque. Além disso, em 2007 estimou-se que das 21 mil famílias habitando no PESM ou proximidades de forma irregular, 7.760 estavam no município de Cubatão, grande parte vivendo de maneira precária e muitas vezes em locais sob risco de desmoronamento. As ocupações irregulares são perigosas na medida em que não há uma interação dos interesses da comunidade com as estratégias de conservação da área. E é justamente por isso que o governo do Estado de São Paulo, juntamente à Prefeitura de Cubatão uniram esforços para solucionar os entraves da região.

4.4. O PROGRAMA DE RECUPERAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DA SERRA DO MAR

A fim de possibilitar uma proteção mais intensa e eficiente das áreas de Mata Atlântica existentes ao longo da Serra do Mar, e ao mesmo tempo proporcionar uma melhoria nas condições de vida daqueles que residiam irregular e precariamente nestas áreas protegidas e entornos, o Governo do Estado de São Paulo, sob o comando do Governador José Serra, lançou o Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar no início do ano de 2007. A execução do Programa foi designada às secretarias estaduais de Economia e do Planejamento (responsável pela Unidade de Gestão do Programa), à do Meio Ambiente e à de Habitação. Estas duas últimas são as co-executoras do programa, e por sua vez delegaram as responsabilidades técnicas e financeiras à Companhia de Desenvolvimento Habitacional Urbano (CDHU) no que tange assuntos de reassentamento e desenvolvimento das habitações, e à Fundação Florestal (FF) no quesito recuperação e conservação ambiental.

O projeto atende toda a área de 315 mil hectares do Parque da Serra do Mar, que conforme mencionado anteriormente é a maior mancha continua de mata atlântica protegida. Os objetivos principais são a recuperação de áreas degradadas da Mata Atlântica, e a melhoria nas condições de moradia de mais de 7.760 famílias através de ações de remanejamento ou por obras de otimização da infraestrutura

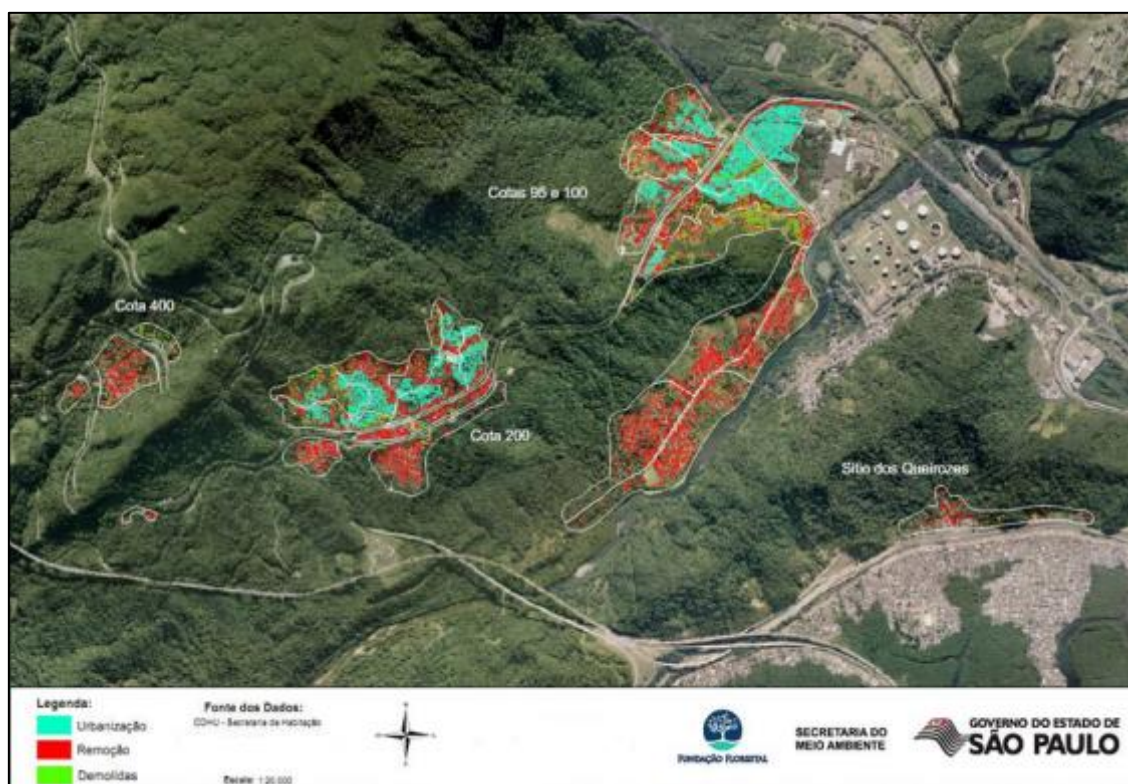


Figura 6 - Panorama do Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar (Fonte: Cartilha do Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar e Mosaicos da Mata Atlântica – Governo do Estado, CDHU e Fundação Florestal)

urbana local. O programa prevê a adequação das áreas de proteção para possibilitar uma cobertura de proteção legal às áreas não degradadas de Mata Atlântica e que ainda podem ser dedicadas exclusivamente à conservação. Para isso, fez-se necessária a regularização da situação das moradias alocadas em áreas que não apresentavam riscos de escorregamentos, bem como a elaboração e execução de planos de remanejamento para as famílias que habitavam zonas perigosas.

De acordo com o Coordenador Institucional do Projeto de Recuperação Sócioambiental da Serra do Mar, Edmur Mesquita, o programa previa a transferência de 5.350 famílias que habitavam áreas de riscos geológicos, de proteção ambiental, ou que pertenciam ao Parque Estadual da Serra do Mar (número referente à região de Cubatão apenas). Para tanto, foram construídas

3.594 novas unidades habitacionais nos bairros Bolsão 7, Bolsão 9 e Jardim Casqueiro (Unidade Rubens Lara), todos no município de Cubatão. Além disso, outras 2.410 famílias que ainda moravam em locais consolidados como bairros e que não apresentavam riscos, terão suas áreas urbanizadas com infraestrutura e serviços públicos. Isto inclui a consolidação geotécnica (barreiras ambientais e contenções) dessas regiões, a implantação de um sistema de drenagem do maciço da Serra, infraestrutura e redes de saneamento, sistema viário, provisão habitacional, parcelamento do solo, ambiência urbana e paisagismo. Dessa forma, o Governo espera atingir uma Urbanização Sustentável, com geração de trabalho, emprego e renda.

Número de famílias afetadas pelo Programa nos diferentes núcleos e principal motivo para o Reassentamento*							
Núcleos de Habitação Irregulares	Total de Famílias	Permanência (área desafetada)	Total de Famílias Retiradas	Motivo da Retirada			
				Risco Tecnológico**	Risco Geotécnico***	Risco Ambiental****	APP***** Municipal e Área Particular
Cotas 400/500	203	0	203	-	-	203	-
Cota 200	2.108	719	1.389	741	252	396	-
Cotas 95/100	1.037	401	637	157	156	325	-
Pinhal do Miranda	2.260	1.290	969	246	544	178	-
Água Fria	1.329	0	1.329	-	-	1.329	-
Pilões	682	0	682	-	-	-	682
Sítio Queiroz	141	0	141	-	-	141	-
TOTAL	7.760	2.410	5.350	1.144	952	2.572	682

* Em vários casos pode haver mais de um motivo para a retirada. Os riscos tecnológicos e geotécnicos foram identificados apenas para os bairros Cota 200, 95/100 e Pinhal do Miranda devido às suas áreas de desafetação.

** Por risco tecnológico compreende-se: a faixa de domínio da rodovia, suas entrvias, faixas de domínio de Linha de Transmissão e ainda aquelas áreas requeridas para as obras de consolidação.

*** Risco geotécnico condiz às áreas de grande instabilidade geológica.

**** O risco ambiental condiz com a proteção de vertentes e as áreas no interior do PESM.

***** Área de Proteção Permanente estabelecida pelo Município de Cubatão.

Segundo a *Comunicação Internacional do Governo do Estado de São Paulo* este projeto teve investimentos de R\$ 1,07 bilhão do Governo, sendo R\$ 702 milhões provenientes do Estado e R\$ 369,36 milhões em financiamentos do Banco Interamericano (BID). Até o presente momento já foram realizadas etapas

importantes do programa como: congelamento da expansão habitacional, levantamento aerofotogramétrico da Serra do Mar (que possibilita delimitar as áreas de preservação, desmatadas e as de habitação), delimitação das áreas que oferecem risco à moradia, cadastramento e levantamento de toda a população local, e realocação de milhares de famílias. As obras de reurbanização nos bairros Cota estão perto de serem inteiramente concluídas. O próximo passo do programa é o de recuperação ambiental através da limpeza das áreas liberadas (que antes eram habitadas) e do reflorestamento com espécies nativas, o que deve garantir, juntamente com o monitoramento e patrulhamento da região, condições para a recomposição do bioma.

Bairros	Áreas que serão desocupadas, reflorestadas e reincorporadas ao Parque Est. da Serra do Mar (valores aproximados em m²)
Cota 400	70.000
Cota 200	270.000
Cota 100/95, Pinhal/ Fabril	220.000
Água Fria	240.000
TOTAL	800.000

Figura 7 - Ganhos em Reflorestamento (Fonte: apresentação de João Abukater na 5ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (COBRAE), em 2009)

5. FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DA SERRA DO MAR

5.1. LOCALIZAÇÃO

As condições geológicas e climáticas da região da Serra do Mar intensificam muito os problemas relacionados aos deslizamentos de terra. Desta forma, o estudo dos taludes naturais localizados nesta área é fundamental para o entendimento total do problema no que tange à engenharia (diagnóstico, prognóstico e soluções a serem adotadas).

A Serra do Mar possui cerca de 1.500 quilômetros dentre o litoral leste e sul, e aproximadamente 750m de altura. Neste trabalho será dada uma maior atenção para os Bairros-Cota, localizados às Margens da Rodovia Anchieta, na região da encosta que separa a planície de Cubatão do planalto do município de São Bernardo do Campo.



Figura 8 - Vista do Bairros Cota

5.2. FORMAÇÃO DAS ENCOSTAS (GEOMORFOGÊNESE)

As origens das grandes cadeias montanhosas, assim como as escarpas e encostas, estão geralmente associadas aos movimentos tectônicos e magmáticos envolvendo grandes porções da crosta terrestre a nível continental ou regional. Foi assim que as principais cadeias de montanhas hoje existentes

como os Andes, os Alpes e o Himalaia foram produzidas: através de grandes dobramentos (Leinz, 1977).

O relevo atual das encostas vem sendo modificado por processos erosivos que ao longo dos anos alteram a morfologia dos vales e espigões - que caracterizam a maioria das regiões serranas - principalmente aquelas localizadas em clima úmido com as condições climáticas que favorecem um intemperismo mais acentuado.

As cadeias de montanhas, bem como serras e morros, sofrem, de forma geral, dois processos de evolução, que por sua vez são opostos entre si. Um deles devido às movimentações tectônicas, acentuando o relevo acidentado ao elevar a cota do cume da montanha e ao mesmo tempo ampliando a área da planície. Por outro lado, ocorre a ação dos processos erosivos através dos seus agentes principais que são a água e o vento, e que sob a ação da gravidade transportam o material presente nas maiores altitudes para as cotas mais baixas. A combinação destes dois efeitos opostos define, com o passar dos anos, a morfologia dos relevos, situação que nunca é estática ou definitiva.

Alguns dos motivos decorrentes dos processos de instabilização que alteram a geomorfologia das encostas serão tratados nos itens a seguir.

5.3. EVOLUÇÃO DAS ENCOSTAS

De acordo com Couto (2005), a Serra do Mar tem origem tectônica e sua evolução recente é baseada nos movimentos de massa, que por esculpir o relevo faz parte da evolução natural.

A problemática dos deslizamentos de massa, no cunho ambiental, é devido à Serra do Mar estar situada em uma zona de preservação da Mata Atlântica com floresta nativa e uma enorme variedade de fauna e flora ameaçados de extinção que, ao ocorrer deslizamentos, são destruídos. Como principal problema de cunho econômico e social tinha-se a quantidade de famílias que habitavam a região de forma irregular nos Bairros Cota, além da existência de Rodovias de suma importância para o escoamento de insumos e

pessoas entre São Paulo e litoral, o que aumenta ainda mais a necessidade de prevenção de deslizamentos. Como exemplo da região estudada temos a Rodovia dos Imigrantes e Rodovia Anchieta, as quais podem ficar soterradas por deslizamentos de terra, ou até mesmo ter algum trecho destruído.

São alguns processos de instabilização, causados por uma série de fatores, que acarretam os deslizamentos de massa. Agora serão estudadas as causas de instabilização, as quais podem ser divididas entre causas naturais e outras causadas por ação antropológica.

5.3.1. CAUSAS NATURAIS

A evolução natural dessas encostas ocorre condicionada pelos fatores básicos como a geologia e o clima, e por fatores decorrentes como a vegetação e o intemperismo.

5.3.1.1. GEOLOGIA

A existência das diferentes formas de relevo, assim como a variação entre as espessuras das camadas do solo, tanto sedimentares quanto nos horizontes residuais, dependem, fundamentalmente, da litologia dos materiais constituintes ou que lhes deram origem.

As escarpas da Serra do Mar só subsistem devido aos tipos litológicos muito resistentes que predominam em sua formação, constituídos essencialmente de rochas ígneas e metamórficas como granitos, gnaisses, xistos e migmativos diversos (Almeida, 1953). Não seria imaginável uma conformação geográfica semelhante num clima subtropical, com taludes tão íngremes e de tamanha altura, em rochas brandas como argilitos, siltitos, folhelhos, etc. A Serra do Mar possui trechos de até 1000m de altura, e os taludes podem atingir ângulos superiores a 45°.

Os escorregamentos nos Morros de Santos e São Vicente estão associadas à ruptura de declive. Tratam-se de escorregamentos translacionais que, devido às condições topográficas locais, se transformam geralmente em

corridas de lama. Estes escorregamentos translacionais envolvem, em geral, espessuras muito reduzidas da capa de solo superficial, de 0,5m a 3,0m São muito frequentes, ocorrendo de maneira generalizada nas épocas de chuva. As encostas aproximadamente retilíneas evoluem sob a ação de sucessivos e frequentes escorregamentos translacionais de pequena espessura. Os topos dos morros sofrem, em intervalos de tempo muito maiores, as rupturas de grandes massas cujas cicatrizes de formato conchoidal vão, posteriormente, sendo desgastadas pela erosão e por pequenos escorregamentos das bordas remanescentes (Wolle, 1980).

Esse processo evolutivo deve ocorrer de maneira semelhante em toda a extensão da Serra do Mar. As porções inferiores das encostas, que no caso das escarpas da Serra do Mar são constituídas geralmente de depósito de tálus, também sofrem processos de evolução natural. Por ocasião dos movimentos que acumulam estas massas junto ao sopé das encostas, atua, como principal processo de instabilização, a erosão pelas águas pluviais. No clima tropical úmido das vertentes da Serra do Mar, no entanto, rapidamente a vegetação volta a cobrir tanto as cicatrizes dos escorregamentos quanto os depósitos de detritos formados. Estes passam então a sofrer, preferencialmente, os processos de deformação lenta como “creep” ou rastejo, caracterizando-se o seu movimento por um escoamento visco-elástico que se acentua em épocas de maior pluviosidade e se reduz ou chega a estabilizar-se temporariamente nas épocas mais secas (Wolle, 1980).

Como se verá a seguir, essa descrição é exatamente o que ocorre na região dos Bairros Cota. A comunidade está instalada no sopé da encosta da Serra do mar, numa região de depósito de tálus.

5.3.1.2. CLIMA

Os condicionantes climáticos, no quesito da instabilização, podem ser classificados de duas maneiras: “preparatórios” (quando considerado o fator do clima no intemperismo) ou “deflagrantes” (no caso de chuva intensa, degelo, avalanche de neve ou gelo, ventos, etc).

Na forma de condicionantes “preparatórios” para os movimentos de massas em encostas naturais, os fatores climáticos determinam a evolução do manto de alteração dos maciços. Esta atuação que resulta na degradação física, química ou biológica das rochas é conhecida pelo termo geral de intemperismo.

Praticamente todos os eventos de instabilização nas encostas naturais são deflagrados pela atuação de agentes de caráter climático, como as chuvas intensas. Já em regiões de clima frio, os agentes mais importantes são aqueles ligados ao gelo (congelamento, degelo, movimento das geleiras).

Os efeitos térmicos sobre a estabilidade de taludes são muito pronunciados em longo prazo na medida em que condicionam diretamente à alteração de rochas e solos através do que se denomina “intemperismo físico”, e indiretamente na medida em que todas as reações químicas e bioquímicas são influenciadas pela temperatura do meio em que se processam. Desta forma, a temperatura atua como agente indireto no condicionamento dos processos de intemperização química e bioquímica das rochas e dos minerais.

Nos climas quentes, especialmente no tropical úmido, o intemperismo químico é o fator condicionante das características dos espessos mantos de solos residuais produzidos pela alteração de rochas. Já nos climas frios predomina a ação física decorrente do congelamento e degelo de caráter sazonal.

Os efeitos térmicos podem estar associados diretamente com a ocorrência de rupturas ou de processo de movimentação, atuando como agentes efetivos (deflagrantes) e não como condicionantes. Esta atuação é mais pronunciada em taludes rochosos íngremes ou em barrancos terrosos subverticais. Trata-se da ocorrência de quedas de blocos de rocha ou torrões de solos argilosos devido às sucessivas dilatações e contrações de origem térmicas associadas à ação da gravidade. Estas quedas de blocos passam a adquirir maior importância em certos taludes rochosos, onde o movimento

inicial de um bloco pode vir a deflagrar uma avalanche envolvendo o material solto e instável da encosta.

O regime pluviométrico é de incontestável importância no quesito da instabilização, tanto nos quesitos de agente condicionantes quanto nos de deflagradores dos processos.

Como fator condicionante, o papel da água está intimamente associado aos fatores térmicos já descritos nos processos de intemperização física e química dos materiais rochosos e seus produtos terrosos.

Nos climas tropicais, em que estão associadas temperaturas elevadas e intensa pluviosidade, ocorrem horizontes de solos residuais com dezenas de metros de espessura enquanto que, nas regiões áridas ou desérticas, os produtos de alteração “in-situ” dos materiais rochosos se restringem a alguns centímetros de solos residuais denominados “litosolos”.

A água, como condicionante dos processos de intemperização química, funciona como veículo de substâncias quimicamente ativas que vão proporcionar o ataque dos minerais constituintes das rochas, tais como o gás carbônico, o ozônio e o nitrogênio, ou ainda atua diretamente na medida de sua ionização, função direta da temperatura (Vargas,1971). No intemperismo biológico, a água carrega o ácido húmico e outras substâncias de origem vegetal ou animal que contribuem para a alteração dos minerais da crosta terrestre. No intemperismo físico em locais frios, a água está presente no congelamento, degelo e nos efeitos resultantes deste fenômeno, assim como nos processos erosivos ligados ao carregamento de partículas de minerais. Finalmente, a água pode estar ainda como elemento solubilizante de certos minerais solúveis, atuação esta de especial importância quando se trata de rochas calcárias.

Contudo, é como agente deflagrador dos processos de instabilização que a atuação da água nos taludes assume sua importância máxima. Esta situação ocorre de diversas (e as vezes controversas) maneiras. A seguir,

listam-se os modos de atuação da água como elemento deflagrador de processos de instabilização de taludes:

- O fluxo d'água nos meios terrosos provoca a ocorrência das “forças de percolação” que podem provocar rupturas ou movimentações dos taludes. A ocorrência destes fenômenos está associada às pressões neutras (piezométricas) no talude;
- O fluxo d'água nos meios rochosos, através de seu sistema de fissuras e trincas, provoca também o aparecimento de “forças de percolação” que podem originar fenômenos de instabilização;
- A ocorrência de água em trincas e fissuras, tanto em meios rochosos quanto terrosos, provoca o aparecimento de pressões hidrostáticas (no caso de água “parada”) ou hidrodinâmicas (no caso de água em movimento) que podem provocar abertura das descontinuidades e também ruptura nos taludes;
- A erosão interna nos meios terrosos (“piping”) pode instabilizar o talude pela alteração de sua geometria, provocando escorregamento ou subsidências;
- A saturação do solo pela água de infiltração das chuvas pode provocar a diminuição da resistência deste material, dando origem a instabilizações;

Nota-se que a atuação da água nos diversos mecanismos de instabilização é complexa, ocorrendo, muitas vezes, associações de duas ou mais formas de atuação, o que dificulta a análise do fenômeno.

É interessante de se notar que em cada região as encostas naturais estão como que acostumadas ao regime pluviométrico que lhes é imposto. Assim, em região de elevada pluviosidade como a Serra do Mar, as encostas estão sujeitas a uma incidência muito grande de chuva, de modo que somente

chuvas de intensidade muito elevada provocam ocorrência de escorregamentos de maior volume. Já em regiões onde os índices pluviométricos são menores, mesmo quando as condicionantes geológicas e de vegetação são semelhantes, chuvas bem menos intensas já provocam instabilizações nas encostas, conforme se comprova pelo estudo de Guidicini e Iwasa (1976).

De acordo com a DAEE, a Serra do Mar está localizada em uma das regiões com maiores índices pluviométricos de São Paulo, chegando a marca de 4.000 mm anuais.

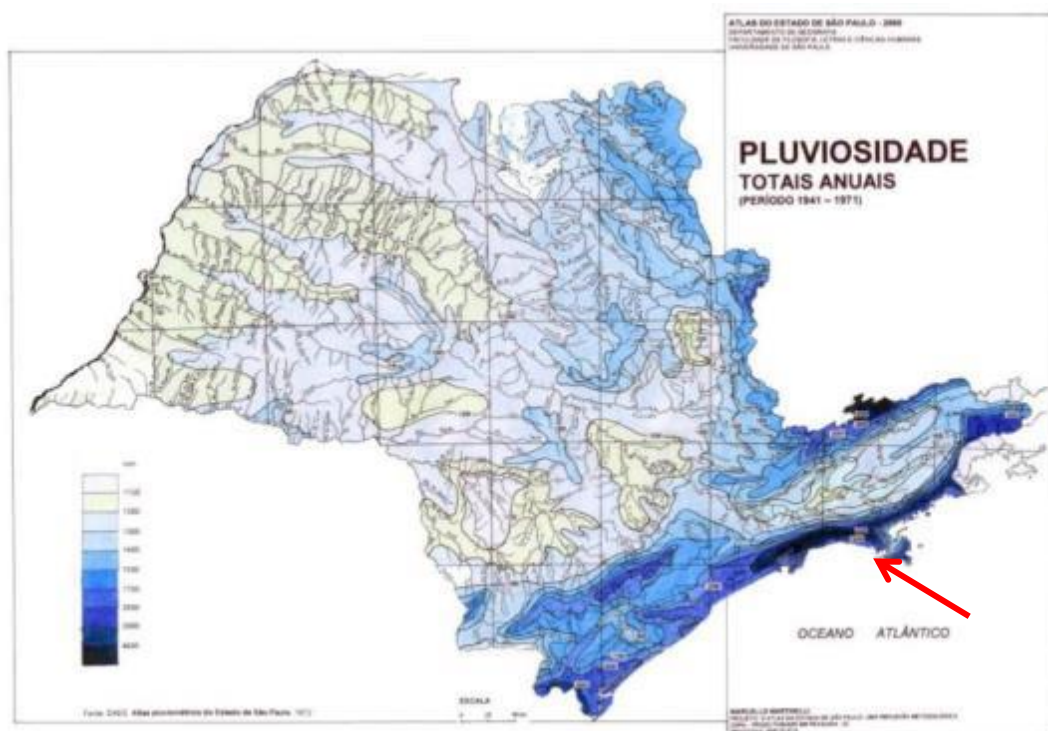


Figura 9 – Mapa de Pluviosidade total anual

5.3.1.3. VEGETAÇÃO

O efeito da instabilização correlacionados com a vegetação possui dois aspectos importantes: o efeito do desmatamento sobre a estabilidade dos taludes e a presença de raízes sobre a resistência ao cisalhamento dos solos.

No entanto, em certas ocasiões e situações parece que, mesmo sem nenhuma ação de origem humana, a cobertura vegetal de uma encosta pode

ter uma influência importante sobre os eventos que constituem a evolução natural desta encosta, como já citava Taylor (1948) ao expor os “escorregamentos espontâneos” causados, por exemplo, pela queda de uma árvore numa encosta coberta de floresta tropical.

A seguir, segue a definição feita por Gray (1973), a respeito da atuação da floresta sobre os taludes, através de quatro principais tipos de ações:

- Através do aumento de resistência das camadas superficiais de solo pela presença das raízes;
- Pela ação estabilizadora sobre os agentes hídricos, tanto os de ação pluvial quanto os da percolação subsuperficial;
- Pela sobrecarga nos taludes oriunda do peso da vegetação.
- Pela ação mecanizada dos ventos induzindo momentos e esforços horizontais ou sub-horizontais e pela ação de cunha das raízes ao penetrarem no terreno.

Com relação ao “balanço hídrico”, a vegetação e, em especial, a floresta tropical constituem fator importante na proteção do solo conta a ação das chuvas, seja por reduzir o impacto das gotas d’água sobre o mesmo, ou por diminuir o escoamento superficial diminuindo ou até mesmo eliminando os processos erosivos, ou por reduzir a parcela d’água que infiltra efetivamente no maciço e que pode vir a instabilizá-lo provocando escorregamentos.

Por outro lado, como salientou Gray (1973), a floresta apresenta também efeitos instabilizadores sobre os taludes, os quais, em geral, tem importância bastante menor.

5.3.1.4. INTEMPERISMO

O intemperismo, também causador da instabilização, representa o conjunto de processos físicos, químicos e bioquímicos que atuam sobre os

materiais rochosos ou terrosos componentes da crosta terrestre, alterando suas características físico-químicas e promovendo a degradação de suas propriedades mecânicas através da ação dos agentes atmosféricos tais como a água, o gás carbônico, o ozona, os produtos de decomposição animal e vegetal como húmus e outros.

5.3.2. CAUSAS ANTROPOGÊNICAS

A ação do homem, ao executar obras nas encostas ou adjacente às mesmas, altera o ritmo da evolução natural das encostas, tanto acelerando o ritmo, quanto diminuindo-o.

Como exemplo, temos a execução de cortes e aterros nas encostas, a alteração nos sistemas de drenagem naturais e o desmatamento como atividades que tendem a acelerar o ritmo da evolução destas encostas na medida em que provocam, localmente ou de maneira generalizada, as instabilizações dos taludes ou de partes destes (além da atuação de outros agentes naturais ou artificiais que provocam fenômenos de instabilização nas encostas, especialmente ligadas à erosão).

As alterações geométricas realizadas nos taludes através de cortes, aterros, túneis e escavações diversas provocam alterações nos estados de tensão atuantes nas regiões contíguas. Estas alterações podem ser benéficas para a estabilidade do talude, mas podem também ser prejudiciais. Geralmente, uma alteração geométrica introduz alterações nas tensões atuantes de forma a provocar situações tendentes à instabilidade em certos pontos e à estabilização em outros.

Pode-se também, alterar as condições de drenagem ao modificar a geometria dos taludes e, com isso, facilitar a erosão.

A execução de cortes nas encostas está associada a vários processos de instabilização e a grande maioria dos casos históricos de ruptura condicionados pela ação do homem. O motivo é que o corte provoca uma alteração no estado de tensões atuantes no maciço, que tende a instabilizar a

região do talude remanescente a montante, mas provoca o efeito inverso na região do talude imediatamente abaixo do patamar do corte. As tensões de tração que podem chegar a ocorrer junto à borda do talude de escavação, se este for suficientemente íngreme, tenderão a provocar o aparecimento de trincas de tração nesta região, o que comprometerá ainda mais a estabilidade já diminuída do talude. Durante a ocorrência de chuvas, estas trincas podem vir a ser preenchidas por água, ocasionando pressões hidrostáticas ao longo de suas faces e ainda facilitando a penetração da água no interior do maciço, fato ao qual estão associados inúmeros escorregamentos e outros modos de instabilização dos taludes.

Um processo tradicional de construção de rodovias e ferrovias em regiões serranas tem sido o de executar a plataforma da estrada parcialmente em corte e parcialmente em aterro, procurando otimizar a relação de volumes de materiais envolvidos, de forma a evitar a necessidade de maiores bota-foras ou áreas de empréstimo. Desta forma, na maioria das nossas estradas existem aterros construídos sobre as encostas, muitos dos quais sofrem problemas de instabilidade por diversos motivos.

Um local em que a execução de um aterro sobre um corpo de talus provocou o aparecimento de movimentação do terreno natural é a “Curva da Onça”, localizada na Via Anchieta, próximo ao Bairro-Cota 500. Este local adquiriu fama devido aos sérios problemas geotécnicos verificados após a construção da rodovia, os quais levaram à necessidade de desmonte de dois viadutos, recolocação da pista e intensos trabalhos de estabilização de taludes nas décadas de 1950 e 1960. Quando em 1978 foi realizada nova relocação da pista com execução de um aterro sobre o talus anteriormente estabilizado, um novo processo de movimentação lenta foi desencadeado.

Ao se realizar obras nas encostas, o de praxe é ter como o primeiro passo, o desmatamento da região, já acarretando diversos problemas relacionados com a chuva e a incidência da água, ocasionando todos fatores já citados sobre a proteção natural das copas das árvores quanto ao impacto da água da chuva.

Nas obras nas encostas também existe o problema do destino da água coletada. Toda a água de uma área, ao invés de ser absorvida pelo solo, é canalizada e jogada numa região a jusante. Se esse local não for livre o bastante de encosta, o acúmulo de água pode ocasionar uma erosão.

5.4. TIPOS DE SOLO NOS BAIRROS COTAS

Os Bairros Cota estão localizados ao sopé da encosta da Serra do Mar numa região onde, ao longo dos anos, foram depositados todos os tipos de material detrítico provindos de cotas mais elevadas. Esse depósito é denominado de tálus. Foi formado então um depósito de precaríssima estabilidade em que houve uma pequena estabilização pela água ser parcialmente drenada e pelo crescimento da vegetação.

Salomão e Antunes (1998) descrevem estas formações como segue:

“Tálus são depósitos formados pela ação da água e, principalmente, da gravidade, compostos predominantemente por blocos de rocha de variados tamanhos, em geral, arredondados, envolvidos ou não por matriz areno-silto-argilosa, freqüentemente saturada. Estes depósitos podem ter variadas dimensões, ocorrendo, ao contrário dos coluviões, de forma localizada, com morfologia própria, ocupando os sopés das encostas de relevos acidentados como serras, escarpas, etc. Os tálus também podem apresentar movimentos como o rastejo, que podem se alterar caso tenham seu frágil equilíbrio alterado, como, por exemplo, por um talude de corte.

Em vista disto são depósitos quase sempre problemáticos e de difícil contenção quando estáveis. Depósitos de tálus mais antigos, provavelmente de idade terciária, apresentam quase sempre a matriz laterizada, sendo, nestes casos, depósitos mais consolidados, sem nível d’água e mais estáveis.”

Fica evidente, portanto, o principal problema do Tálus: a facilidade de ocorrer instabilizações como rastejo e escorregamentos, junto com a dificuldade de estabilizar.

5.5. SONDAGENS

Essas são sondagens realizadas no ano de 2012 nos bairros Cota 95/100. Elas indicam um elevado nível d'água, uma presença de solo de aterro caracterizando o tálus (na primeira sondagem), e a presença de uma grande camada de gnaiss (segunda sondagem) logo abaixo do aterro feito de entulho, justificando assim a resistência e capacidade de suportar taludes muito íngremes.

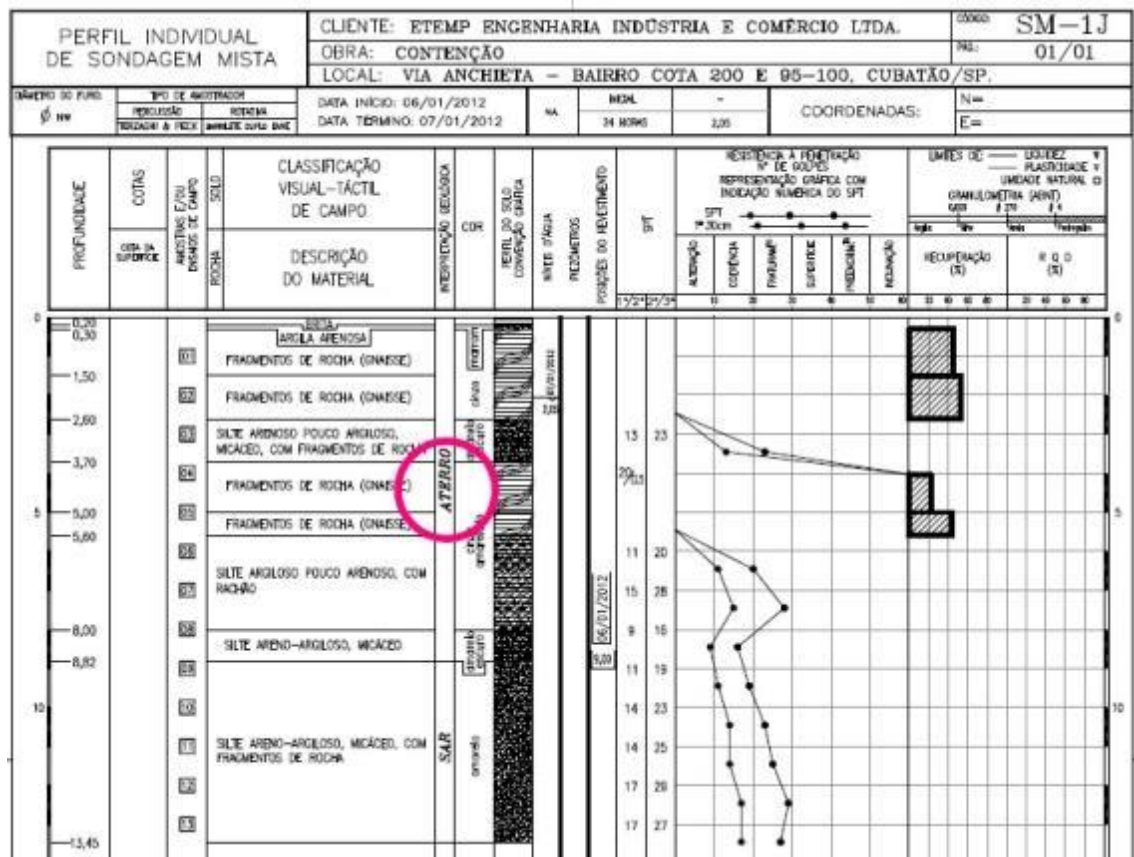


Figura 10 - Sondagem 1

Figura 11 - Sondagem 2

6. INTERPRETAÇÃO DA NORMA NBR 11682:2006

Finalizado o estudo da formação e evolução das encostas e solos decorrentes, torna-se necessária uma revisão da Norma Brasileira NBR 11682:2006 – “Encostas Naturais” a fim de um aprofundamento no assunto, o que permitirá a interpretação e exposição dos principais problemas enfrentados nos deslizamentos de encostas naturais, especialmente no que tange os Bairros Cota.

6.1. NORMA

Decidida a necessidade de intervenção no problema, faz-se necessário um planejamento correto, de maneira a mitigar os erros e aumentar a eficiência do encaminhamento do projeto. Dessa forma, alguns procedimentos serão descritos para que, assim, haja um roteiro de apoio para a condução de decisões.

6.2. PROJETO

Segundo a NBR 11682, a etapa de concepção deve abordar basicamente as seguintes etapas:

- Caracterização do perfil geológico (número de seções depende da dimensão e heterogeneidade da seção em questão);
- Caracterização do tipo de instabilização do terreno;
- Definição do modelo de cálculo do terreno;
- Definição clara dos parâmetros utilizados;
- Diagnóstico;
- Indicação das possíveis alternativas de solução;
- Concepção do projeto propriamente dito, incluindo detalhamento sobre as fases de execução.

6.3. PROCEDIMENTOS PRELIMINARES

São procedimentos com o intuito de se conhecer as características gerais do local acessando dados já existentes da região e programando outras possíveis investigações que forem julgadas necessárias

6.4. INVESTIGAÇÕES

Espera-se que devam ser realizados todos os tipos de ensaios (sondagens e coletas de dados) com o intuito de criar um bom embasamento (modelo geológico/geotécnico) para o início do projeto.

As investigações geotécnicas têm como principal objetivo determinar o perfil geotécnico. Os tipos de investigações a serem adotadas podem ser divididas em dois tipos, os de procedimento direto e os geofísicos.

Os procedimentos diretos são as sondagens, execução de poços de inspeção, medidores de torque, penetrômetros, medidores de poro pressão ou de sucção. Para cada seção escolhida devem ser executadas no mínimo 3 sondagens de modo a determinar a estratigrafia no terreno. As últimas devem ser executadas até atingir o substrato mais resistente do terreno. Também devem ser recolhidas amostras do terreno, armazenando-as e etiquetando-as de maneira adequada para que não haja problemas relacionados a identificação. Suas retiradas devem seguir os procedimentos previstos nas normas NBR 9604(casos acima do NA) e NBR 9820(casos abaixo do NA).

Os procedimentos geofísicos são aqueles que buscam identificar o terreno a partir de correlações físicas (refração de ondas, reflexão, condutividade elétrica e etc).

6.5. ELABORAÇÃO DO PROJETO

O projeto deve indicar o melhor, ou os melhores mecanismos de estabilização, que atendam o problema. Dessa forma, a escolha da solução deve se apoiar nos mecanismos de instabilização, objeto de estudo mais detalhado neste trabalho, escolha de seção representativa de acordo com análise crítica das sondagens e apresentação dos parâmetros representativos das camadas de solo do terreno.

Definida a solução de estabilização, um estudo completo deve elaborar um projeto básico e um projeto executivo. A diferença entre eles está no nível

de detalhamento, sendo o executivo os elementos projeto básico somados a detalhes como a memória de cálculos de dimensionamento de elementos estruturais baseados na NBR6118(dimensionamento de elementos de concreto armado) e na NBR6122 (dimensionamento de elementos de fundação).

6.6. FATOR DE SEGURANÇA (FS)

O fator de segurança possui relação direta com a resistência ao cisalhamento do solo, de modo que quanto maior um FS, maior será a proteção do talude contra a ruptura do mesmo. O valor irá variar de acordo com diversos fatores, como parâmetros do solo, geometria, nível da água, sobrecargas envolvidas dentre outros. Numericamente, o fator de segurança possui um limiar indicado pelo número 1. Se o valor for superior a 1, indica que o talude está estável, se menor, indica uma instabilidade e provável ruptura do mesmo.

Com o intuito da proteção e segurança, os trabalhos e soluções procuram nos garantir fatores com uma determinada folga, sempre superiores a 1. Essa folga é orientada baseando-se nos Níveis de Segurança. Os últimos variam de acordo com as condições locais, fazendo-se uma ponderação entre os desejados contra a perda de vidas humanas e contra os danos materiais e ambientais. A Norma orienta de modo que, os números obtidos, estejam sempre superiores a 1,2 para um nível de segurança baixo, maiores que 1,4 para o médio e superiores a 1,5 para um alto nível de segurança.

As tabelas abaixo servem como base para a escolha entre os níveis de segurança para os ambientes desejados (NBR 11682):

Níveis de segurança desejado contra perdas humanas:

Nível de segurança	Critérios
Alto	- Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas

	- Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	- Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas - Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido
Baixo	- Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita - Rodovias de tráfego intenso

Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderados 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

Conforme explicado anteriormente, a escolha no fator de segurança vem a partir de uma ponderação entre esses resultados deve seguir a tabela abaixo:

Fatores de segurança mínimos para deslizamentos (NBR11682):

NS contra danos materiais e ambientais (1) x NS contra danos a vidas humanas (2)	Alto (2)	Médio (2)	Baixo (2)
Alto (1)	1,5	1,5	1,4
Médio (1)	1,5	1,4	1,3
Baixo (1)	1,4	1,3	1,2

Uma vez apresentados os critérios. O objetivo deste trabalho agora é de enquadrar, dentro dos mesmos, o caso estudado.

Para os bairros cota temos que uma situação que, pela primeira análise, se coloca na necessidade de garantir um **nível de segurança alto**, uma vez que apresenta risco a uma região com habitações de diversas famílias conforme já fora discutido anteriormente.

Pelo segundo critério, embora as propriedades da região não apresentem, isoladamente, valores agregados baixos, elas são muito numerosas, além de haver necessidade de se levar em conta o ponto de vista social. Apesar de possuírem pouca valorização sob o ponto de vista imobiliário, estas habitações, para aqueles que as utilizam como moradia, possuem o valor agregado de uma vida inteira. Pelo lado ambiental do problema, os deslizamentos causam danos ligados a processos erosivos naturais, que pelas informações sobre propriedades próximas não levam a um desastre de grandes proporções. Dessa maneira, acredita-se que os estudos devem ser

margeados por meio de uma decisão que, sob este critério, busque – se um nível de segurança de médio para alto.

A ponderação dos critérios, levando-se em conta o método de análise da norma, já citado, no leva as exigências de um **fator de segurança mínimo de 1,5.**

6.7. ESTUDO DE ESTABILIDADE DE TALUDES NATURAIS

Para o estudo dos casos em questão, pode-se fazer uso de uma extensa gama de métodos de equilíbrio limite. Esta seção tem como principal objetivo realizar uma leve introdução e em seguida, com o auxílio de literatura especializada e programas computacionais, prosseguir com uma análise comparativa a partir de um dos procedimentos em questão, visualizando a influência de fatores como elevação da linha freática e diminuição progressiva da coesão em um talude natural.

Dentre os métodos, será dado foco à análise comparativa entre quatro deles: Fellinius, Bishop, Morgenstern e Price, Cullman. Embora todos tenham como origem o conceito de equilíbrio limite, cada um possui suas próprias particularidades e hipóteses iniciais diferentes para o cálculo do fator de segurança, o que leva a resultados singulares para cada tipo de característica.

Importante salientar que, conforme já fora informado anteriormente, os ângulos dos taludes da região dos bairros cota são elevados, e muito embora, os quatro primeiros métodos citados partam do princípio que a ruptura de um talude ocorre em uma seção circular e o último tenha como ponto de partida uma ruptura planar, estes podem ser comparados entre si, uma vez que para superfícies mais íngremes a ruptura a cunha esférica tende a se achatar, aproximando-se de uma ruptura planar.

A seguir pretende-se gerar uma breve descrição de cada um dos métodos citados:

6.7.1. MÉTODO FELLENIUS

Conforme citado, tem como premissa uma ruptura em seção circular e seu fator de segurança calculado através do equilíbrio de momentos. Uma característica relevante neste método é o fato de que o mesmo negligencia forças tangenciais entre as lamelas e normais às paredes das fatias, como é o caso das pressões neutras. Por conta dessas mesmas considerações e conservadorismos, existe uma tendência deste método apresentar problemas durante o cálculo de fatores de segurança para regiões níveis elevados de lençóis freáticos.

A figura abaixo ilustra as forças consideradas como atuantes sobre as lamelas:

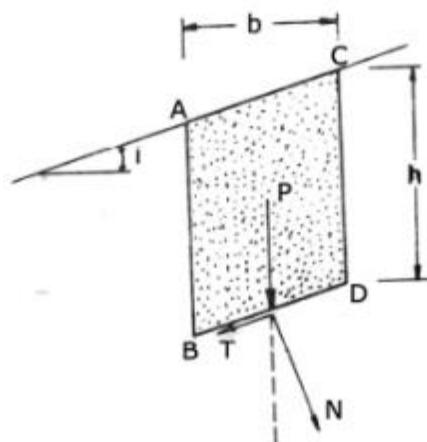


Figura 12 - Fellenius

P= Peso próprio da lamela;

N= Força normal entre lamela e a superfície externa a cônica de ruptura;

h= dimensão da face vertical da lamela;

b= dimensão horizontal da lamela

6.7.2. MÉTODO BISCHOP SIMPLIFICADO

Considera ruptura circular, com hipótese de que a resultante das forças entre as fatias é horizontal. A solução para este método ocorre a partir de um processo iterativo onde o F_{si} (fator de segurança inicial) é arbitrado. Este método fornece fatores de segurança mais rigorosos e condizentes com a realidade quando comparado ao método de Fellenius, principalmente para regiões onde trabalhamos com variações do nível do lençol freático e pressões neutras mais elevadas.

A figura abaixo mostra as forças atuantes sobre as lamelas, consideradas pelo método de Bishop:

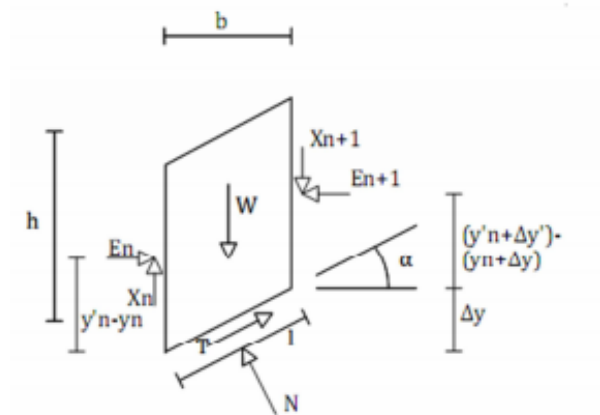


Figura 13 – Bishop Simplificado

6.7.3. MÉTODO DE CULLMAN

Diferente dos métodos anteriores, este considera uma ruptura plana. Para obtenção do resultado analisa-se o equilíbrio de uma cunha de solo situada acima da superfície de escorregamento. O equilíbrio quando o solo não apresenta influência de pressões hidrostáticas pode ser descrito pela figura abaixo, levando-se em conta as seguintes hipóteses:

- P é o Peso da cunha delimitada pelo triângulo ABD;
- R é a reação do maciço incidente sobre o plano BD e com desvio Φ ;
- Força de coesão c atua ao longo do sentido do escoamento;
- H é a altura na vertical do talude;
- α é o ângulo formado entre a superfície estudada e a horizontal;
- i é o ângulo de inclinação do talude;
- c é a coesão do terreno

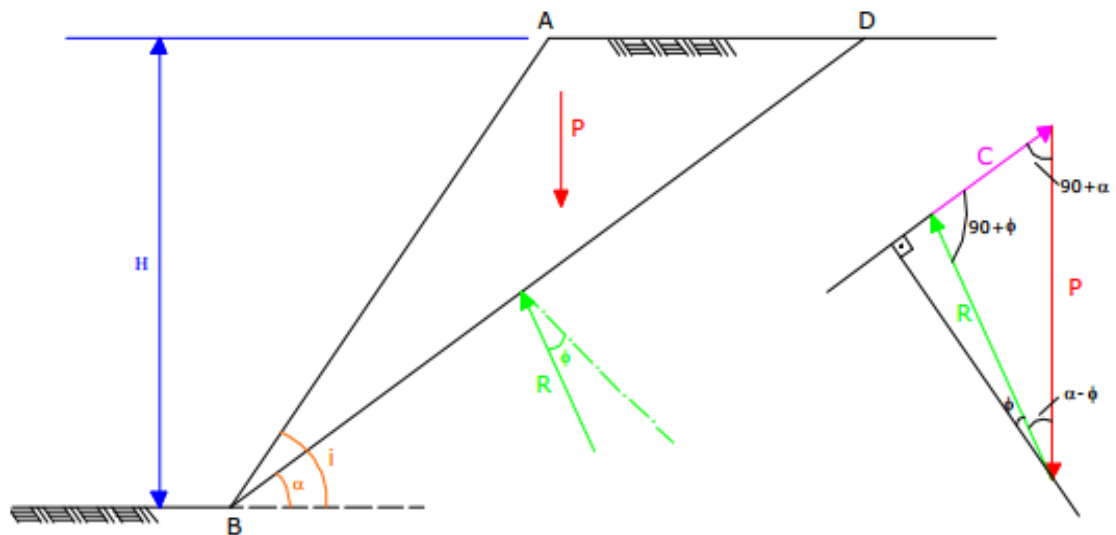


Figura 14 - Cullman

Aplicando-se a lei dos senos para o equilíbrio em questão temos que o fator de segurança pode ser calculado por:

$$FS = c \cdot l / ((\cos \Phi - \cos i) / (4 \sin i \cdot \cos \Phi) \cdot \gamma \cdot H)$$

6.7.4. MÉTODO DE MORGENSTERN E PRICE

O método de Morgenstern e Price assume que existe uma relação entre as forças cortantes e as forças normais entre as lamelas. Essa ligação é

estabelecida através de uma função e um fator λ , que juntos, satisfazem o equilíbrio de forças e momentos para lamelas de espessura finita, de modo que:

$$X = \lambda f(x)E$$

Sendo: X = força cortante; E = força normal

Este é o método mais geral de equilíbrio limite, sendo considerado um método rigoroso por atender as três condições de equilíbrio limite. A figura abaixo mostra esquematicamente todos os esforços considerados atuantes na lamela.

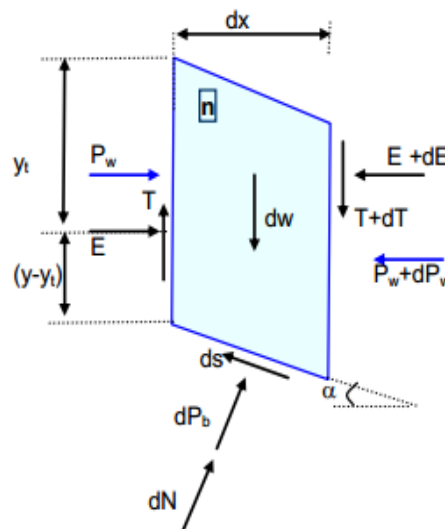


Figura 15 – Morgenstern e Price

Considerando: dW = peso da fatia

P_w = Poropressão ao redor da fatia

dP_b = resultante na poropressão na base inferior da fatia

E e T = esforços entre fatias

ds = resistência da base

6.7.5. COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

O presente estudo não tem como objetivo principal fazer uma análise a fundo sobre a efetividade dos métodos apresentados, através de simulações da aplicação dos mesmos sobre superfícies e encostas para posterior comparação.

Dessa maneira, apenas como critério de justificativa para a escolha de um método em relação a outro, busca-se o método mais completo, que possa ser usado de maneira mais generalista.

Inicia-se a análise pelo método de Cullman, que tem como premissa uma superfície plana de ruptura, diferenciando-se dos demais. Essa aproximação é muito válida para taludes subverticais, como é o caso da maioria dos taludes naturais presentes na Serra do Mar e na região dos bairros Cota, uma vez que para casos em que o ângulo de inclinação do talude é grande, a cunha esférica proposta pelos demais métodos se confunde com a superfície plana proposta.

Dentre os métodos restantes, todos têm como premissa a superfície de ruptura circular. Dessa maneira, busca-se analisar o mais completo do ponto de vista de consideração das forças atuantes sobre as lamelas e seus respectivos equilíbrios.

O quadro abaixo serve como esquema comparativo sob estes critérios:

Método	Superfície	$\Sigma M = 0$	$\Sigma Fh=0$	$\Sigma Fv=0$	Força E	Força X
Fellenius	Circular	Sim	Não	Sim	Não	Não
Bishop simplificado	Circular	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Morgenstern Price	Circular	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

ΣM = Equilíbrio de momentos;

ΣF_h = Equilíbrio das forças na horizontal;

ΣF_v = Equilíbrio das forças na vertical;

Força E = Força horizontal, pressões neutras;

Força X = Força entre lamelas;

Sendo assim, conclui-se que o método mais completo, capaz de enfrentar as situações mais generalistas citadas é o método de Morgenstern-Price. Sua escolha é preferencial sobre o método de Cullman pois, muito embora os cálculos pelo último sejam mais fáceis de serem realizados, com o auxílio de programas computacionais como é o caso do Slope/W, esse quesito se iguala e Morgenstern e Price passa a ser um método completo e prático.

7. PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO NA SERRA DO MAR

Conforme adiantado anteriormente, o presente estudo se propõe a ilustrar e se aprofundar aquilo que se refere aos mecanismos de instabilização das encostas da Serra do Mar.

São muitas as classificações presentes na literatura como é o caso de Vargas e seus colaboradores. Para efeito de praticidade adotaremos a proposta por Wolle em um de seus trabalhos.

Wolle dividiu os principais tipos de escorregamentos em três classes e atribuiu subclasses para cada uma delas. O resultado de seu trabalho encontra-se na tabela abaixo.

Classe	SUBCLASSES	
Escorregamentos em solo	Escorregamentos translacionais (planares)	Provocados pela elevação de um N.A. pré-existente
		Provocados pela infiltração sem N.A. pré-existente
	Escorregamentos rotacionais	
	Escorregamentos provocados por desconfinamento	
Escorregamentos em rocha e saprolito	Quedas de blocos	
	Rolamentos de matacões	
	Deslizamentos de blocos e lascas	
	Escorregamentos estruturados	
Escoamentos lentos e muito lentos	Movimentos de massas de tálus (Colúvio)	
	Rastejo em solo superficial nas encostas	
	Rastejo profundo em rocha	

7.1. RASTEJOS DE MASSA DE TÁLUS

Geralmente, os corpos de tálus se encontram preenchendo vales ou depressões topográficas, que puderam conter o movimento original destes materiais. Na maioria destas formações existem algumas características comuns, bastante significativas:

- A conformação topográfica do relevo de tálus é geralmente, bem mais suave que a das encostas circunvizinhas;
- Em muitos casos, a deposição de massa bloqueou antigas linhas naturais de drenagem, perenes ou intermitentes, o que provoca o seu desvio ou então a sistemática captação das águas pelo tálus que, nestes casos, encontra-se comumente saturado e com nível d'água próximo à superfície;
- Há casos em que o bloqueio das drenagens produz percolação forçada por caminhos ou horizontais preferenciais, ocorrendo o fluxo sob pressões elevadas, inclusive ocasionando artesianismo em certos locais;
- O material que compõe o corpo de tálus é, geralmente, bastante heterogêneo, caracterizando-se na maioria dos casos, por uma matriz argilosa ou areno-argilosa, contendo seixos, blocos e matacões de rocha.

Como na maioria dos casos, as condições de drenagem do terreno são deficientes, os tálus ficam permanentemente no estado de saturação, sujeito assim, aos processos de instabilização. Nestas condições, as massas de tálus apresentam movimentos contínuos, na forma de “creep” ou rastejo. Quando a pluviosidade é acentuada, o movimento de rastejo pode se transformar em um rastejo.

Os rastejos, por se darem por um movimento não muito rápido, caracterizado por um fluimento visco-plástico da massa, não são protegidos por tentativas de contenção nestas encostas. Os muros de arrimo são destruídos, galgados ou envolvidos no deslizamento, as fundações são rompidas ou deslocadas, assim como as obras de drenagem e proteção superficial.

A solução para estabilização das massas de tálus se dá por duas alternativas, remoção ou drenagem profunda. O primeiro caso só é viável em

pequenas áreas e volumes, já a drenagem, é a principal solução adotada, de forma generalizada. Pelo motivo do tálus estar sempre saturado e com infiltração de água constante, qualquer alteração, como chuva, sobrecarga ou cortes poderá leva-lo a instabilidade devido ao baixo fator de segurança. A drenagem tem o intuito de reduzir o efeito da pressão neutra do fluxo d'água ou das subpressões causadas pelo represamento da água.



Figura 16 - Esquema escorregamento Talus

7.2. ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS PLANARES

São os mesmos escorregamentos presentes e já retratados no vale do Rio Mogi. Eles ocorrem normalmente junto a perfis retilíneos e espigões mais proeminentes (Wolle 1988). São caracterizados pelos escorregamentos de pequenas espessuras (no máximo 3 a 4m) grandes larguras (da ordem de dezenas de metros).

Conforme fora descrito na tabela, estes podem ocorrer graças a elevação do nível da água pré- existente. O mecanismo de deflagração surge a partir da consideração de que o solo está sobre uma superfície com permeabilidade consideravelmente inferior a do solo que se deposita sobre ela, normalmente uma rocha sã e muito pouco fratura, dessa maneira as linhas de fluxo são paralelas a superfície do talude. Devido a presença da chuva ocorre uma elevação no N.A e conseqüente aumento das pressões neutras e posterior diminuição das pressões efetivas.

Outra maneira existente de surgirem escorregamentos planares é através da infiltração com posterior formação de frentes de saturação. Ocorrem principalmente em regiões onde a parcela de coesão é composta principalmente pela tensão de sucção. A infiltração da água diminui essa tensão de sucção, reduzindo a coesão progressivamente e deflagrando o movimento de terra.

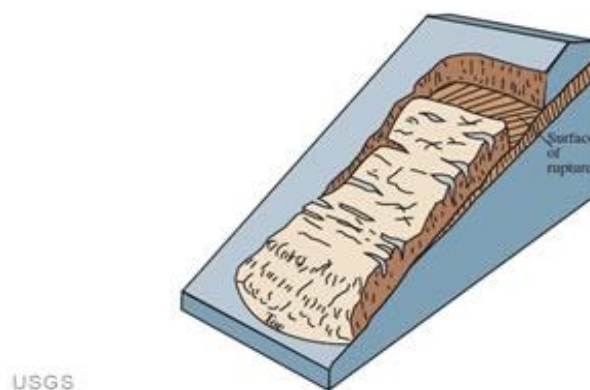


Figura 17 - Esquema escorregamentos translacionais planares

7.3. ESCORREGAMENTOS ROTACIONAIS

Dos padrões ilustrados, os rotacionais são os que possuem menor ocorrência e importância quando os estudos estão relacionados a Serra do Mar, como é o caso do trabalho aqui proposto. Estes apresentam diferença com relação aos escorregamentos translacionais quanto a sua profundidade pois, normalmente, ocorrem em camadas mais espessas de solo.

Quanto ao mecanismo deflagrador, deve-se predominantemente ao avanço de frentes de saturação e pressões neutras positivas em grandes horizontes terrosos. Quando as frentes de saturação atingem o nível da água pré-existente o escorregamento pode ser observado.

7.4. ESCORREGAMENTOS EM ROCHA

Os escorregamentos em rocha, embora ocorram em regiões específicas, onde as rochas já possuem um grau de fraturamento considerável, possuem

um elevado nível de subdivisões. Seja qual for a subclasse do escorregamento tratado, todos tratam de deslocamento de rochas ou matacões, inteiras ou parcialmente, sobre um mecanismo da gravidade.

As dimensões dos escorregamentos são extremamente variáveis, podendo ser a movimentação de pequenos pedregulhos e britas, até verdadeiros desmoronamentos de grandes proporções.

Os escorregamentos de rocha têm como premissa para seu início, a necessidade da ocorrência de desconfinamento dos blocos, seja por ações antrópicas ou seja por um processo erosivo do solo. Dessa maneira, as rochas passam a ser expostas e a água atua como agente deflagrador percolando sobre as trincas e rachaduras aumentando as tensões hidrostáticas em mecanismos semelhantes aos já vistos aqui neste mesmo estudo, sobre escorregamentos.



Figura 18 - Esquema escorregamento de rochas

7.5. ESCORREGAMENTOS PROVOCADOS PELO DESCONFINAMENTO

Esse tipo de escorregamento ocorre principalmente por conta da alteração da geometria natural do terreno, seja pela ação antrópica, através de

cortes realizados em função da realização de obras, como por exemplo a construção de moradias presentes nos bairros cota, ou seja pela erosão, que é um processo natural.

Quando ocorre a modificação previamente citada, existe uma redistribuição das tensões por conta da alteração e reposicionamento de uma determinada massa de solo que antes confinava uma determinada região. Esse desconfinamento, acompanhado de modificação no estado das tensões, pode ser o responsável pela deflagração de movimentos instabilizadores.

É importante também citar que, mesmo quando a modificação no confinamento não é diretamente a agente causadora do processo de instabilização, esta tem extrema importância, pois pode gerar o surgimento de fissuras e trincas, essas por sua vez, criam uma superfície preferência de infiltração. O aumento das pressões hidrostáticas leva a uma diminuição da coesão além de diminuição da tensão efetiva.

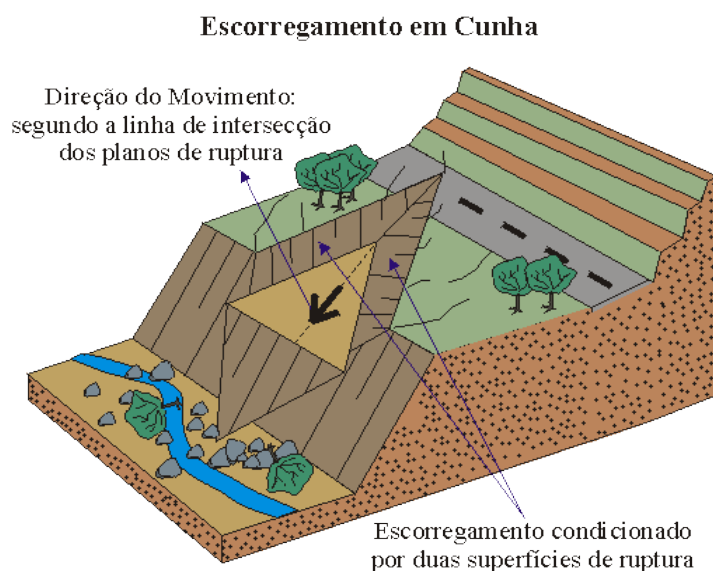


Figura 19 - Esquema desconfinamento

8. DIAGNÓSTICO

Essa etapa tem como principal objetivo identificar e confirmar as suspeitas, das condições e agentes causadores dos deslizamentos.

Em um primeiro momento, o estudo lançara mão de uma seção transversal hipotética, porém com camadas de solo e seus respectivos parâmetros como coesão, peso específico e ângulo de atrito correspondentes aos encontrados na região, para que assim seja mantida fidelidade com o caso proposto. É importante frisar que a seção não corresponde exatamente a uma seção representativa de toda a macro região da Serra do Mar, mas serão simuladas espessuras de camadas de solo e inclinações de taludes compatíveis.

O modelo utilizado para o cálculo será, conforme já fora decidido e discutido em item anterior deste mesmo trabalho, o modelo de Morgenstern e Price. Embora seja, entre todos os métodos discutidos, o mais trabalhoso para efeito de cálculo, mostrou-se ser o capaz de atuar de maneira abrangente na maioria dos casos. Somando-se isso o fato de irá ser feito uso do software computacional GeoStudio e o algoritmo presente no SLOPE/W, a dificuldade inerente citada pode ser superada.

8.1. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS

A primeira medida para que possa ser concretizado o diagnóstico é identificar o solo. Isso pode ser feito como auxílio de sondagens. Como modelo, será utilizada uma sondagem que mostra os horizontes de uma massa coluvial, seguida por uma camada de solo saprolítico e posteriormente a rocha matriz, impermeável. Esse tipo de composição é comum na região da Serra do Mar, mais especificamente da zona onde estão instalados os Bairros Cota, conforme sondagem ilustrada abaixo.

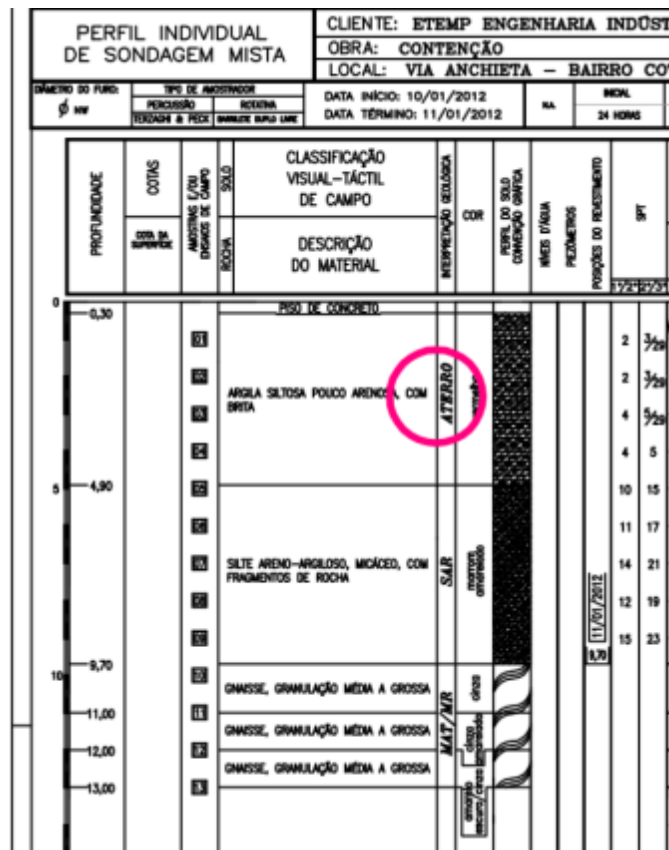


Figura 20 - Sondagem local

Dessa maneira, tem-se como ponto de partida um horizonte de cerca de 4 metros de solo coluvial, seguido de 5m de solo residual proveniente de rocha alterada. Como terceira e última camada tem-se a rocha matriz.

Os parâmetros escolhidos para finalidade de cálculo serão aqueles obtidos no estudo de Wolle e Carvalho(1994), em região próxima a retratada pela sondagem que previamente apresentada. Os valores obtidos são :

Solo / Parâmetros	Umidade natural			Em condição saturada		
	Y(KN/m³)	c(Kpa)	Φ (°)	Y(KN/m³)	c(Kpa)	Φ (°)
Solo coluvionar	14,3	6	34	17,1	1	34
Solo saprolítico	18	12	45	19,5	4	39

Figura 21 - Parâmetros

Importante ressaltar estes parâmetros não são únicos ou absolutos da região, mas que podem ser usados como representativos, uma vez que retratam importante fato causador de instabilidades que é a diminuição da coesão que pode ser claramente identificada nos dados expostos.

8.2. SEÇÃO TRANSVERSAL DO TERRENO

Uma vez determinada a sua composição e os principais parâmetros que permeiam a mesma, é necessária escolha de uma seção transversal.

As encostas naturais possuem diversas variações de declividade. Para um estudo mais detalhado, que será apresentado com a continuidade deste trabalho, deve-se lançar mão da topologia da região a ser estudada, identificando-se os planos com maiores declividades pois nestes estarão localizadas as seções críticas.

Como o intuito do estudo neste primeiro momento é confirmar as premissas sobre as causas dos deslizamentos em geral, e não aqueles que atingem uma área de maneira pontual e mais específica, será adotada uma declividade da ordem de 45° . A declividade adotada é elevada mas não é máxima, sendo possível encontrar na região inclinações mais elevadas que essa.

Dessa maneira, segue o horizonte definido representado abaixo:

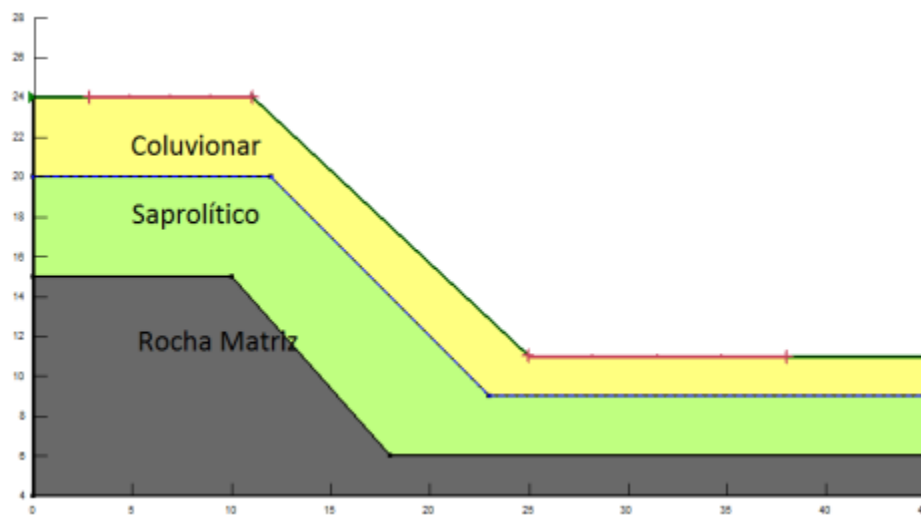


Figura 22 - Seção Transversal

8.3. ESTUDOS DE ESTABILIDADE

Inicialmente, será calculado o fator de segurança para o talude sem a presença de água, ou seja, não haverá influência das pressões neutras e os parâmetros utilizados serão aqueles apresentados para os horizontes não saturados.

Com o auxílio do programa GeoStudio2012, encontrou-se a seguinte superfície crítica e fator de segurança.

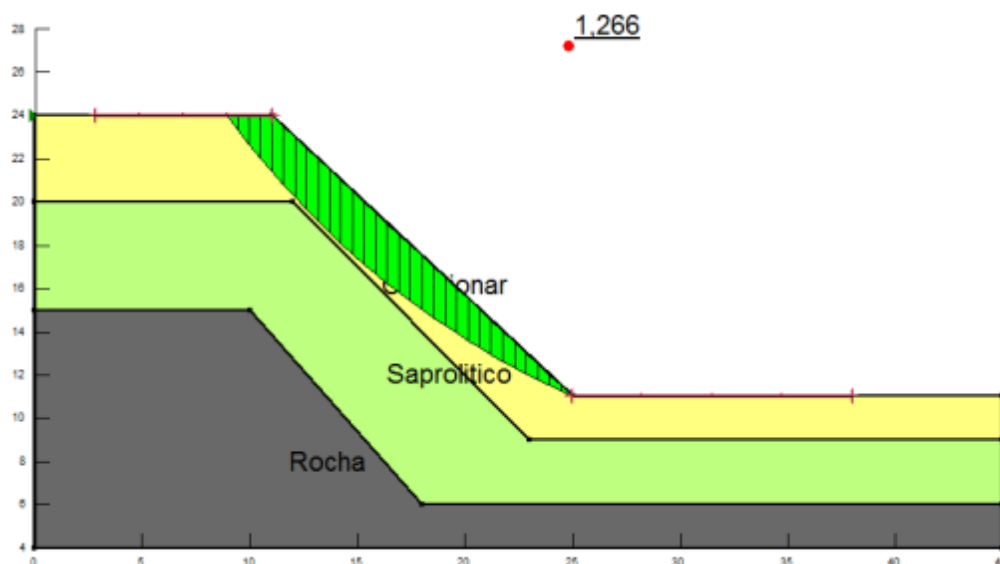


Figura 23 - Superfície crítica sem presença de água

Como pode ser observado, o fator de segurança é da ordem de 1,2. Este é abaixo do recomendado pela Norma, conforme já discutido anteriormente neste mesmo estudo. O fator de segurança dessa ordem é indicado apenas para obras provisórias e não se aplica a região.

8.4. ELEVAÇÃO DA LINHA PIEZOMÉTRICA

A água proveniente da pluviometria infiltra no terreno até atingir uma camada impermeável, trata-se da rocha matriz. Com isso, ocorre uma elevação gradual da linha freática aumentando-se as pressões neutras.

Nesta etapa busca-se executar uma elevação na linha piezométrica de modo a diminuir as tensões efetivas gradualmente e analisar a sua influência sobre o fator de segurança. Como o intuito do estudo é uma análise detalhada sobre a influência de cada fator, será inicialmente elevada a linha piezométrica até o limiar entre a camada de solo coluvial e a do solo saprolítico, ignorando-se a variação dos parâmetros pela saturação do solo.

Elevação singular da linha piezométrica:

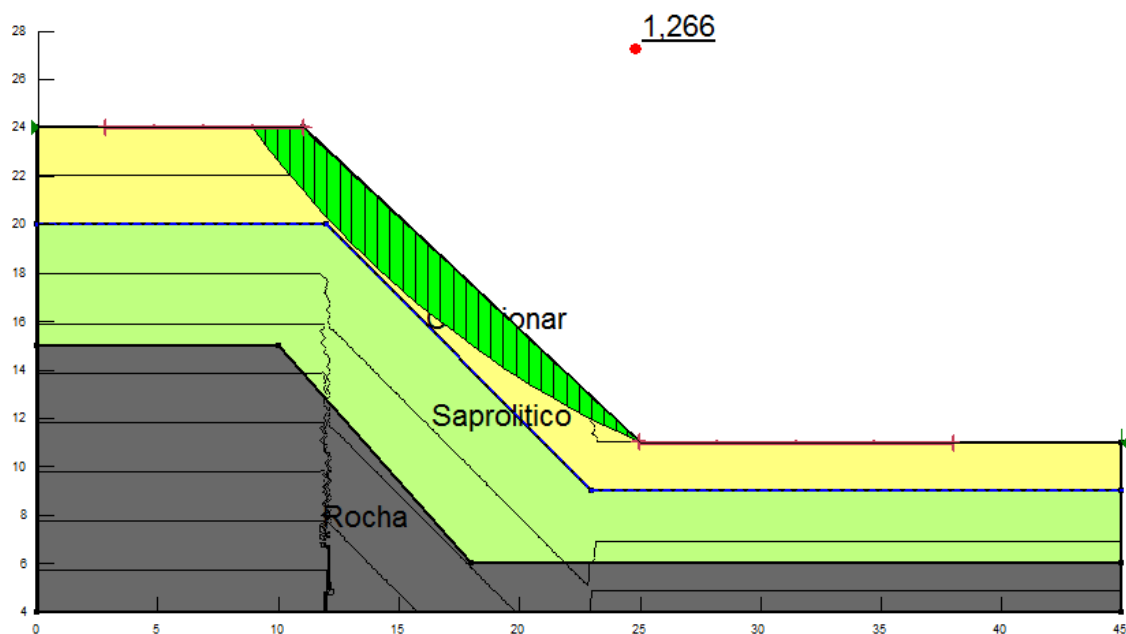


Figura 24 – Superfície crítica com elevação da linha piezométrica

Elevação da linha piezométrica e variação nos parâmetros de coesão e peso específico:

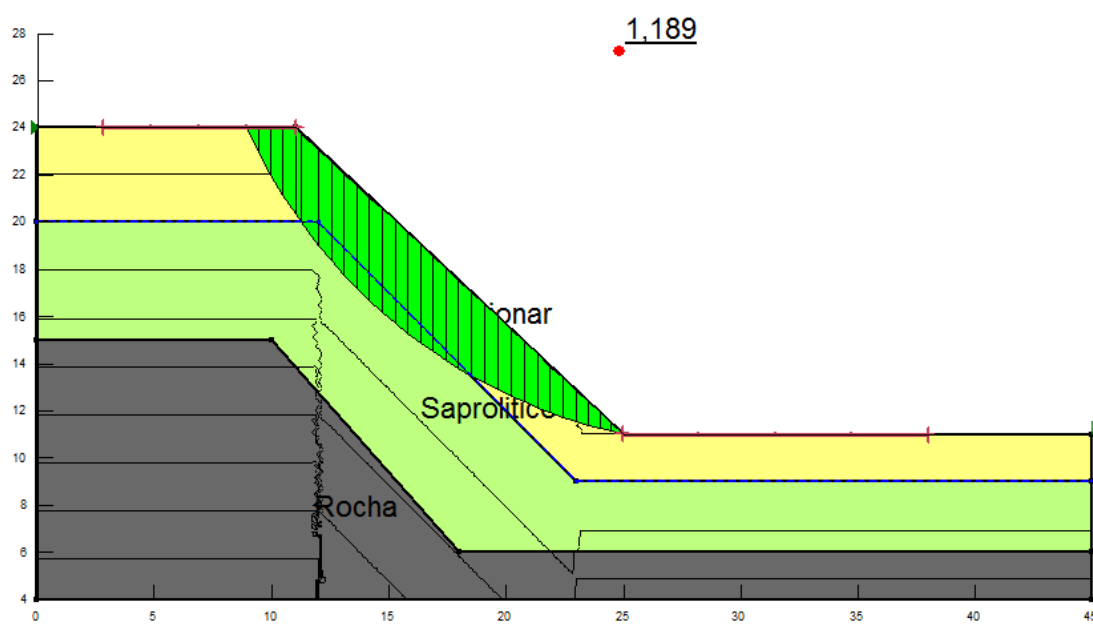


Figura 25 – Elevação da linha piezométrica e variação das dos parâmetros de coesão e peso específico para o solo saprolítico

Da análise dos resultados, podemos concluir que por si só, a variação da linha piezométrica até a o limiar entre os solos não é objeto causadora de variação significativa no fator de segurança. Ocorre sim, uma redução quando implementada diminuição da coesão e o aumento do peso específico da camada de solo situada abaixo da linha freática.

8.5. AVANÇO DE FRENTES DE SATURAÇÃO

A análise que se sucede leva em consideração o avanço de frentes de saturação por conta de pluviometrias elevadas em um curto período de tempo. Dessa maneira o solo começa a sofrer um processo de saturação da sua superfície com avanço até encontrar o lençol freático. Para efeito de cálculo esse fenômeno será simulado através da alteração dos parâmetros do solo coluvionar para o estado de saturação, diminuindo-se sua coesão e aumentando-se o seu peso específico.

A região de solo residual fraturado logo abaixo encontra-se na mesma condição da análise anterior, saturada e com linha piezométrica localizada na linha de divisão entre os horizontes.

O resultado obtido foi o seguinte:

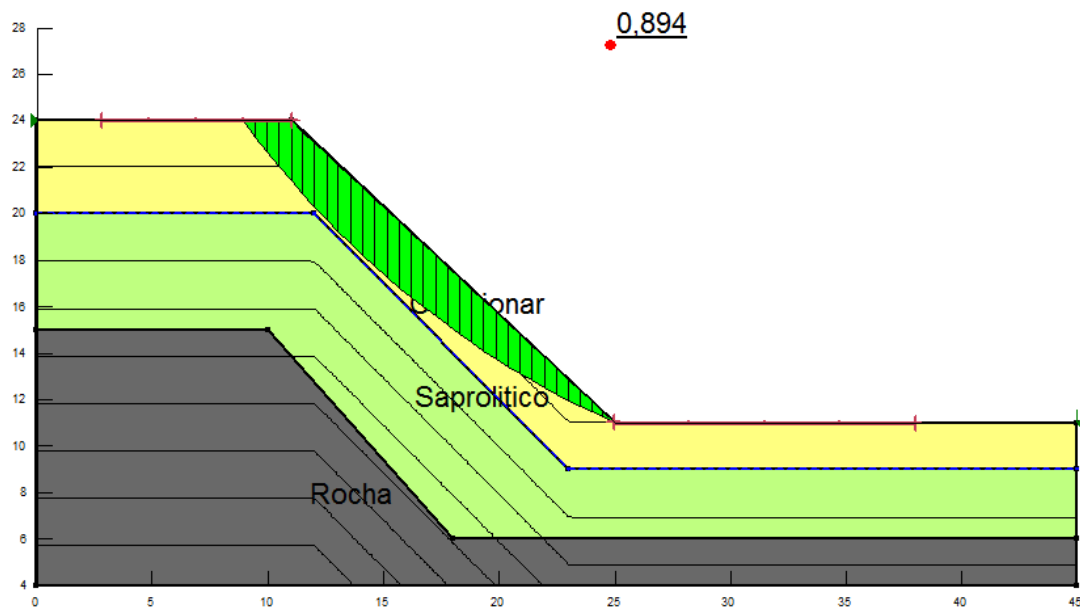


Figura 26 – Superfície crítica devido a elevação da linha piezométrica e variação dos parâmetros de coesão e peso específico para ambos os solos

Verifica-se que o fator de segurança despencou para um valor inferior a 1. O que indica um provável colapso da região e deslizamentos de solo.

8.6. ELEVÇÃO DA LINHA PIEZOMÉTRICA ATRAVÉS DO HORIZONTE DE SOLO COLUVIAL

Para representação dessa última etapa, elevou-se a linha freática para uma posição intermediária do solo coluvial sem levar em conta a redução dos parâmetros de coesão e peso específico.

O valor para o fator de segurança obtido e a superfície de ruptura, segue descrita abaixo.

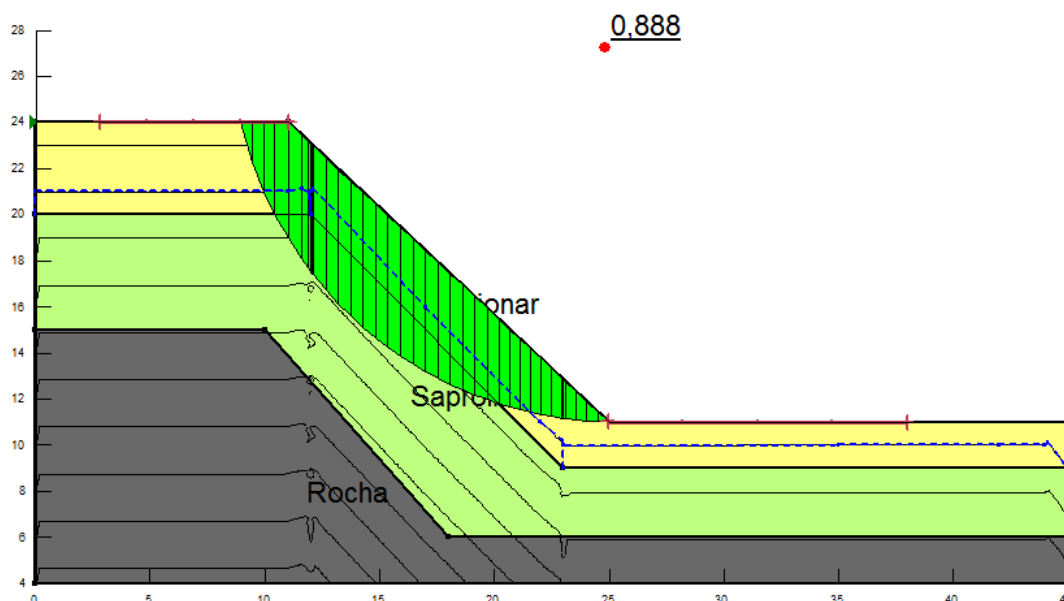


Figura 27 – Elevação da linha piezométrica para o horizonte pertencente ao solo coluvionar

Pela análise pode se verificar que o aumento da pressão neutra pela elevação da linha piezométrica até uma posição mais elevada pode sozinha levar a ruptura do talude uma vez que o fator de segurança novamente foi levado a valores menores que 1.

8.7. CONCLUSÃO E DIAGNÓSTICO

Levando-se em conta os estudos realizados, pode-se confirmar que o principal fator relacionado a instabilização dos taludes formados com solos de características semelhantes aos adotados é a pluviometria. Tanto a elevação da linha freática como a propagação das frentes de saturação, fazem com que o fator de segurança diminua de forma acentuada acusando as prováveis rupturas.

Dessa maneira, as soluções apontadas visando-se a mitigação dos riscos deve atuar diretamente no controle das pressões neutras, rebaixamento

da linha piezométrica, ou aumento da tensão de sustentação de forma passiva ou ativa.

O detalhamento de possíveis soluções será realizado nos itens posteriores, sendo de grande importância e eficiência no controle e redução de movimentos que podem vir a ser catastróficos tanto do ponto de vista ambiental, como da diminuição dos riscos a vidas humanas e moradias.

9. CONTENÇÕES UTILIZADAS NOS BAIRROS COTA

A seguir, serão expostas as principais soluções escolhidas para serem implantadas nas obras de contenção já executadas (ou que ainda serão concluídas) para a adequação e urbanização dos Bairros Cota. Estas obras fazem parte do escopo do Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar, e fornecerão a segurança e condições necessárias para a moradia nos bairros que eram antes totalmente precários e carentes de infra-estrutura.

9.1. CORTINA ATIRANTADA

A Cortina Atirantada é uma técnica de contenção que consiste na execução de uma “cortina” de contenção seja ela de concreto armado, projetado, parede diafragma ou perfis metálicos cravados, concomitantemente com a perfuração, aplicação, injeção e protensão dos tirantes. Sua execução deve seguir a norma NBR 5629:2006 – Execução de Tirantes Ancorados no Terreno. Os tirantes são elementos que trabalham de forma ativa e sob tração. Sua aplicação é recomendada para cortes em terrenos com grande carga a ser contida ou solo que apresenta pouca resistência á sua estabilidade, como o exemplo dos bairros cota, onde 90% do solo é composto por Tálus.

Composição do Tirante:



Figura 28 - Elementos do tirante

- **Cabeça do tirante:** Dispositivo que transfere a carga do tirante para a estrutura a ser ancorada. Ele é constituído por placas de apoio planas, cunhas de inclinação e o bloco de ancoragem.
- **Bainha Coletiva:** Tubo não degradável de isolamento coletivo, de contato com o terreno, utilizado na proteção conjunta de todos os elementos de tração.
- **Bainha Individual:** Tubo não degradável de isolamento individual, que serve de proteção para cada elemento de tração.
- **Elemento de tração:** Localizado no interior da bainha individual, é a parte estrutural do tirante e trabalha sempre a tração. Composto por fios, cordoalhas ou barras de aço.
- **Tubo de injeção:** Tubo que permite a injeção no tirante. Ele é introduzido na perfuração, junto aos elementos de tração, fixando-os no terreno.
- **Bulbo de ancoragem:** Região preenchida por calda de cimento e responsável pela ancoragem do tirante ao solo.
- **Comprimento Livre:** Distância entre a cabeça do tirante e o ponto inicial de aderência do bulbo de ancoragem, observada na montagem do tirante e conforme previsto em projeto
- **Comprimento Ancorado:** Trecho do tirante projetado para transmitir a carga aplicada ao terreno.

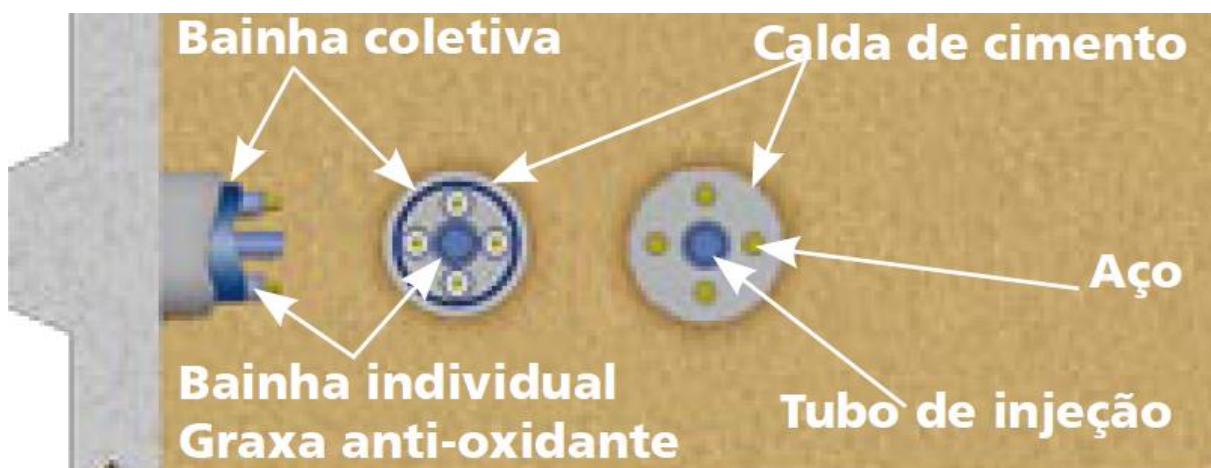


Figura 29 - Detalhe no interior da bainha coletiva

Sequência Executiva:

1. **Perfuração:** O furo deve ser retilíneo, com diâmetro, inclinação e comprimentos previstos no projeto. O furo deve se manter aberto até que seja efetuada a injeção, podendo-se usar revestimento de perfuração e/ou de fluido estabilizante. Antes da execução da perfuração, é obrigatório verificar se o recobrimento de terra, sobre o trecho de ancoragem do tirante, é suficiente para o processo de ancoragem previsto, sendo, em geral, recomendável um cobrimento mínimo de 5 m sobre o centro do trecho de ancoragem. O diâmetro da perfuração deve ser tal que, no trecho de ancoragem, o recobrimento do aglutinante sobre o elemento resistente à tração seja suficiente para garantir uma proteção contra corrosão e/ou desagregação deste. O tirante pode ser instalado antes ou após o preenchimento do furo com calda de cimento ou aglutinante. Neste último caso, a introdução deve ser executada imediatamente após a colocação da calda ou aglutinante no furo.

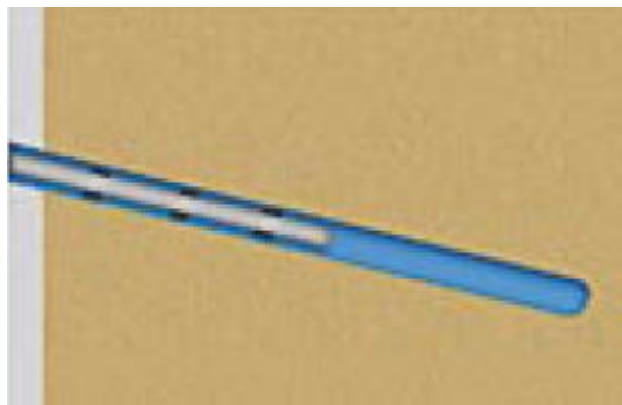


Figura 30 - Perfuração e instalação do elemento de tração

2. **Injeção da bainha:** Feita de forma ascendente, com fator água/cimento = 0,5 (em peso) até que a calda extravase pela boca do furo. Caso haja perda substancial de calda, pode ser injetado solo-cimento, de forma a promover o preenchimento da parte anelar do furo/tirante. Pode-se optar pelo preenchimento do

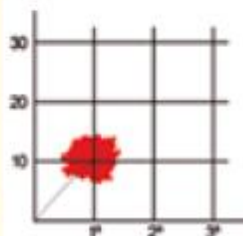
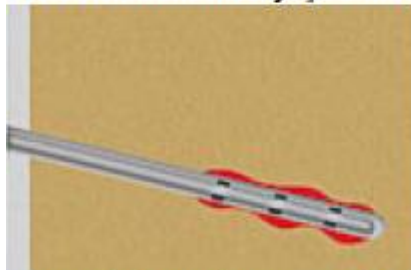
furo com calda de cimento e a posterior introdução da parte metálica.

3. **Fases de pressão:** Injeção de calda de cimento com fator água/cimento igual a 0,5 (em peso), pressão de abertura menor ou igual a 6 MPa, e pressão de injeção em torno de 2 MPa. A primeira fase, limitada a um saco de cimento por válvula, ou pressão de injeção menor que 2 MPa. As demais fases limitadas a meio saco de cimento por válvula, até atingir a pressão de injeção desejada.

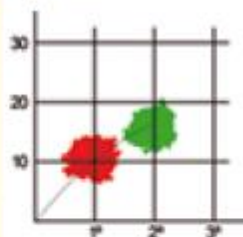
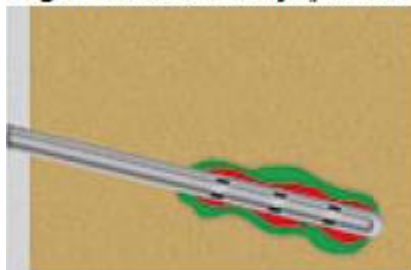
Injeção da bainha



Primeira fase da injeção localizada



Segunda fase da injeção localizada



Enésima fase da injeção localizada, protensão ligação com a estrutura

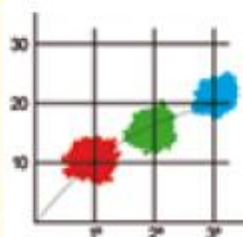
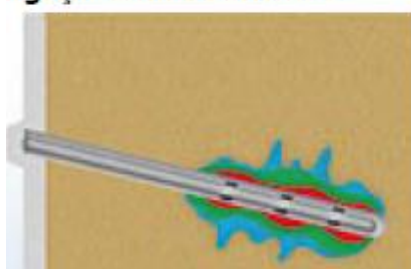


Figura 31 - Sequência executiva esquemática

4. **Ensaio:** passados sete dias da última fase de injeção, de acordo com a NBR 5629, ou a critério da consultoria.
5. **Cabeça de ancoragem:** depois de concluída a protensão, são instalados dois tubos para injeção na cabeça do tirante. Após a concretagem da cabeça do tirante, é feita a injeção da calda de cimento por um dos tubos, o outro tubo serve como respiro.

Exemplo da aplicação de cortina atirantada no Bairro Cota 200, onde ambas as cortinas atirantadas estão contendo o talude sobre o solo de Tálus:

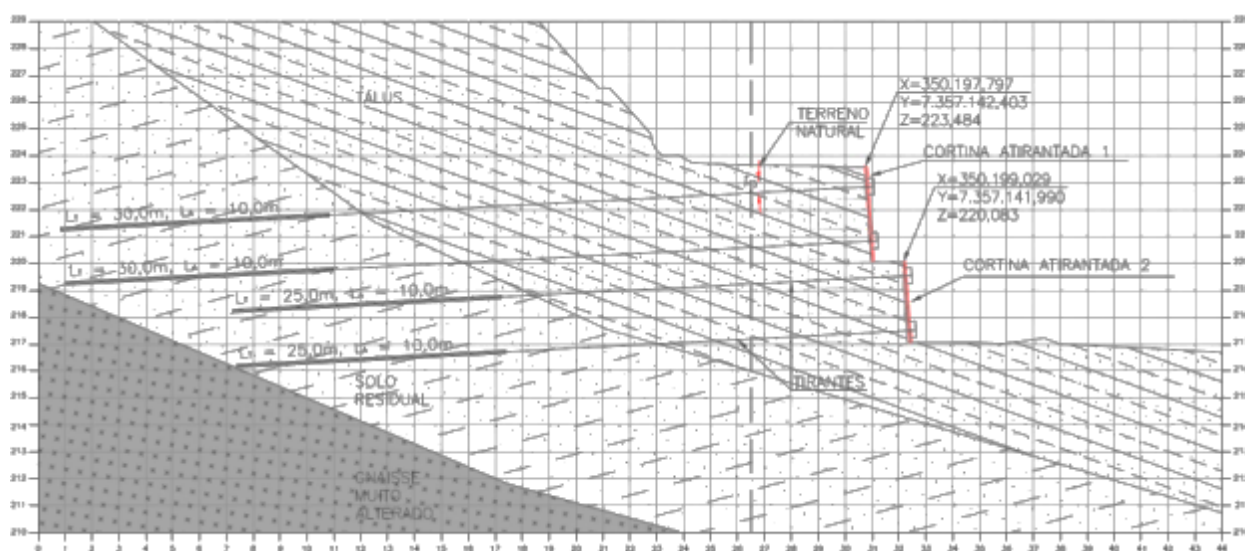


Figura 32 - Vista em corte de contenção de talude no Bairro Cota 200

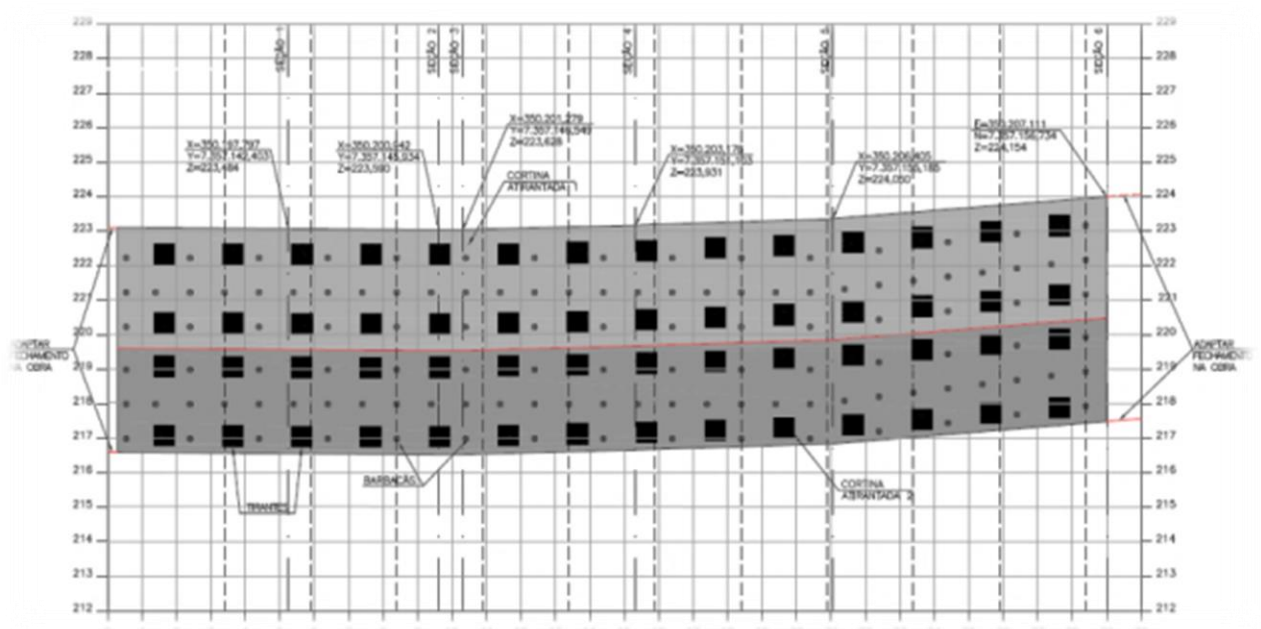


Figura 33 - Vista frontal de contenção de talude no Bairro Cota 200

9.2. DRENO HORIZONTAL PROFUNDO (DHP)

Os DHP's são tubos de plástico de dimensões entre 1¼" a 2" embutidos no solo em profundidades de 6 a 18 metros e tem como objetivo rebaixar o nível de água nos taludes, minimizando as condições de subpressões e aumentando a estabilidade do talude. Sua aplicação esta quase sempre associada a outros tipos de contenção.

Sequência Executiva:

1. **Locação** dos pontos de instalação, de acordo com o previsto no projeto.
2. **Instalação do equipamento de perfuração**, neste tipo de operação podem ser necessários andaimes de madeira ou estruturas similares, de acordo com as condições específicas de cada local.
3. **Execução da perfuração**, até a profundidade especificada no projeto. A água utilizada na perfuração, ou resultante desta, deve ser canalizada e disposta de maneira a não causar danos ao

talude ou encosta. O sistema de perfuração deve ter recurso para utilização de camisa metálica, revestimento, e de perfuração com ar comprimido.

4. **Instalação dos tubos de PVC ranhurados**, previamente envolvidos pelo geotêxtil, de acordo com o especificado no projeto-tipo adotado.
5. **Selagem** com calda de cimento do trecho liso do tubo.
6. **Execução da boca de saída** de concreto, destinada a adequada proteção de saída e fixação do dreno ao talude ou encosta.

9.3. SOLO GRAMPEADO

O solo grampeado é uma técnica em que o reforço do maciço é obtido por meio da inclusão de elementos, como grampos ou pregos resistentes às tensões de tração, esforços cortantes e momentos de flexão. Os elementos de reforço são muito semelhantes às ancoragens, porém sem pré-tensão ou trecho livre. Diferentemente dos tirantes, a contenção de taludes por meio de solo grampeado trabalha de forma passiva.

A contenção é atingida por meio da execução de chumbadores que promovem a estabilidade geral do maciço, de concreto projetado que promove a estabilidade local, e a execução da drenagem que age em ambos os casos.

Atualmente não existe normalização brasileira para controlar sua execução.

Composição do Solo Grampeado:

- **Chumbador** – Peça feita no local através de operações de perfuração, onde é instalado uma armação metálica e posterior injeção de calda de cimento sob pressão. Existem diversas maneiras de realizar a perfuração, mas o método escolhido deve ser feito de modo que a cavidade perfurada permaneça estável até a conclusão da injeção.

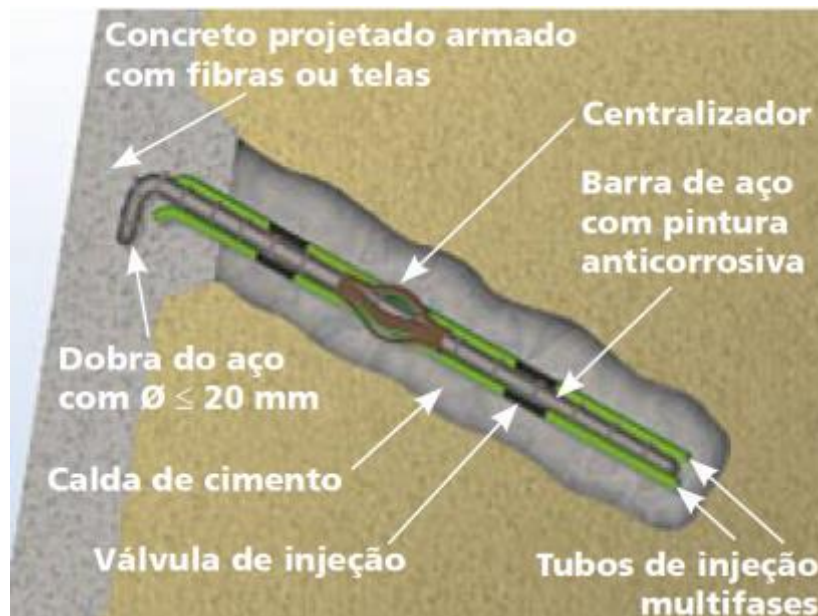


Figura 34 - Partes construtivas do chumbador

Sequência Executiva:

A obra de contenção é realizada de cima para baixo, com escavação em etapas, caso necessário.

Escavação ou regularização do talude: Inicialmente é realizado o corte do solo de acordo com a geometria do projeto, e no caso de taludes, o mesmo deve ser regularizado.

1ª camada de concreto projetado: O próximo passo é a aplicação de uma camada de 4 cm de concreto projetado para preceder a execução dos chumbadores.

Perfuração: As perfurações são executadas por equipamentos de fácil manuseio, pesando entre 25 e 500 kg, instaláveis sobre qualquer talude. Como fluido de perfuração e limpeza de furo pode ser utilizada água, ar ou lama. Os chumbadores tem sempre inclinação abaixo da horizontal, variando de 5° a 30°. A escolha do método de perfuração deve ser feita de modo que a cavidade perfurada permaneça estável até a injeção ser concluída.

Montagem: Depois da perfuração deve ser instalada e fixada a tela metálica que deve manter suas características de resistência ao longo do tempo. A armação deve receber um tratamento anti-corrosivo e o cimento empregado deve estar isento de sulfatos, cloretos e outros elementos que provoquem a corrosão do aço. A barra de aço tem diâmetro usual de 10mm a 25mm e centralizadores longo do seu comprimento para garantir o recobrimento completo da calda de cimento. Paralelo à barra, são instalados tubos de injeção, feitos de polietileno ou material similar, com diâmetros entre 8 e 15 mm, com válvulas espaçadas de 0,5 m, a até 1,5 m da boca do furo.

Injeção: A injeção é feita de maneira ascendente e deve ter taxa com fator água/cimento próximo a 0,5 (em peso), proveniente de misturador de alta turbulência, até que a calda extravase pela boca do furo. Após um mínimo de 12 horas, o chumbador deve sofrer uma reinjeção por meio do tubo de injeção perdido, anotando-se a pressão de abertura máxima, de injeção e o volume de calda absorvida. A quantidade de injeções ou reinjeções depende do número de tubos colocados, que depende do terreno onde o trabalho é executado. Usualmente, a injeção é feita em três fases, duas profundas e uma superficial, esta nos dois metros iniciais. As pressões utilizadas nas injeções e os volumes de calda de cimento consumidos devem ser anotados para diagnóstico dos chumbadores.

2ª camada de concreto projetado: Após instalados os chumbadores, é preparado a armação da parede de concreto e realizado a execução do projetado de acordo com todas as normas da ABNT relacionadas e em particular a NBR 14026 “CONCRETO PROJETADO – ESPECIFICAÇÕES”.

Drenagem: Simultaneamente ao avanço dos trabalhos, são executados a drenagem superficial de crista e de pé de contenção, assim como a instalação de barbacãs, DHP's e outros elementos de drenagem previstos em projeto.

A seguir, tem-se um exemplo da aplicação de solo grampeado no Bairro Cota 200, onde ambas as cortinas atirantadas estão contendo o talude sobre o solo de Tálus:

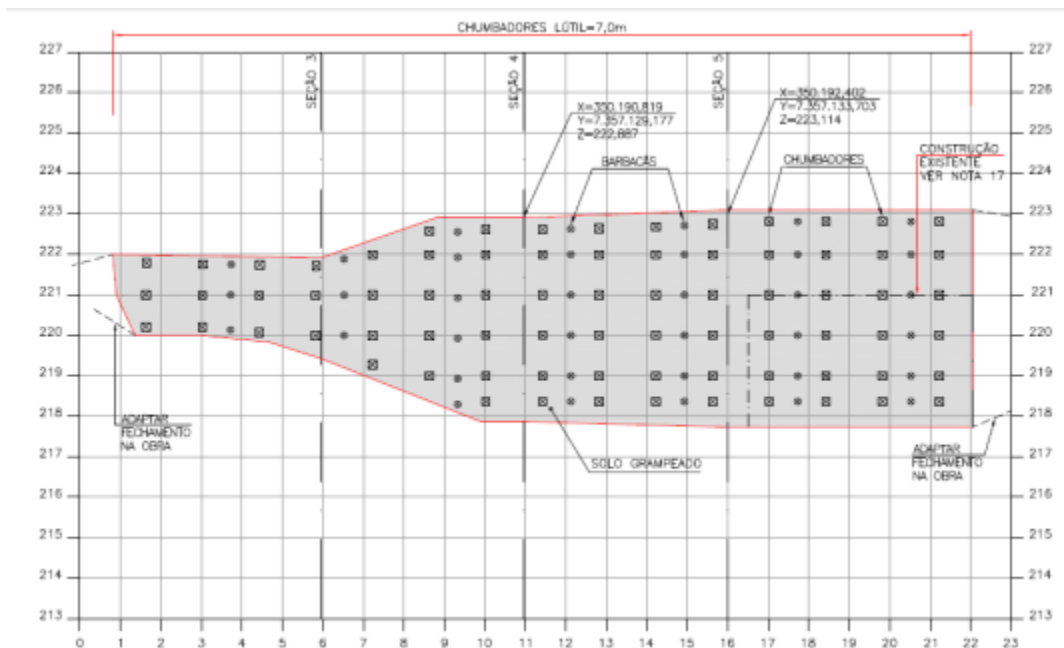


Figura 35 - Vista frontal do solo grampeado do bairro cota 200

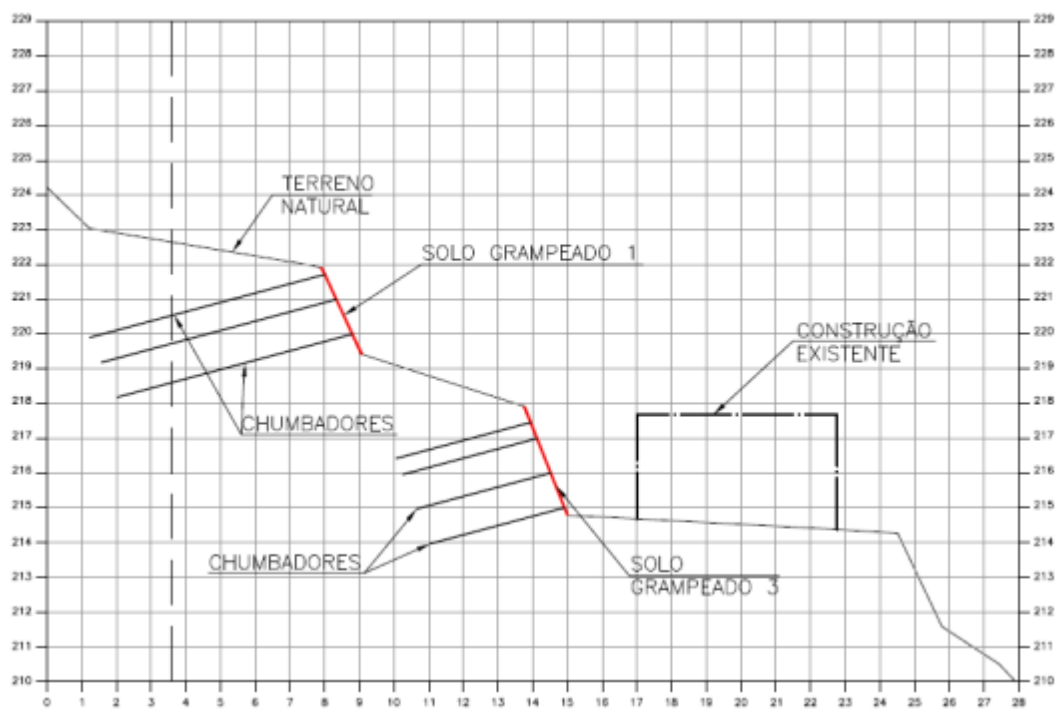


Figura 36 - Vista em corte do solo grampeado do bairro cota 200

10. ESTUDO DE CASO: MORRO DOS MACACOS

10.1. BREVE HISTÓRICO

A área estudada é conhecida como Morro dos Macacos e está situada no distrito de Pedreira, na região Sul da cidade de São Paulo, próximo à divisa com Diadema/SP. De maneira geral, a área é composta por habitações precárias e irregulares (favelas), um cenário comum na região do extremo Sul paulistano.

Assim como os outros bairros do entorno, a região desenvolveu-se de maneira desordenada, não legalizada e a ocupação foi predominantemente feita por habitações de baixa renda. O descaso do governo para com o déficit habitacional entre as classes mais baixas aliado à proximidade da região com a Represa Billings e o ABCD paulista foram fatores cruciais para a busca de espaços vagos mais próximos às oportunidades de emprego dos arredores.



Figura 37 — Localização do Morro dos Macacos (fonte: Google Maps).



Figura 38 — Vista aérea do Morro dos Macacos (fonte: Google Earth).

Ao longo dos anos, diversos desastres geotécnicos ocorreram no Morro dos Macacos acarretando inclusive em perdas humanas, e apenas no ano de 2010 a área foi objeto de obras de estabilização de encosta.

10.2. MORRO DOS MACACOS

O Morro dos Macacos consiste em uma área de ocupação desordenada e com elevada densidade populacional. Até o início das obras de estabilização, os serviços básicos de abastecimento de água potável e energia elétrica eram extremamente precários, sendo na maior parte improvisados pelos próprios moradores. Não havia nenhum sistema de drenagem de águas pluviais tampouco um sistema adequado de captação de esgoto domiciliar. As habitações eram caracterizadas em geral por barracos improvisados com materiais reaproveitados de baixa qualidade (por exemplo, papelões, lonas plásticas, madeiras, etc.) e por edificações construídas em alvenaria de bloco cerâmico sem reboco, com gabarito médio de 01 (um) a 02 (dois) pavimentos.



Figura 39 — Morro dos Macacos antes das obras de estabilização da encosta, 2010

A precariedade da infraestrutura local favoreceu por todo esse tempo a ocorrência de mecanismos de escorregamento, uma vez que a infiltração e a retenção de água no maciço levam à diminuição das tensões resistentes dos taludes. Aliado a esse fato, a presença de aterros, entulhos e lixo lançados irregularmente na superfície da encosta contribuem para a instabilidade. Por toda a área haviam intervenções antrópicas feitas no terreno, objetivando a construção das habitações locais por meio de corte a montante e lançamento de aterro a jusante. Como não houve qualquer tipo de acompanhamento especializado no que tange a engenharia, muitas moradias foram construídas em regiões com risco de desmoronamento, ou então provocaram o surgimento de mecanismo predisponentes para ruptura, aumentando a condição de instabilidade local da encosta.



Figura 40 — Habitação típica da área e ligações elétricas precárias e improvisadas, 2010



Figura 41 - Aterros, entulhos e lixos recorrentes por toda a encosta, 2010

O lixo e o esgoto que dividiam espaço com os moradores aumentavam o risco de proliferação de vetores prejudiciais à saúde e qualidade de vida da população. Ademais, a decadência das moradias aliada ao fato de que a área ocupada apresentava risco geotécnico muito alto a médio tornou o local impróprio para a habitação, demandando assim uma intervenção séria das autoridades locais, seja através da construção de estruturas de contenção ou pela realocação das pessoas.

10.3. O PROGRAMA DE URBANIZAÇÃO DE FAVELAS

A Prefeitura de São Paulo juntamente com a Secretaria Municipal de Habitação (SEHAB) são responsáveis pelo desenvolvimento do Programa de Urbanização de Favelas. Este programa visa transformar as favelas e os loteamentos irregulares em bairros mediante a urbanização e regularização fundiária destas áreas ocupadas desordenadamente e sem infraestrutura, além de implantar serviços públicos fundamentais como creches, Unidades Básicas de Saúde (UBS) e escolas. O objetivo é garantir aos moradores o acesso à cidade formal, com ruas asfaltadas, saneamento básico, iluminação e serviços públicos. Também faz parte do projeto o reassentamento de famílias – em caso de áreas de risco – e a recuperação e preservação de áreas de proteção dos reservatórios Guarapiranga e Billings, além de melhorias habitacionais.

O programa, que já atendeu, por exemplo, grandes comunidades como Paraisópolis, Heliópolis, Jaguaré, Jardim São Francisco e Cantinho do Céu, já foi premiado pela ONU com o Scroll of Honour, que reconhece iniciativas exemplares na área de habitação em todo o mundo, e já recebeu recursos da ordem de R\$ 5,2 bilhões (dado de 2012 publicado pela Prefeitura de São Paulo).

O Morro dos Macacos também foi alvo do Programa de Urbanização de Favelas, e em 2012 as autoridades municipais entregaram para os moradores da região 407 apartamentos de 50 m² (com 3 dormitórios, sala, cozinha, banheiro e lavanderia) divididos em 18 blocos, além de praças, quadra esportiva e área de lazer infantil. O investimento total foi de R\$ 40 milhões, dos quais R\$ 21 milhões foram repassados pelo Fundo Municipal de Saneamento e

Infraestrutura Ambiental (FMSAI). Também foram executadas obras de estabilização da encosta. Atualmente, pode-se dizer que a situação da precariedade de moradias da região foi parcialmente sanada com o programa, já que o número de famílias que habitam o local ultrapassa dos 1.000, mas apenas 407 apartamentos foram entregues.

Deve-se ressaltar, entretanto, que por muito tempo a área foi tratada com descaso e as obras de estabilização e urbanização eram exigidas pela população local há anos. Caso as iniciativas tivessem sido tomadas desde a percepção da ocupação do morro ou logo após, muitos desastres poderiam ter sido evitados, assim como vidas humanas poderiam ter sido poupadas. Além disso, mesmo com todo o histórico de deslizamentos, interdições e intervenções no local, o Morro dos Macacos continua a receber novos moradores, aumentando ainda mais o número de pessoas habitando a região e potencializando o surgimento de novas zonas impróprias para a moradia. Logo, dever-se-ia cobrar das autoridades uma maior atenção à região no pós-obras no sentido de fiscalização e manutenção da área para que novos problemas não venham a acontecer.

10.4. DESLIZAMENTOS DE TERRA E O DESASTRE DE 2011

O histórico de movimentos de massas gravitacionais ocorrentes no local é alarmante. Em 2004, a área foi alvo de uma ação civil pública do Ministério Público (MP) ajuizada na 6ª Vara da Fazenda Pública, ação na qual foi concedida medida liminar para a remoção das famílias em área de risco no prazo de 180 dias. No entanto, somente em março de 2007 a ação foi julgada parcialmente procedente, o que concedeu um novo prazo à Prefeitura. A partir daí, por meio de recursos apresentados à Justiça a solução foi postergada até 2010, ano no qual as autoridades deram início às obras de estabilização. Porém, infelizmente, foi justamente no período de obras que o maior desastre geotécnico ocorreu: em 07 de julho de 2011 um deslizamento de terra soterrou 11 pessoas e matou duas, sendo uma jovem de 19 anos que estava grávida e um garoto de 3 anos. Na ocasião, segundo a Prefeitura foram retiradas do local 40 famílias.



Figura 42 área logo após o deslizamento, durante o período de obras, 2011

O projeto executivo previa a reestruturação de toda a encosta indo desde a Estrada da Água Santa (topo) até a Rua da Saúde (pé), mediante execução de uma contenção em solo grampeado na parte superior do morro e um retaludamento das partes abaixo, com a remoção dos solos e materiais passíveis de instabilização. Além disso, estava previsto a implantação de proteção superficial e sistemas de drenagem e ao longo de toda a encosta. No momento da tragédia, a contenção em solo grampeado já estava concluída e estabilizada e, portanto, não foi afetada, mas as obras de terraplenagem do retaludamento ainda estavam em andamento. Abriu-se então uma investigação para avaliar as causas do acidente e a contribuição da empreiteira para este desastre.

Constam em relatórios técnicos e depoimentos que a remoção das massas escavadas não vinha sendo realizada na mesma velocidade em que eram extraídas, de modo que ocorria acúmulo do material escavado solto nas porções intermediárias da encosta. Também ocorria lançamento de águas - principalmente referente à infiltração oriunda de antigas ligações clandestinas das moradias removidas - para o interior destas massas provisoriamente

acumuladas, levando parte das mesmas à instabilização. Atrelado a isto, o falta de sincronia entre a remoção de todas as moradias a jusante, conforme previa o projeto original, e as obras de terraplenagem à meia-encosta resultou na diminuição da faixa de segurança entre as obras e as moradias que permaneceriam do lado oposto da rua no pé da encosta, limite inferior da área de risco, permitindo que, por ocasião da instabilização, algumas moradias ainda não removidas situadas a jusante fossem atingidas e duas delas destruídas, provocando a morte das duas pessoas ali presentes. Constatou-se que, do ponto de vista geológico e geotécnico, a quase totalidade da massa rompida envolveu aterros provisórios e materiais de *bota-foras*, pouco envolvendo o solo residual *in situ*, apesar de o mesmo apresentar algumas feições que até poderiam implicar em riscos para a estabilidade se não tratadas adequadamente (foliações em formato de dobras, conforme pode ser visto a seguir).



Figura 43 — Foliações no solo residual exposto pelo deslizamento, 2011

Portanto, a não execução conforme o projeto e a falta de fiscalização das obras levaram a mais um desastre geotécnico, uma vez que pela alta complexidade da intervenção dever-se-ia almejar uma execução perfeita, sem espaço para improvisos e erros. Tanto as ligações de água clandestinas quanto a insuficiência da área de segurança isolada deveriam ser conhecidas por todos os envolvidos, o que poderia ter evitado o acidente se tomadas as providências cabíveis.

11. DESCRIÇÃO DO SOLO

Em consulta ao mapa Geológico da Emplasa (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano) conclui-se que a área estudada está situada em terrenos do embasamento cristalino, mais especificamente na unidade denominada Complexo Embu, unidade dos xistos miloníticos (pEAmx). O Mapa Geológico da região é mostrado na figura a seguir.

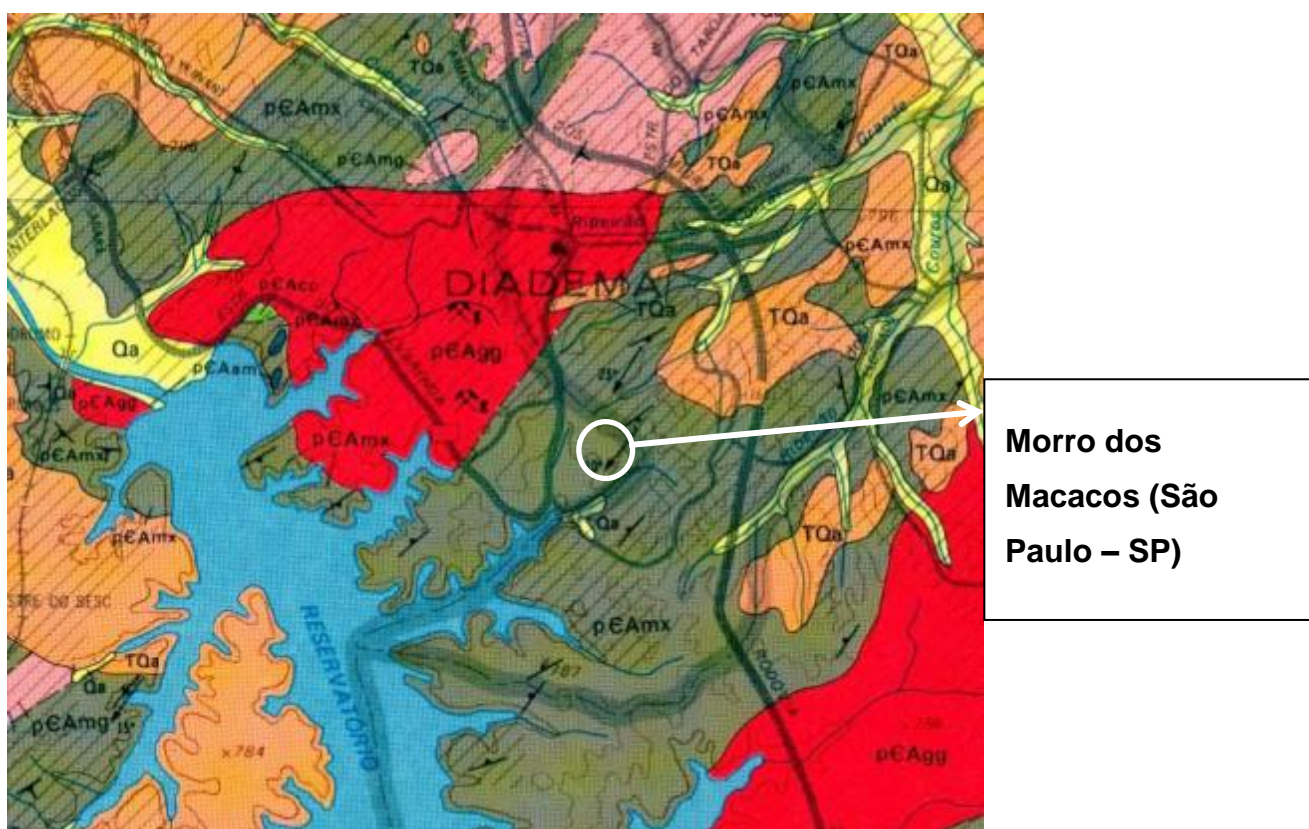


Figura 44 — Mapa Geológico da região do Morro dos Macacos (fonte: Emplasa).

São descritas a seguir as principais unidades geológicas ocorrentes no local, que aparecem no Mapa Geológico:

Qa – Aluviões fluviais, areia, argila e cascalho;

TQa – Argilas, areias e cascalhos da Formação São Paulo e Formação Caçapava (Grupo Taubaté). Inclui depósitos eluvio-coluviais correlatos;

pCAmx – Micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, incluem também xistos miloníticos em zona de movimentação tectônica;

pCAgg – Granitos e granodioritos normais, em parte gnáissicos equigranulares ou porfiróides;

pCAmg (rosa) – Migmatitos e gnáisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em zonas de movimentação tectônica intensificada.

De acordo com as sondagens disponibilizadas, o subsolo local é constituído por uma camada superficial de aterro/colúvio que pode alcançar até 7,5 m de profundidade, apresentando consistência/compacidade mole/fofa com valores de NSPT variando entre 0 e 5 golpes. Esta camada é recoberta por lixo lançado pelos próprios moradores, favorecendo os processos de instabilização superficial da encosta. As camadas subjacentes são caracterizadas por solos residuais de rocha gnáissico-granítica, que apresentam valores de NSPT crescentes com a profundidade e propriedades geotécnicas satisfatórias, que favorecem a estabilidade da encosta.

Os solos residuais verificados no local podem conservar planos de descontinuidades da rocha de origem, apresentando feições geológicas desfavoráveis à estabilidade dos taludes de corte. Já o nível d'água do lençol freático detectado em algumas sondagens apresenta-se variável entre 1,2 m a 5,9 m de profundidade.

A permeabilidade do maciço é considerada alta, o que favorece a infiltração da água da chuva. Portanto, vale salientar que a estabilidade da encosta piora muito nos períodos de chuvas prolongadas, quando a frente de saturação do terreno pode causar uma diminuição significativa dos parâmetros de resistência dos solos ocorrentes.

11.1. GEOMORFOLOGIA

A declividade média das encostas é da ordem de 30° a 45°, conforme áreas em verde na figura a seguir. Entretanto, foi observado que as ocupações em local de maior risco se concentravam em terrenos com declividade acima de 45° (em vermelho na imagem). Estas declividades estão associadas a modificações no terreno feitas pelos próprios moradores por meio de cortes para implantação das habitações. Essas áreas são consideradas inadequadas para a implantação de infraestrutura urbana.



Figura 45 — Mapa de declividade do Morro dos Macacos

A ocupação desordenada, sem rede de drenagem superficial e sem manutenção de áreas verdes nas posições topográficas mais críticas, resulta em desequilíbrio do balanço natural entre a infiltração e o escoamento superficial. Desta forma o terreno é re-esculpido pelo fluxo desorganizado da água, agravando sensivelmente as condições de estabilidade e aumentando o risco de instabilizações, especialmente nos eventos de precipitação intensa e

saturação do solo devido a precipitações acumuladas ao longo das 72 horas precedentes a uma chuva intensa.

As instabilizações estão ligadas principalmente às práticas construtivas da região aliadas a elevada declividade do terreno. Cortes a montante e aterros a jusante das habitações, aliadas a ausência de drenagem da água pluvial são as principais causas de risco geotécnico na área.

12. DEFINIÇÃO DA SEÇÃO CRÍTICA E O MAPEAMENTO DE RISCO

12.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Conforme já caracterizado nos itens anteriores, a região delimitada é constantemente atingida por instabilizações de solo. Durante a parte inicial deste estudo aplicou-se um procedimento de análise baseado na Norma para a compreensão da região dos Bairros Cota, buscando-se a identificação de suas peculiaridades geográficas, geofísicas e geomorfológica para posteriormente ser realizado um procedimento de análise de estabilidade para uma dada seção crítica apresentando-se assim as causas do problema e, por último, sugestões de aplicação de intervenções que viriam a resolver ou mitigar os deslizamentos.

O principal objetivo deste item é aplicar processo semelhante para a região do Morro dos Macacos. Salvo que na primeira parte do estudo, durante a análise de estabilidade, foi utilizado o software GeoSlope que em sua versão básica, voltada para estudantes, não apresentava a possibilidade de verificação da implementação das soluções e como as mesmas vinham a alterar o fator de segurança. Outra limitação que motivou a troca do software de análise, muito embora este tenha atendido de maneira adequada as ambições iniciais, é o fato deste possuir, na versão disponível, uma limitada possibilidade de adição dos horizontes pedológicos, limitando-se a três.

Para esta etapa, lançar-se-á mão de uso do software SLIDE 5.0, um programa mais completo, com a possibilidade da implementação de mais de 3 horizontes de solo além das soluções de intervenção e sua posterior análise de sua influência no fator de segurança.

12.2. CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL GEOLÓGICO

A estratégia básica de estudos já pré-definida se apoia inicialmente na necessidade de investigação do solo. Dessa maneira, novamente, serão

apresentados a seguir resultados de procedimentos diretos (sondagens) do terreno, possibilitando a determinação dos horizontes geológicos do solo.

O principal intuito desta etapa, conforme já descrito anteriormente nesse mesmo estudo, é a determinação da quantidade de camadas, suas espessuras/profundidades, o tipo de solo para que possam ser estimados os parâmetros principais (peso específico, ângulo de atrito e coesão) além do nível do lençol freático (se existente).

A região do Morro dos Macacos é muito extensa e apresenta problemas de estabilização em mais de uma zona. Dessa maneira, a intervenção em uma única seção crítica do terreno não possui muito sentido uma vez que em diversas seções poderemos obter coeficientes de segurança próximo a 1, que posteriormente com o avanço de frentes de saturação poderão ser levados a valores menores que o limite, deflagrando movimentos de solo.

No entanto, por se tratar de um estudo com finalidade investigativa e visando a aplicação prática da sequência de passos sugeridos na primeira etapa, serão avaliadas um número reduzido de seções representativas. Essas serão tomadas como as seções críticas do terreno por possuírem maior inclinação e solos de horizonte residual, como é o caso do colúvio, amplamente caracterizado e discutido na primeira etapa durante o estudo dos Bairros Cota na Serra do Mar.

O mapa exposto na figura a seguir representa a região de estudo em planta, localizando as seções que dão origem a diversos cortes que podem ser atribuídos como seções críticas, isto é, onde houve necessidade de intervenção. Além disso, pode-se verificar a localização dos inúmeros pontos de sondagens, a partir das quais serão determinados os horizontes do solo.

Com o intuito de situar melhor a região, as sondagens representativas com seus respectivos SPT's e descrições das camadas do solo serão posicionados juntamente ao perfil do solo, inicialmente destacados por círculos em amarelo e posteriormente ampliados buscando apresentar as

características do local. A sequência de imagens a seguir busca ilustrar os parâmetros necessários para a definição dos estudos.

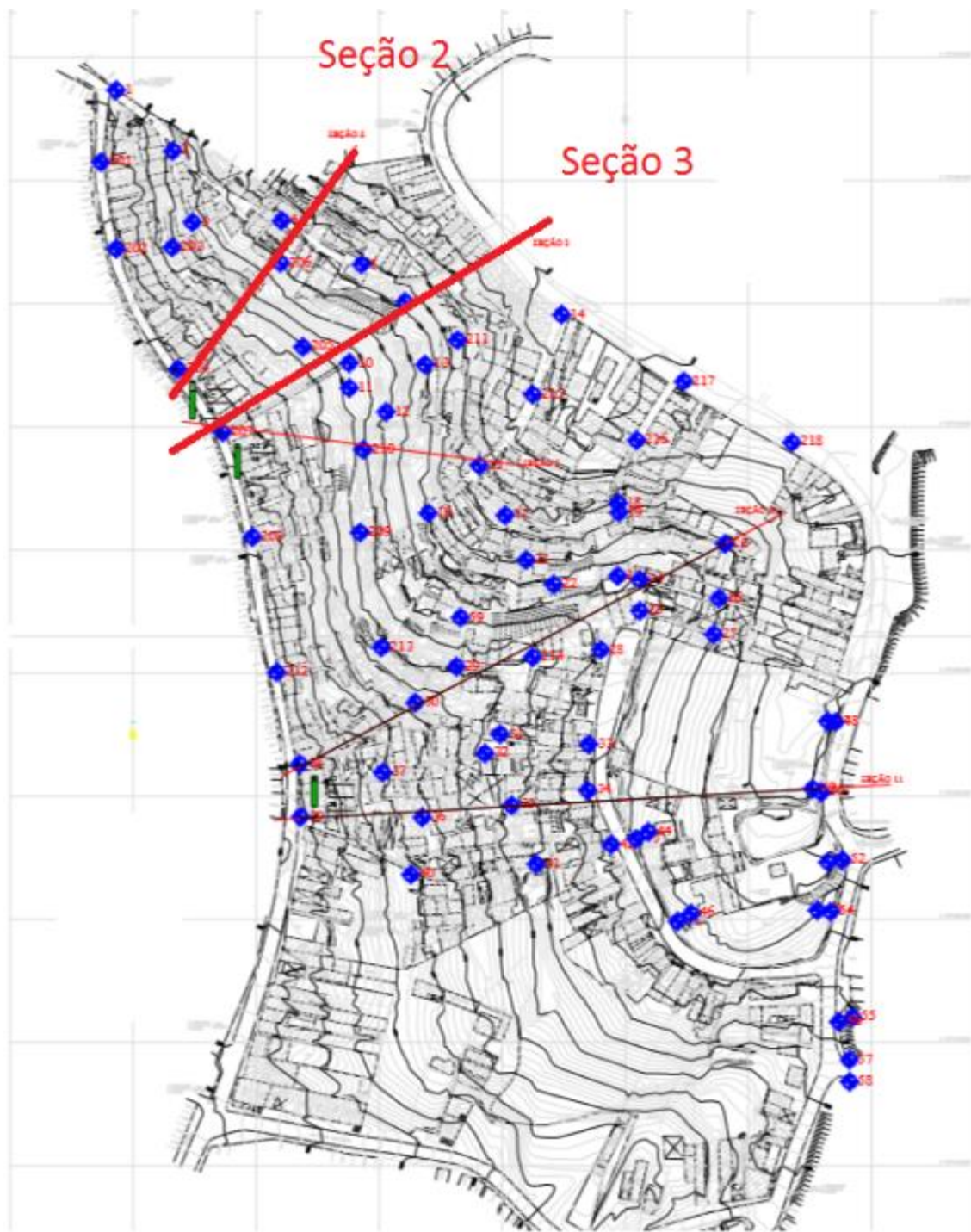


Figura 46 — Remete a localização dos cortes originários das seções 2 e seção 3, devidamente representadas abaixo. Note que a figura ainda mostra outras seções que não serão estudadas pelos motivos já descritos

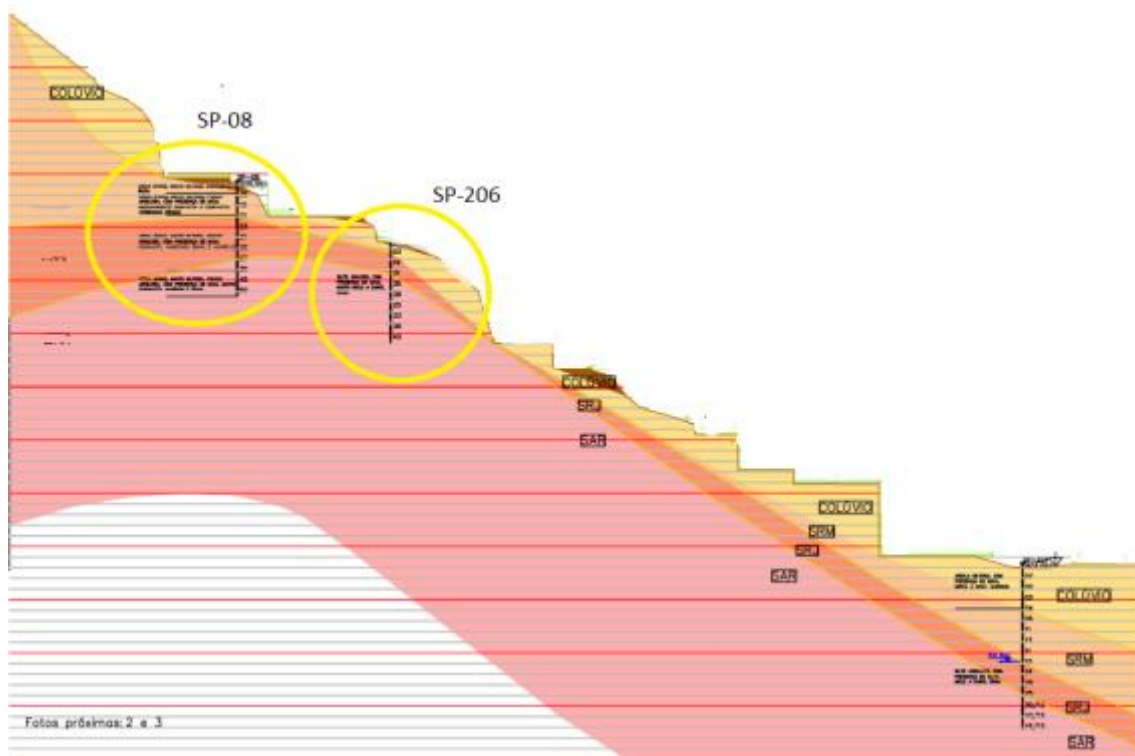


Figura 47 — Ilustra a seção transversal correspondente ao corte de número 2

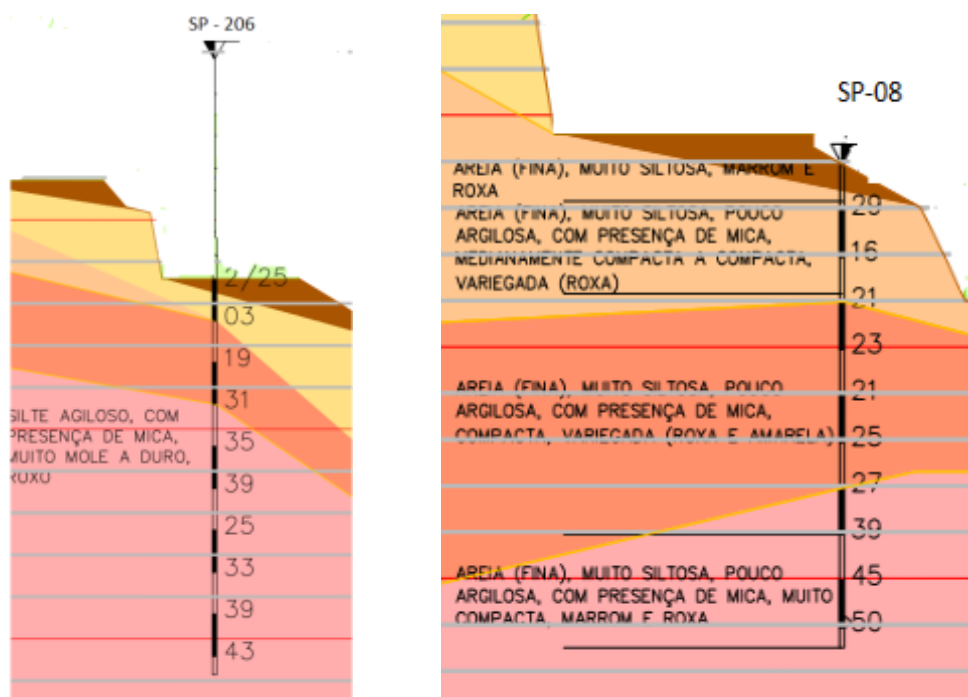


Figura 48 - Ilustram as sondagens 08 e 206 ampliadas, com sua composição e parâmetros de resistência a penetração de cone.

A seção S-02 é uma seção com cota de montante igual a 865m, com uma cota de jusante igual a 805m, em um horizonte de 105 m.

O talude composto por 4 camadas de solo. A primeira mais externa trata-se de um horizonte coluvionar, seguida de uma camada de solo residual maduro(SRM), sobreposta solo residual jovem (SRJ) que, por sua vez, está sobre uma camada de solo de rocha alterado(SAR).

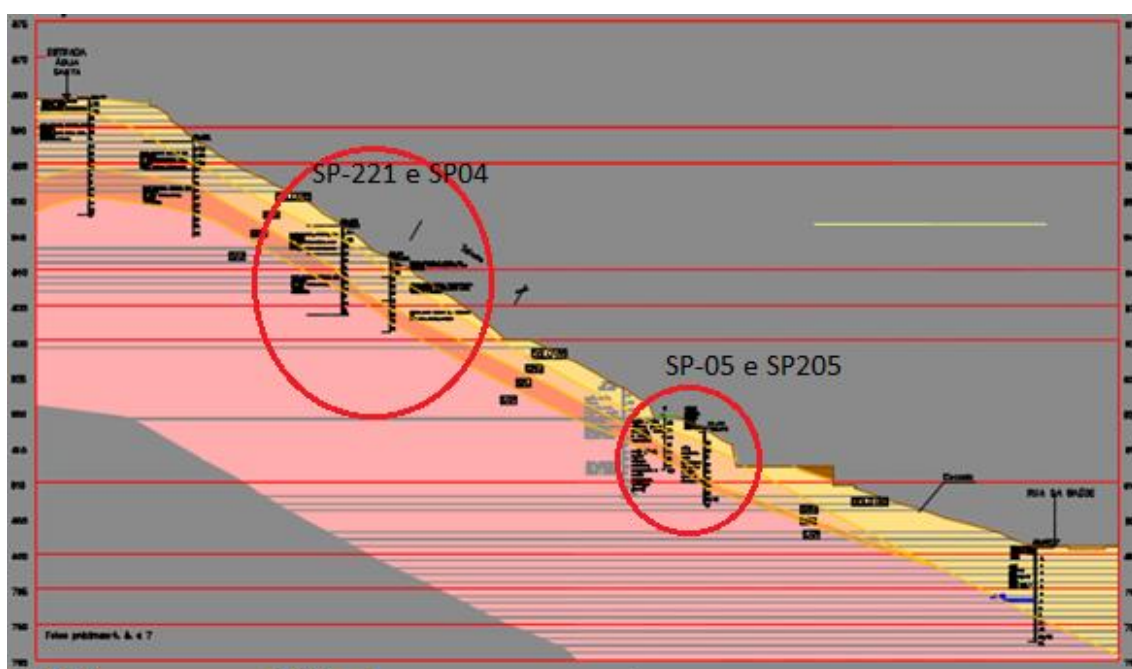


Figura 49 - Representa o perfil longitudinal da seção 03

Com o intuito de esclarecer o perfil ilustrado acima, explica-se a presença de um perfil longitudinal com cota de montante igual a 865m e cota de jusante igual a 800m, separadas por uma distância de 153m. O perfil possui cinco tipos característicos de solo, que terão seus parâmetros mais detalhados posteriormente no decorrer deste estudo, mas que podem ser classificados em aterro (pequenas porções da camada superficial), solo coluvial primeira camada (colúvio), solo residual maduro (SEM), solo residual jovem (SRJ) e solo de rocha alterada(SAR).

A figuras seguintes representam as camadas aqui descritas além dos perfis de sondagem com seus respectivos números SPT e caracterização dos solos.

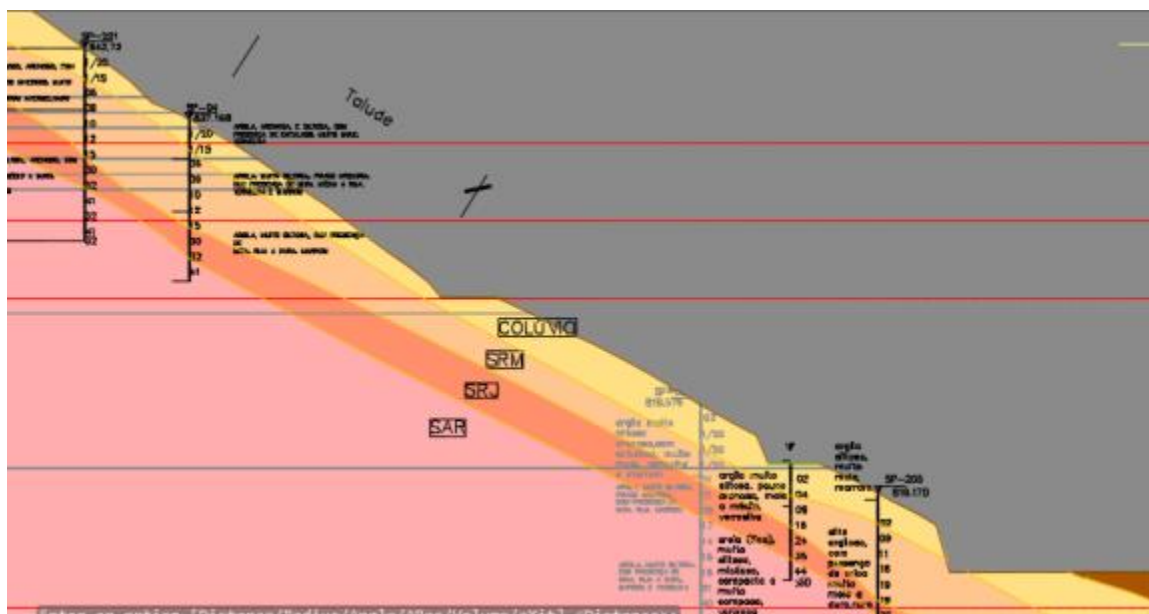


Figura 50 - Ilustra a disposição das camadas de solo no perfil demonstrado S03

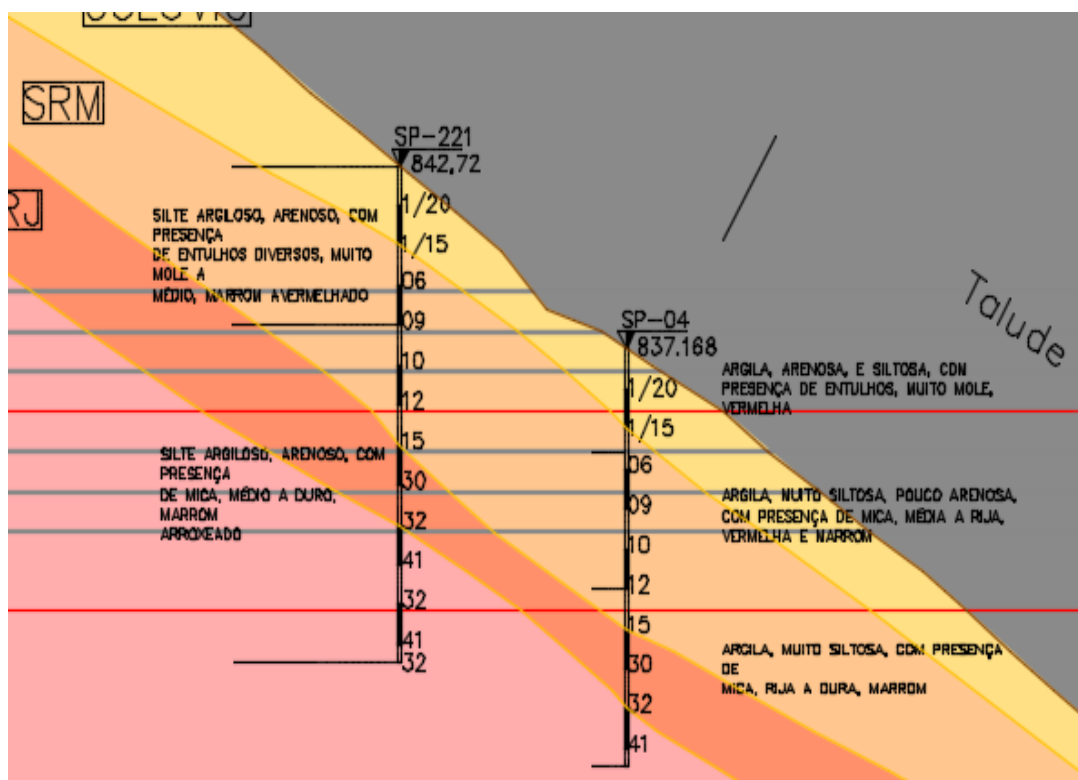


Figura 51 — Demonstra as sondagens SP-04 E SP 221

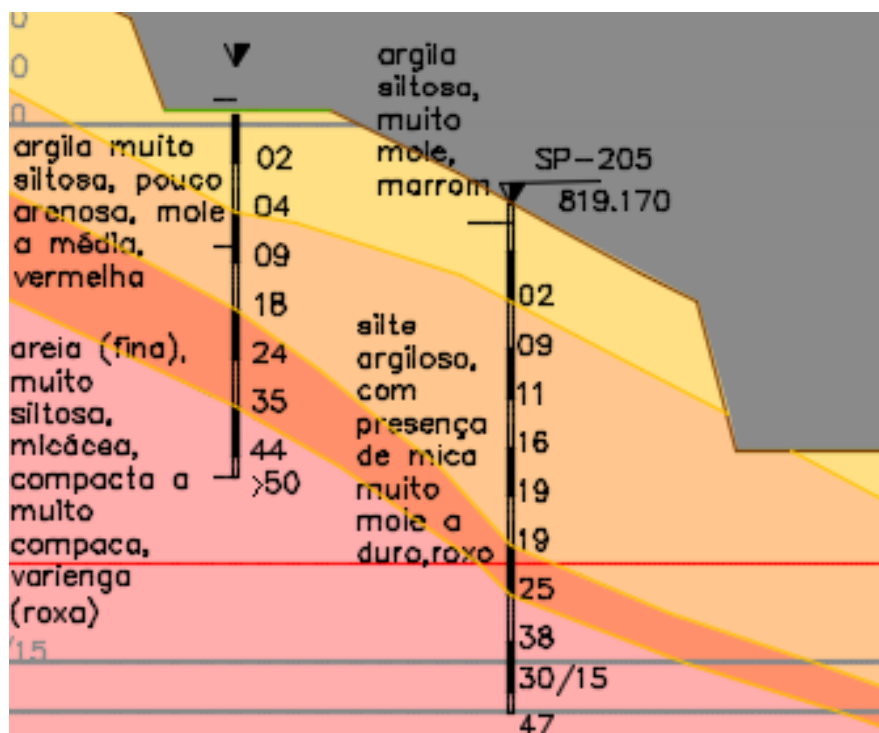


Figura 52 — Detalha as sondagens SP-05 e SP 205

12.3. CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE DESLIZAMENTO

Partindo-se do princípio de que não existem registros históricos, filmagens ou levantamentos detalhados que identifiquem os tipos de instabilizações presentes no local, será realizado um processo de enquadramento a partir das informações obtidas na primeira etapa deste estudo, somadas às imagens e reportagens que fazem junção entre o tipo de deslizamento e o tipo de solo presente.

Para que seja possível realizar esse tipo de levantamento, serão utilizados quadros resumo com as principais características de cada um dos deslizamentos e, a partir deste princípio, elencar os mais prováveis tipos movimentações de terra presentes na região.

12.4. RASTEJO E ESCORREGAMENTO EM ROCHA

<i>Rastejo</i>	
Caracterização	Movimento de camadas não superficiais
Mecanismo Deflagrador	Variação do nível da água (subpressões)
Solo	Solos heterogêneos de origem coluvionar
Velocidade	Lenta

Como pôde ser caracterizado no item anterior, verifica-se uma camada de solo heterogêneo de origem coluvionar, no entanto, em reportagem do jornal o globo, divulgada no dia 03/11/2011 pelo jornalista Guilherme Voitch, temos um relato de uma moradora do Morro dos Macacos de nome Sandra Maria Bonfim onde ela diz: "Foi tudo muito rápido. Foi um barulhão. Subi até a laje e vi toda aquela terra". O que vai de desencontro com uma das principais características do Creep, que se desenvolve em velocidades reduzidas. Além disso, trata-se de um movimento de camadas não superficiais do solo, o que não é bem o que pode ser verificado na foto a seguir.



Figura 53 - Ilustra o movimento de camadas não superficiais do solo

A foto ilustra um deslizamento frequente na região do morro dos macacos, mostrando que os movimentos vão além de camadas subsuperficiais, refutando a hipótese da presença de creep.

Outra possibilidade a ser analisada é a presença de escorregamentos em rocha, que possuem suas características resumidas no quadro abaixo:

<i>Escorregamentos em rochas</i>	
Caracterização	Movimentação de maciços rochosos
Mecanismo Deflagrador	Variação do NA (subpressões) / formação de frentes de saturação
Solo	Rocha com presença de descontinuidade, planos de xistosidade e falhas
Velocidade	Altas

Essa hipótese é facilmente descartada devido ao tipo de solo existente na região, onde não existem grandes coberturas rochosas, descartando a existência desse tipo de escorregamento.

12.5. DEBRIS FLOW (FLUXO DE DETRITOS)

Apenas a título de recapitulação, o quadro abaixo resume este tipo de escorregamento:

<i>Debris flow (fluxo de detritos)</i>	
Caracterização	Escorregamentos devastadores com transporte de grandes volumes de água, detritos e grandes pedras
Mecanismo Deflagrador	Combinação de taludes íngremes, vegetação dispersa, oferta de detritos soltos e água causando saturação do solo e diminuição da coesão
Solo	Composição heterogênea
Velocidade	Altíssimas

Com o auxílio da foto seguir, a caracterização e o mecanismo deflagrador aparentemente podem ser verificados, uma vez que a aparência do solo na região circulada, com uma consistência extremamente baixa, lembrando lama, é muito próxima daquela identificada como fluxo de detritos.



Figura 54 - Ilustra característica da região do escorregamento

Se forem somadas essas constatações aos presentes na reportagem citadas no item anterior, admitindo-se que o solo coluvial e o aterro presentes na região são materiais de origem extremamente heterogêneas, pode se dizer o debris flow com ocorrência possível na região.

12.6. ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAIS E ROTACIONAIS

Os quadros abaixo recapitulam resumem as principais características desses tipos de escorregamentos:

<i>Translacionais</i>	
Caracterização	Pequenas espessuras (0,3 a 3m) e grandes larguras (~25m)
Mecanismo Deflagrador	Variação do nível da água (subpressões) ou formação de frentes de saturação
Solo	Horizonte superior de solo coluvionar fraturado e com condutividade hidráulica crescente com a profundidade
Velocidade	Médias a altas

<i>Rotacionais</i>	
Caracterização	Grandes espessuras e larguras
Mecanismo Deflagrador	Avanço das frentes de saturação
Solo	Solos com grandes horizontes e espessas camadas de intemperismo
Velocidade	Médias a altas

A foto a seguir, ajuda a identificar o tipo de escorregamento presente:



Figura 55 -Vista lateral do deslizamento

Ao que pode ser verificado, somando-se a informação dada pelo perfil longitudinal da existência de uma camada de solo coluvionar superficial, pode-se concluir que os escorregamentos translacionais estão presentes na zona do Morro dos Macacos, uma vez que verifica-se uma espessura relativamente baixa e uma grande largura, indo de encontro com a característica dessa instabilização. O movimento rotacional é negado pela espessura de solo deslocada conforme verificado pela foto.

12.7. FATOR DE SEGURANÇA

O fator de segurança deve ser conduzido segundo critérios ambientais, materiais e contra perdas humanas.

12.8. PERDAS HUMANAS

Pelo histórico já relatado em outras seções do trabalho, além da grande ocupação da região levando a altas taxas de densidades populacionais, as perdas humanas são risco iminente e para isso deve ser atribuído um risco alto segundo a norma NBR 11682.

12.9. RISCO AMBIENTAL E MATERIAL

Por não se tratar de uma área sujeita a catástrofes ambientais graves, além de valores materiais das residências relativamente reduzidos, deve ser enquadrado em um baixo nível de segurança segundo esses critérios.

Assim sendo o fator de segurança escolhido será dado pela tabela abaixo:

NS contra danos materiais e ambientais (1) x NS contra danos a vidas humanas (2)	Alto (2)	Médio (2)	Baixo (2)
Alto (1)	1,5	1,5	1,4
Médio (1)	1,5	1,4	1,3
Baixo (1)	1,4	1,3	1,2

12.10. JUSTIFICATIVA DO MÉTODO ESCOLHIDO PARA SOLUÇÃO

Como uma das principais desconfiâncias relacionadas as catástrofes envolvidas é a presença da água, deve ser utilizado um método que não

negligencie a sua presença. Nesse sentido, o método de Morgenstern e Price poderia ser utilizado novamente, sem existência de problemas.

No entanto, como o estudo tem finalidades didáticas, desta vez será utilizado o método de Bishop, sem que haja prejuízo algum para os resultados e ainda exista a compatibilidade do mesmo para o programa previamente apresentado, SLIDE 5.0, que auxiliará os estudos realizando os cálculos dos fatores de segurança para os casos que serão posteriormente analisados.

12.11. PARAMETROS DO SOLO

Do solo presente, já caracterizado e dividido em itens anteriores do trabalho, são fornecidos os seguintes parâmetros principais, obtidos junto a Ludeman Engenharia.

Material	Sigla	γ (KN/m³)	c (KPa)	$\phi(^{\circ})$
Colúvio	CL	16	15	25
Solo Residual Maduro	SEM	17	10	27
Solo Residual Jovem	SRJ	18	15	28
Solo de Alteração de Rocha	SAR	19	20	30

12.12. DIAGNOSTICO DAS SEÇÕES

Será dado início agora ao estudo da Seção S-03 e esta será tratada com nível de detalhamento ímpar, uma vez que as demais seções por estarem situadas em um mesmo terreno, com solos com semelhantes características, possuirão em geral, semelhantes problemas e soluções. Em um primeiro momento o perfil geológico deve ser analisado sem nenhum tipo de intervenção, buscando-se identificar os locais mais críticos, cujos fatores apresentarão os menores valores e muito possivelmente serão as regiões responsáveis pela deflagração dos movimentos de solo.

A figura abaixo caracteriza as superfícies de ruptura para o talude em seu estado natural com restrição de fator de segurança menor que 1,5.

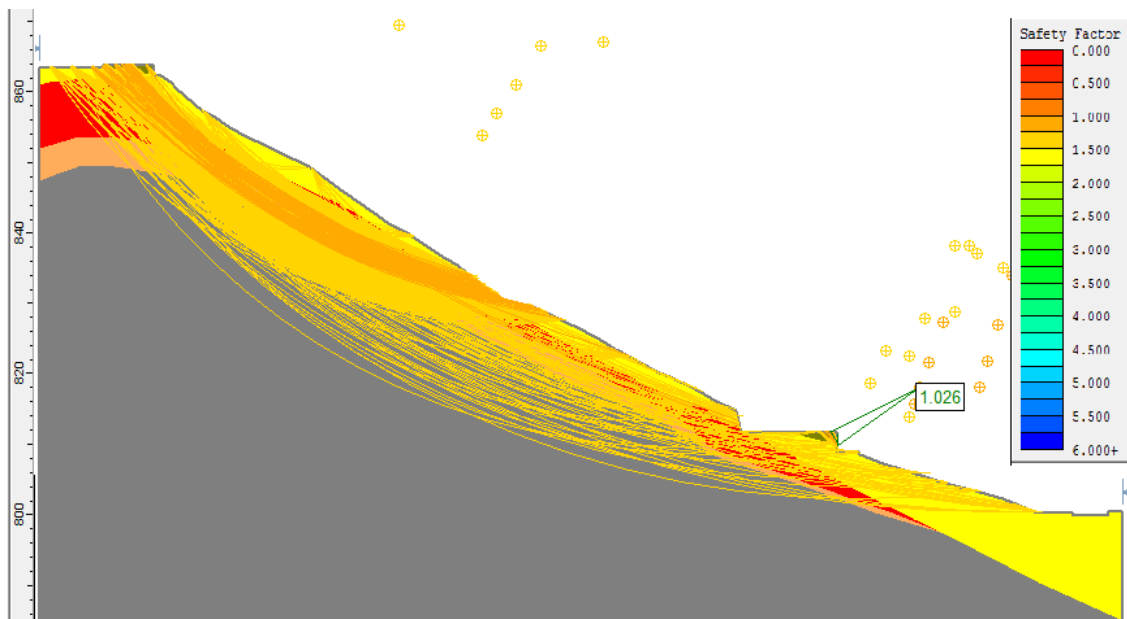


Figura 56 condição natural do terreno na região 3

Nesse sentido, verificamos que em virtude da cobertura do terreno apresentar por toda sua extensão uma camada de solo mais frágil (colúvio), diversos são os pontos que não atingem condições satisfatórias de estabilidade. A partir da imagem pode-se dividir a seção em duas problemáticas distintas. A primeira, detentora no fator crítico, localizada a jusante do desnível, onde ocorre uma zona com inclinação extremamente íngreme, conduzindo o fator de segurança a um número próximo de 1,0. A segunda, remete a região caracterizada pelos semicírculos de cor mais alaranjada, a montante da figura, onde os fatores próximos a um indicam a necessidade de intervenção.

Para intervenção do problema deve ser ponderado que, pela análise da amplitude do semicírculo apresentado na figura para o menor FS, trata-se de um problema pontual e que pela dimensão da encosta que leva ao mesmo, este poderia ser facilmente contornado pela construção de um muro de concreto armado de dimensões relativamente pequenas.

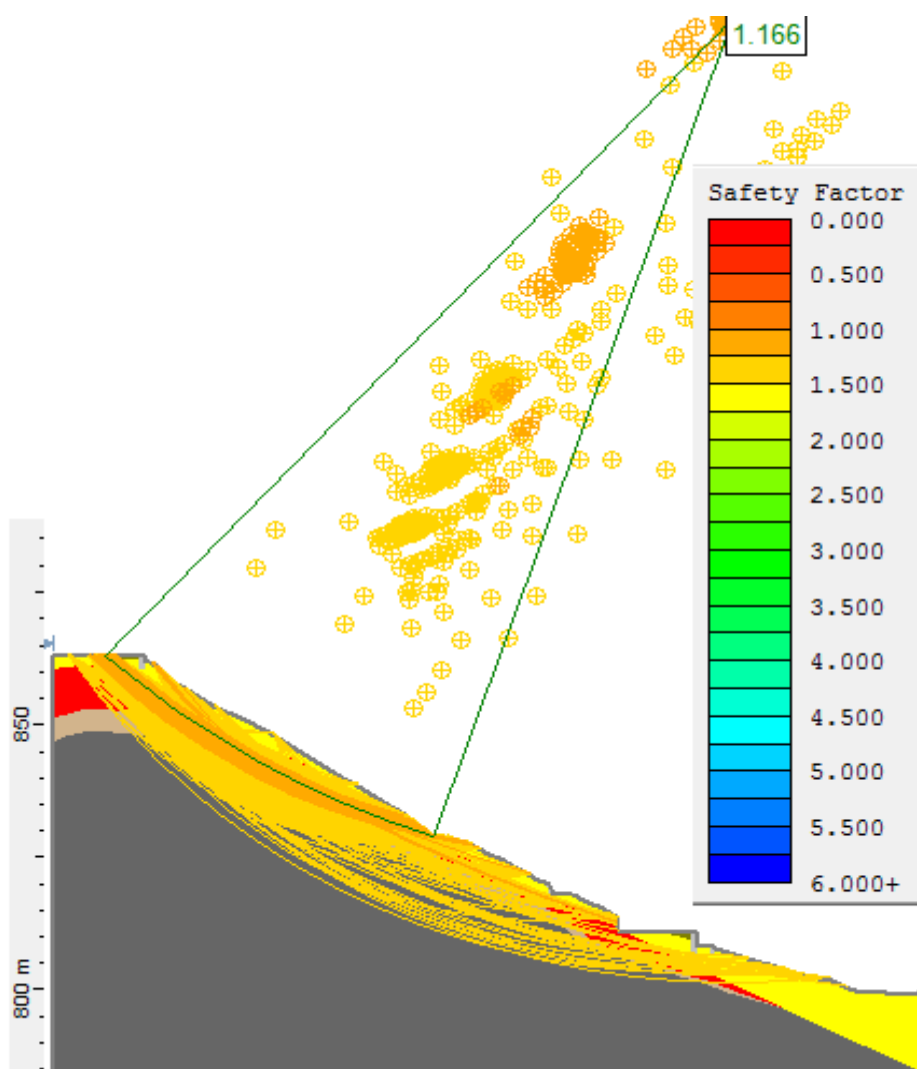


Figura 57 - Seção 03 com inserção de paredes de concreto nos trechos mais íngremes.

Com a nova situação, passa a ficar claro que os menores fatores de segurança são conduzidos pela geometria e parâmetros característicos das camadas superficiais do solo.

Como já vimos anteriormente neste mesmo estudo, a presença de água possui grande influência na estabilidade do talude. Seja pela elevação da linha freática, ou seja pelo avanço de frentes de saturação modificando parâmetros como peso específico, coesão e o ângulo de atrito interno do material.

Com o auxílio das sondagens anteriormente apresentadas, pode-se verificar que para a região o nível da água no lençol freático não pode ser

considerado um grande problema pois este não é atingido pelas principais sondagens levadas em questão. Assim sendo, há fortes indícios de que o avanço das frentes de saturação possa vir a ser o principal agente desestabilizador do talude.

A figura abaixo mostra os resultados obtidos para uma redução dos parâmetros da primeira camada de solo para aqueles presentes no quadro do item anterior para o solo coluvionar, passando a apresentar um fator de segurança extremamente próximo do limiar da estabilidade. As superfícies demonstradas são aquelas que apresentam FS abaixo de 1,1.

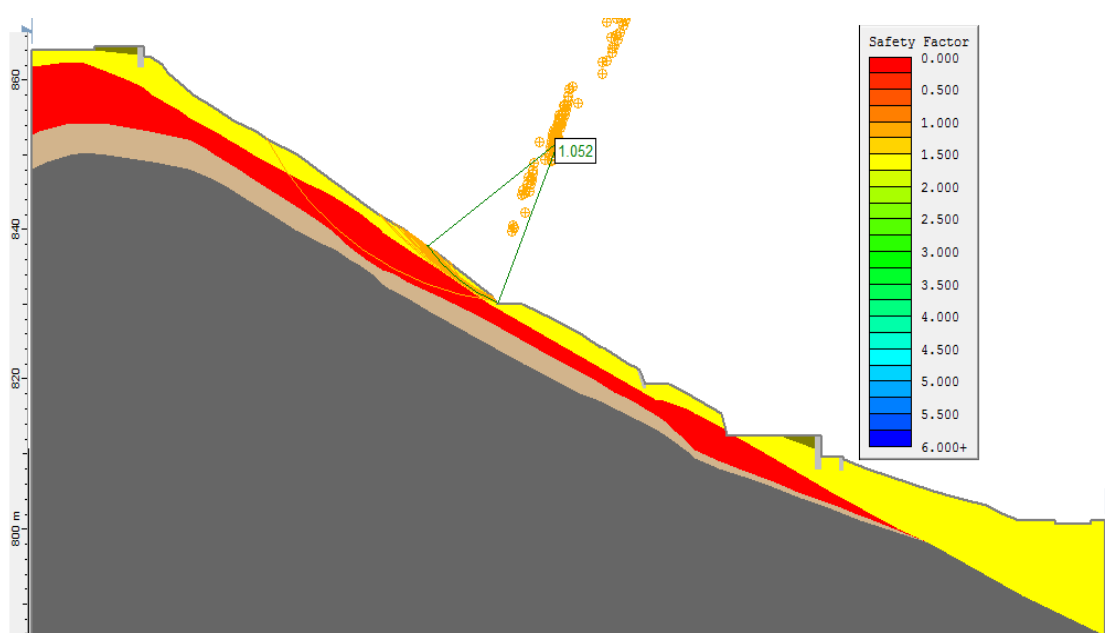


Figura 58 - Seção 03 com parâmetros reduzidos para o solo coluvionar

Observando apenas a modificação dos parâmetros da camada coluvionar, constata-se que o solo está na iminência do escorregamento. Conclui-se que por mínimas que possam ser as alterações no meio a partir desse ponto poderá ocorrer um deslizamento de solo.

Será levado em conta agora um fator importante que até o dado momento ainda não vinha sendo propositalmente considerado. As edificações

aglomeradas no decorrer das encostas possuem uma carga linear que será considerada da ordem de 30kN/m e se espalhadas pela encosta certamente tornarão o cenário ainda mais crítico.

A distribuição dessas solicitações tal como a sua influência para os fatores de segurança na condição de solo coluvionar saturado por ser analisada na imagem a seguir.

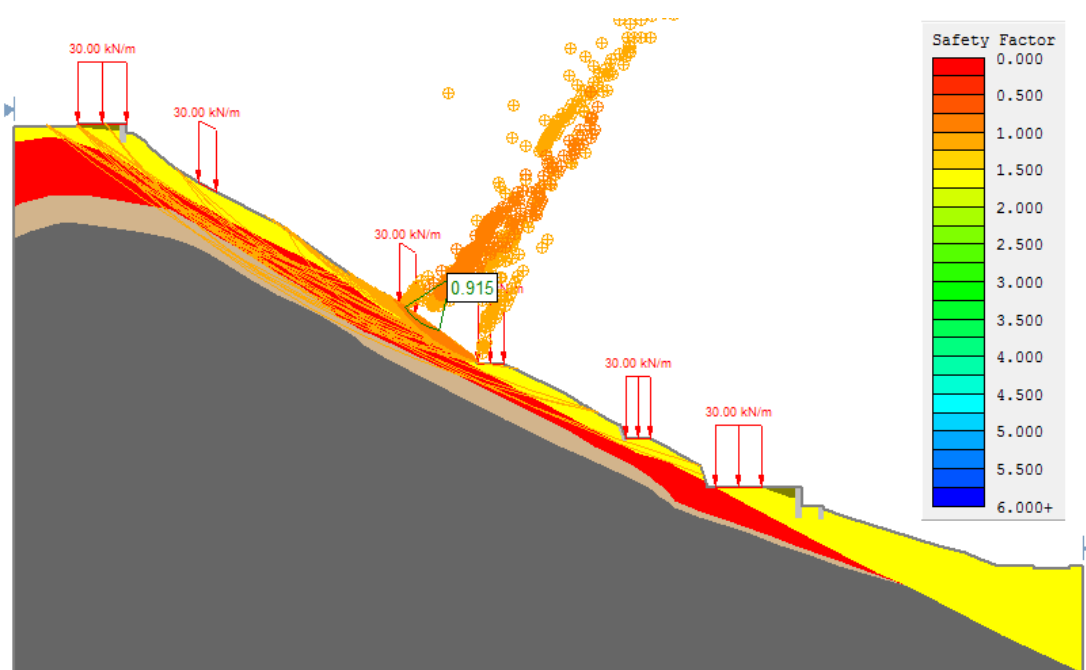


Figura 59 - Introdução das cargas

As cunhas circulares mostradas na figura representam as regiões com fatores de segurança menores que 1.1.

Das considerações realizadas até aqui pode-se concluir que o avanço de frentes de saturação é, assim como era para o caso dos bairros cota, o principal responsável pela instabilização dos taludes.

Para solucionar os problemas, devem ser aplicadas técnicas de contenção e estabilização, como é o caso do solo grampeado e aplicação de cortina atirantada. Sua efetividade será colocada à prova nos estudos a seguir.

12.13. SUGESTÃO PARA SOLUÇÃO E ANALISE

Como o presente trabalho não possui foco no dimensionamento dos elementos de contenção, mas sim a comprovação de sua efetividade para resolução dos problemas em questão, não será abordada com profundidade a escolha dos grampos tal como seu posicionamento ou limite de suporte para as cargas.

Assim sendo, serão utilizados tirantes de resistência característica de 150KN e o resultado demonstra-se satisfatório, conforme pode ser identificado na imagem a seguir

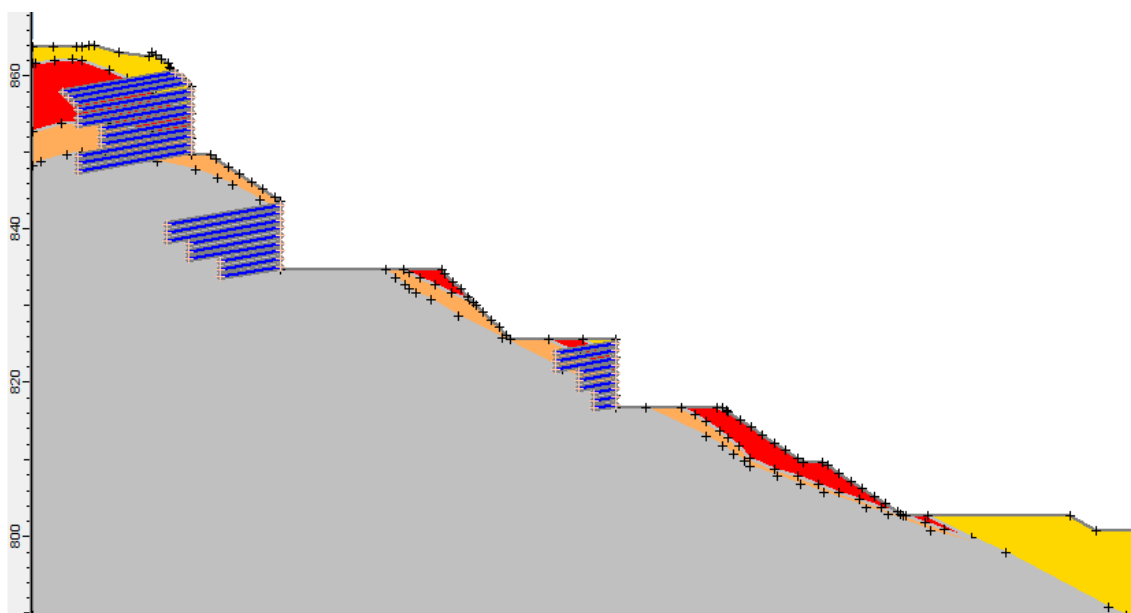


Figura 60 - Demonstra a modificação imposta no relevo e a disposição dos tirantes na solução

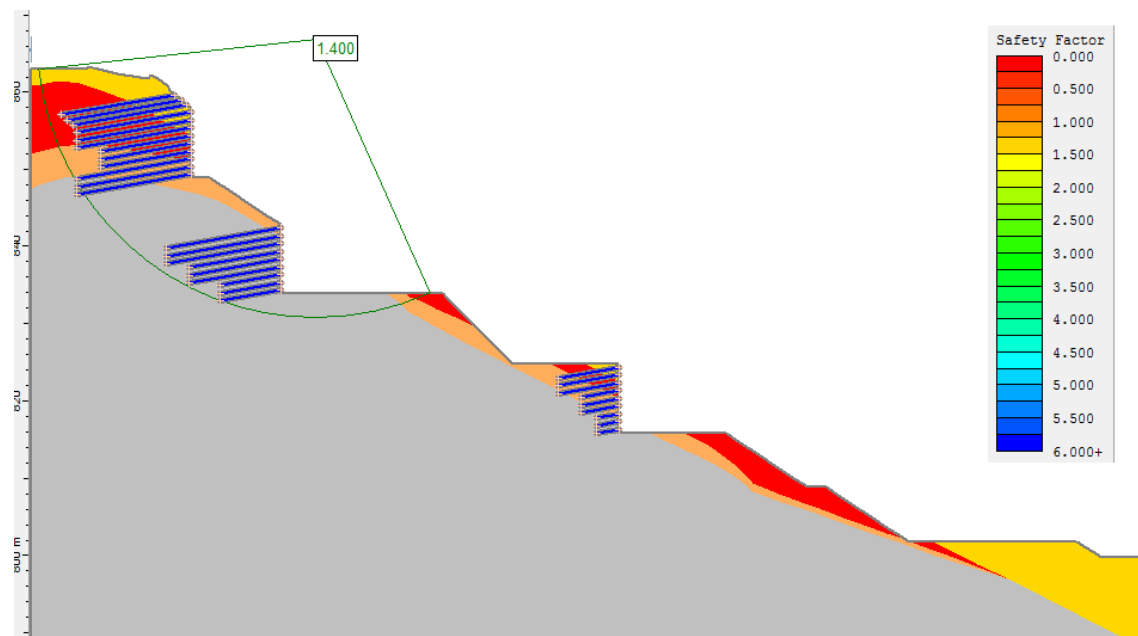


Figura 61 - Verifica a eficiência dos tirantes elevando o fator de segurança.

Como pode ser verificado pela imagem, o fator de segurança com o uso de tirantes e o retaludamento elevou o fator de segurança para 1,4, justamente aquele que havia sido traçado como objetivo segundo este estudo.

13. APRESENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES

A seguir, serão apresentadas duas alternativas que na ocasião foram propostas para a contenção da seção crítica da encosta do Morro dos Macacos, e que servirão para orientar a escolha da alternativa mais adequada.

A primeira alternativa visava a estabilização da encosta na seção crítica de forma que o terreno fosse aproveitado o máximo possível através da conformação de quatro platôs que seriam aproveitados com elementos urbanísticos. Em uma primeira etapa seriam removidas as habitações localizadas em áreas de alto risco para que depois as obras de contenção fossem iniciadas. Entretanto, para que se garantisse a estabilidade destes platôs, uma série de obras de contenção deveriam ser executadas, o que inviabilizaria a obra devido ao alto custo destas soluções. Os platôs seriam precedidos de uma série de estruturas, alternando entre soluções em solo grampeado e cortinas atirantadas, como mostrado na figura a seguir.

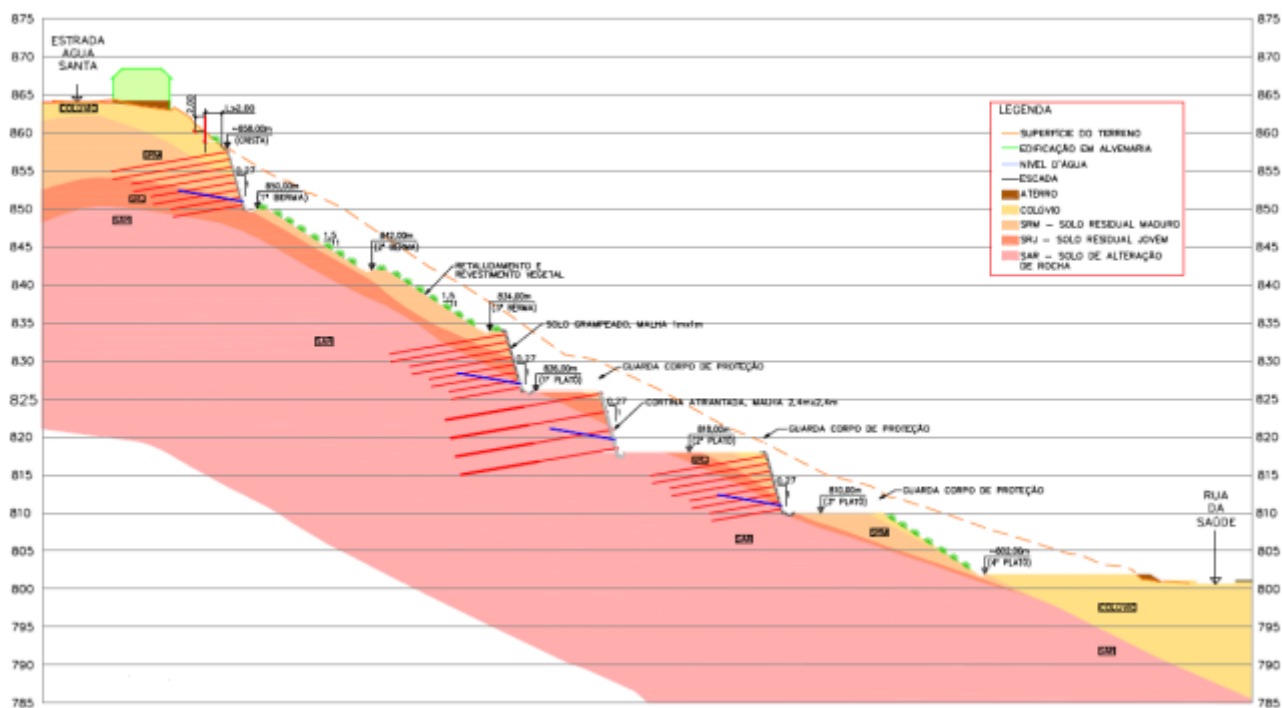


Figura 62 - Seção típica da 1ª alternativa (software slide)

Apesar desta alternativa possibilitar o aproveitamento de uma grande área da encosta, o grande volume de movimentação de terra somado aos custos da grande quantidade de solo grampeado e cortina de tirantes inviabilizaria sua implantação.

A segunda alternativa baseou-se na remoção das edificações localizadas na zona de risco e na execução de solo grampeado próximo à crista, seguido então do retaludamento do restante da encosta a ser revestida com grama. Para esta implantação, seria fundamental que se tomassem medidas para evitar a reocupação da encosta.

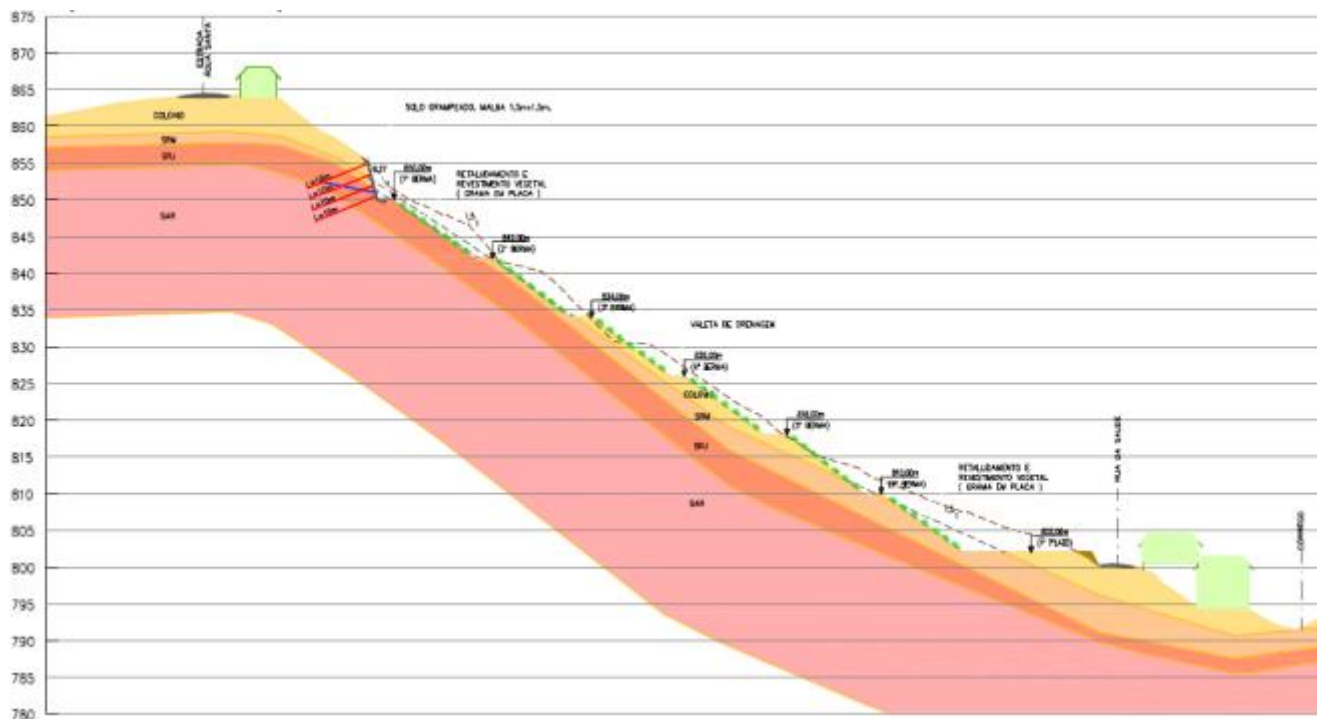


Figura 63 - Seção típica da 2ª alternativa

Nesta alternativa foi priorizada a menor remoção possível de solo superficial, menor utilização possível de obras de contenção e maior aproveitamento das áreas livres para o plantio de vegetação, tornando esta solução mais atraente economicamente do que outra apresentada.

13.1. EXECUÇÃO DA SOLUÇÃO ADOTADA

A execução de solo grampeado no topo do morro seguido por retaludamento do restante da encosta foi a solução adotada, principalmente por seu custo ser inferior à concorrente. A seguir será descrito o processo executivo e algumas particularidades destas obras.

Arranjo Geral das Obras

Solo Grampeado:

De acordo com o projeto executivo, a contenção deve ter altura variável e declividade de 1V:0,27H. A execução da contenção seria feita em etapas sucessivas de escavação e grampeamento do solo, com sentido de avanço descendente.

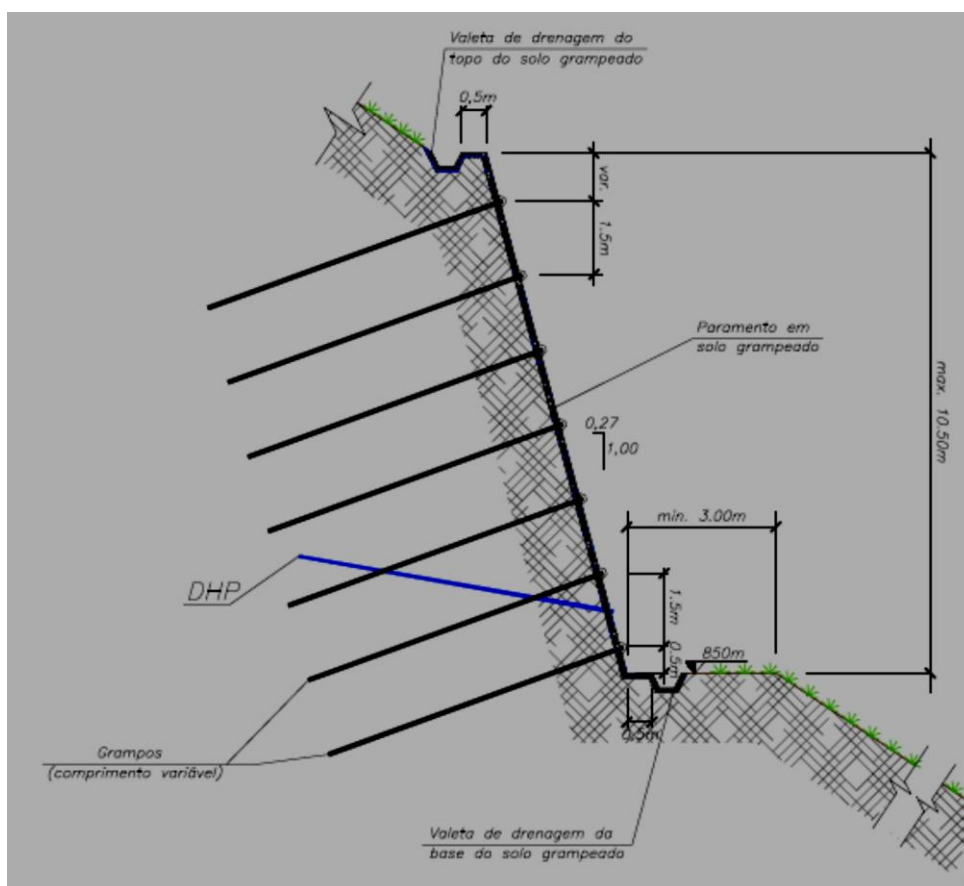


Figura 64 Seção típica do solo grampeado.

Após a escavação da linha de grampeamento, o maciço é perfurado com diâmetro $\varnothing=150$ mm até as profundidades definidas em projeto, que variam de 6 a 16 metros, e com inclinação de 20° abaixo da horizontal. As cavidades perfuradas devem permanecer estáveis durante toda a execução dos grampos, sendo dispostas numa malha de 1,5 m na vertical e na horizontal. A calda de cimento que preenche os furos deverá ter fator água/cimento de 0,5 (em peso) e deve ser injetada de maneira ascendente (bainha). Devem ser previstos tubos de injeção providos de válvulas a cada 0,5 m até próximo da boca do furo (1,5 m), e as injeções seriam realizadas em 03 (três) fases. Após um tempo mínimo de 12 horas, os grampos devem ser reinjetados por meio de tubo de

injeção perdido, anotando-se a pressão máxima de injeção e o volume de calda absorvida.

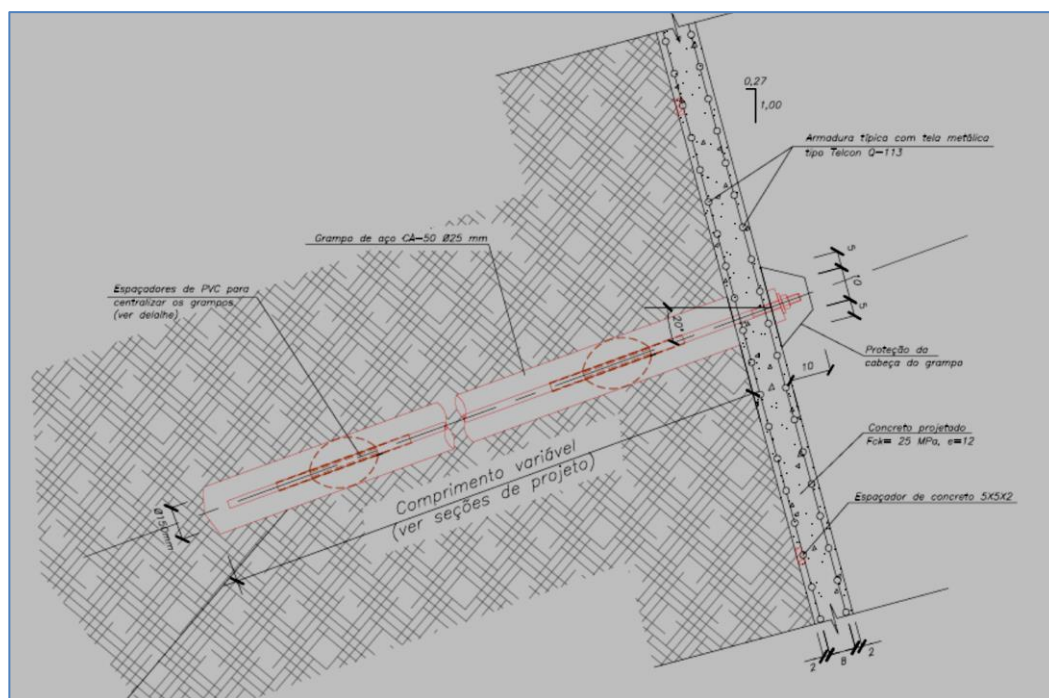


Figura 65 - Detalhe do grampo

O paramento proposto é revestido por uma camada de concreto projetado com resistência $f_{ck}=25\text{MPa}$ (espessura final, $e=12\text{ cm}$), armado com tela metálica soldada, em dupla camada, favorecendo a estabilidade local da contenção.

A drenagem interna do maciço deve ser feita por meio de drenos sub-horizontais profundos (DHP) espaçados a cada 4,5 m na horizontal, instalados com 10° de inclinação acima da horizontal. Já a drenagem do paramento deve ser promovida por meio de barbacãs intercalados à malha dos grampas.

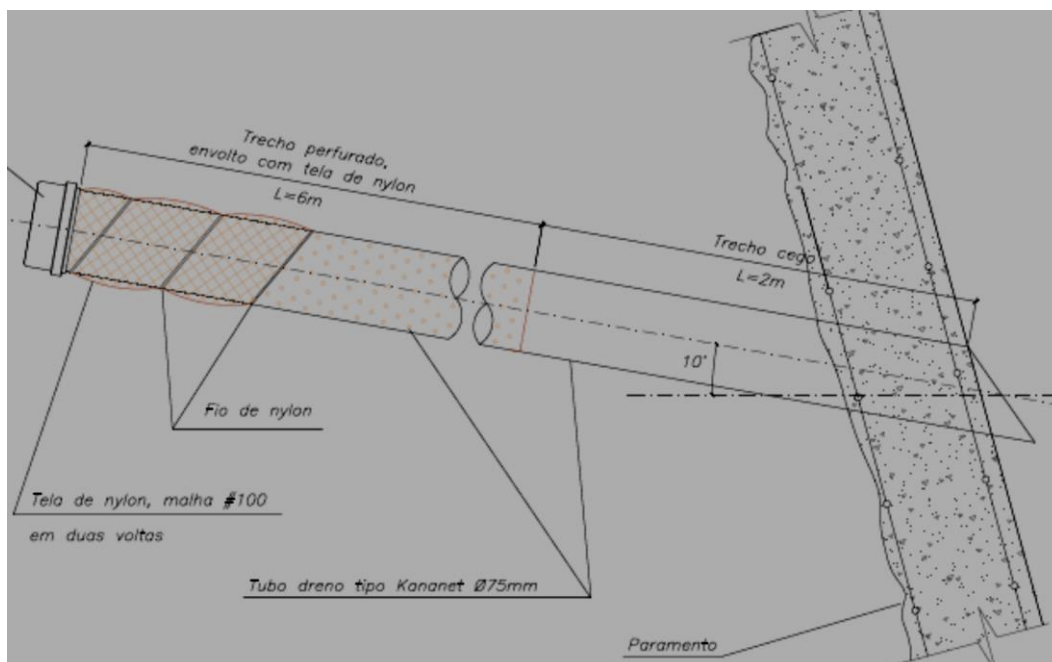


Figura 66 - Dreno Sub-Horizontal Profundo (DHP)

Retaludamento da Encosta

O retaludamento deve ser feito em corte, objetivando a remoção dos solos superficiais não consolidados que apresentam possibilidade de sofrerem mecanismos de movimento de massa gravitacional. O retaludamento no restante da encosta obedece uma declividade de 1,0V:1,5H, sendo dotado de bermas mínimas de 3,0 m de largura. Os taludes e bermas são revestidos com grama em placa de qualquer espécie adaptada à região, e o sucesso da referida concepção adotada depende da conservação desse revestimento.

No pé da encosta foram reservadas áreas destinadas à implantação de equipamentos urbanísticos. As referidas áreas deverão ser adequadamente pavimentadas em função do objetivo a que se propuserem.

Drenagem de Águas Pluviais

A drenagem das águas pluviais visam livrar os taludes do perigo de erosão por fluxo não controlado das águas de escoamento. O sucesso do empreendimento depende do correto dimensionamento, execução e manutenção periódica deste sistema de drenagem.

A concepção da drenagem deve prever a coleta das águas pluviais na crista e pé da contenção em solo grampeado, e em cada berma do retaludamento projetado. As águas captadas nas valetas são conduzidas até caixas de passagem interligadas às descidas d'água. As descidas d'água entre bermas não serão alinhadas para evitar a propagação de erosões sucessivas em caso de falha em parte do sistema.

Isolamento da Área

Para evitar a reocupação da área, um projeto paisagístico específico deve ser elaborado de modo a impedir o acesso e dificultar a reocupação das áreas verdes. Para tanto, recomenda-se o uso de espécies vegetais arbustivas no entorno da área de projeto (contenção e retaludamento). Podem ser plantadas espécies arbóreas de médio e grande porte em toda área central para dificultar a tentativa de modificação do relevo por parte de invasores, e no topo da encosta deverá ser instalada uma barreira de proteção/isolamento da área, com estrutura a ser definida no projeto paisagístico.

Além disso, o projeto de drenagem pluvial prevê a implantação de escadarias drenantes em concreto armado espalhadas por toda a área, objetivando dificultar o acesso, a invasão e a construção de novas habitações irregulares. Deverão ser espalhadas diversas placas de orientação à população quanto ao risco da reocupação do local.

Sequência Executiva

Desapropriação dos imóveis;



Figura 67 Detalhe da desapropriação dos imóveis.



Figura 68 - Detalhe da demolição dos imóveis

Execução da contenção em solo grampeado;



Figura 69 - - Execução do concreto projetado.

Retaludamento da encosta e revestimento vegetal;

Execução da drenagem de águas pluviais;

Execução das intervenções paisagísticas para proteção da área;

Instalação de equipamentos urbanísticos;

Estudo e realização das intervenções localizadas/pontuais na área de risco médio;

14. CONCLUSÃO

A ocupação do solo em uma área de risco como as encostas da Serra do Mar devem ser muito bem estudadas. Desse modo, é irrefutável que sejam realizados estudos visando o conhecimento da área, a identificação de problemas e suas causas, para que posteriormente possa ser realizada a preparação dos entornos evitando que em um futuro, seja este próximo ou distante, seja mitigada ou erradicada a possibilidade eventos catastróficos que venham a ceifar vidas humanas.

Tratando-se de uma área de preservação ambiental, com florestas nativas, a atenção deve ser redobrada no intuito de dificultar e evitar a ocupação em tais áreas. Como o caso da habitação nos bairros Cota, uma ação devia ter ocorrido na época, proibindo e ao mesmo tempo dificultado o acesso dos moradores para a instalação da família nos bairros.

Áreas de proteção ambiental e áreas de risco devem ser permanentemente monitoradas. Qualquer ocupação clandestina ou não autorizada deve ser removida.

Para os casos em que não é possível a remoção das famílias e o risco de deslizamentos é iminente, obras de contenção devem ser feitas, junto com a aplicação de técnicas para a melhora da estabilidade, como o uso do DHP, solução esta bastante utilizada na região estudada.

A primeira parte do presente trabalho teve como intuito e mérito o conhecimento de uma região e seus problemas. Foi realizada uma investigação a respeito dos acontecimentos, suas características, origens e posteriormente foi apresentando um estudo com o intuito de identificação das causas. Só então, de posse da última informação, foram sugeridas soluções que atuavam diretamente sobre as causas apuradas.

Na segunda parte do trabalho, foi estudada a região Morro dos Macacos, que possuem características semelhantes as estudadas nos Bairros Cota, tanto pela ocupação irregular e pela geomorfologia, em um encosta natural.

O acidente ocorrido durante a fase de obras, em 2011 no Morro dos Macacos, é um claro exemplo de que os projetistas não se devem deixar de considerar a influencia das instalações precárias em uma comunidade. No caso, o excesso de lixo, esgotos e ligações de água clandestinas saturaram o terreno levando-o a ruptura. Dessa forma, esse tipo de infiltração deve ser previsto e estudado em campo, pois não aparecem em sondagens.

O presente Trabalho de Formatura, nos mostra a importância das intervenções em Encostas Naturais, onde comunidades presentes correm risco e que na maioria das vezes são negligenciadas pelas autoridades competentes, tanto pela dificuldade de lidar com as famílias, dificuldade de execução e de obter recursos financeiros.

15. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 11682:2009 - “Encostas Naturais”.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 5629:2006 - “Execução de tirantes ancorados no Terreno”.

ALMEIDA, F. F. M. (1953) – “Considerações sobre a morfogênese da Serra de Cubatão” – Boletim Paulista de Geografia nº15, Outubro de 1953,

BONONO, M. D. – “Conhecimento da comunidade do Jardim Botânico de Cubatão”, Relatório de Consultoria para atendimento ao Programa de Desenvolvimento de Métodos e Modelos de Manejo e Recuperação Ambiental em Áreas Degradadas por Reassentamento em Áreas Protegidas do Estado de São Paulo. Novembro de 2008.

Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano – Projeto: Programa de recuperação sócio - ambiental da serra do mar – Assunto: Shopping – SH – 07 e Shopping 2 - Projeto Executivo de Contenção - seções e vistas frontais

COUTO, D. L. N. (2005) – “Geometria de encostas e declividade como parâmetros para risco de deslizamentos”, simpósio brasileiro de geografia física aplicada, São Paulo, 2005

GEOSONSA (2012) - “Metodologia de drenos horizontais, São Paulo. Disponível em: <http://www.geosonda.com.br/drenos.php> Acesso em 12/ maio/ 2014

GEOSONSA (2012) - “Metodologia de drenos horizontais, São Paulo. Disponível em: <http://www.geosonda.com.br/Tirantes.doc> Acesso em 12/ maio/ 2014

Governo do Estado de São Paulo e Banco Interamericano de Desenvolvimento - RELATÓRIO TÉCNICO BR-L1241: “Estratégia Ambiental e Social do Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar e do Sistema de Mosaicos da Mata Atlântica”. Novembro de 2009.

GRAY, D. H. (1973) – “Effects of Forest Clear-Cutting on the stability of natural slopes”, Whashington, 1973

GUIDICINI, G. e IWASA, O. Y. (1976) – “Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido” – Publicação IPT nº 1080, São Paulo, 1976

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - RELATÓRIO TÉCNICO Nº 98.277-205: “Análise de Riscos Ambientais Relacionados ao Bairro Cota 400, Cubatão/SP”. Janeiro de 2008.

LEINZ, V. (1977) – “Glossário Geológico”, Editora nacional, 2ª edição, São Paulo, 1977

Revista Fundações & Obras Geotécnicas, 7ª edição, Páginas 38 a 42 - “Bairros Cota na serra do Mar em Cubatão – Riscos em ebulição e planos de ação em andamento”. Editora Rudder, 2011.

SALOMÃO, F. X. T. e ANTUNES, F. S. “Geologia de Engenharia”, São Paulo: ABGE, 1998

SOLOTRAT (2014), manual técnico de tirantes, São Paulo, Brazil , disponível em:< http://www.solotrat.com.br/ws/manual/pt_ManSoloGrampeado.pdf>, acesso em 23/maio/2014

SOLOTRAT (2014), manual técnico de tirantes, São Paulo, Brazil , disponível em: http://www.solotrat.com.br/ws/manual/pt_ManTirantes.pdf, acesso 12/maio/2014

VARGAS, M. – “Geotécnica dos Solos Residuais”, Revista latino-americana de geologia, 1971

WOLLE, C. M.- “Taludes Naturais – Mecanismos de instabilização e Critérios de Seguraça”, EPUSP, São Paulo, 1980