

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIA, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA MENEGHINI
THAYNÁ MAINARDES ROCHA

RETROANÁLISE DA RUPTURA DE TALUDE NA REGIÃO DE ALMIRANTE
TAMANDARÉ – PR E ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA ESTRUTURA DE
CONTENÇÃO

PONTA GROSSA
2023

FERNANDA MENEGHINI
THAYNÁ MAINARDES ROCHA

RETROANÁLISE DA RUPTURA DE TALUDE NA REGIÃO DE ALMIRANTE
TAMANDARÉ – PR E ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA ESTRUTURA DE
CONTENÇÃO

Trabalho apresentado à disciplina de OTCC como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Ma. Bianca Penteado de Almeida Tonus.

PONTA GROSSA

2023

FERNANDA MENEZHINI
THAYNÁ MAINARDES ROCHA

RETROANÁLISE DA RUPTURA DE TALUDE NA REGIÃO DE ALMIRANTE
TAMANDARÉ – PR E ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA ESTRUTURA DE
CONTENÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Ma. Bianca Penteado de Almeida Tonus
Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Carlos Emmanuel Ribeiro Lautenschlager
Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Eng. Luiz Henrique Felipe Olavo – Ensolo Engenharia

Ponta Grossa, 27 de novembro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos à professora Bianca Penteado de Almeida Tonus por todo o auxílio e apoio durante o desenvolvimento do trabalho, somos infinitamente gratas por ter aceitado nos orientar nesse período de Trabalho de Conclusão de Curso.

Também agradecemos à banca avaliadora, formada pelo Professor Carlos Emmanuel Ribeiro Lautenschlager e Engenheiro Luiz Henrique Felipe Olavo por todo o auxílio em aprimorar nossa pesquisa.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil, agradecemos todos os ensinamentos nos anos de graduação, que nos permitiram desenvolver essa pesquisa.

À nossa família, agradecemos por todo o apoio que foi o que nos trouxe até aqui, sem vocês não teríamos alcançado tudo o que alcançamos. Deixamos nossa gratidão especialmente à Renilda, Hildo, Marcos Roberto, Leonardo, Fernanda, Gabriel, Rita, José, Thalita, Jefferson e Margarida.

Às nossas amigas da graduação Alexsandra, Eloisa, Isabela Nogueira, Isabela Furmam, Mariana, Maria Fernanda e Rafaella, somos gratas pelos momentos felizes e de apoio durante a graduação. Com vocês, tudo foi melhor.

Aos nossos amigos da vida, agradecemos por nos motivarem durante toda a faculdade e a vida. Obrigada por tudo.

Para finalizar, agradecemos uma à outra pela parceria, companheirismo e colaboração durante este período do desenvolvimento do trabalho. Fomos essenciais uma à outra.

RESUMO

Devido aos grandes desastres geotécnicos ocorridos no país por conta de negligência em projetos e na manutenção de estruturas de contenção se faz necessária maior atenção aos estudos relacionados às obras de terra. Assim, com o avanço da tecnologia aliada à geotecnia, existem diversas soluções e alternativas para contenção de taludes. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo principal o dimensionamento de um muro de solo reforçado com geossintético (geogrelha) e o dimensionamento da ficha de cortina atirantada para um talude estudado localizado em Almirante Tamandaré – PR. Os parâmetros utilizados para o dimensionamento das contenções mencionadas foram dos solos constituintes do talude antes do rompimento, obtidos através da retroanálise. Foram também analisados e apresentados outros métodos de contenção e suas particularidades. Por fim, utilizou-se os dados obtidos nos dimensionamentos das duas contenções para comparação técnica entre as duas soluções. Assim, pode-se concluir que o muro de solo reforçado com geogrelha com faceamento em tela soldada é vantajoso sobre a cortina de estacas atirantada quando comparada pela viabilidade de execução.

Palavras-chave: Estabilidade de Taludes. Retroanálise. Estruturas de Contenção. Cortina. Tirantes. Muro de Solo Reforçado. Geossintéticos.

ABSTRACT

Due to the major geotechnical disasters that have occurred in the country due to negligence in projects and maintenance of containment structures, greater attention to studies related to earthworks has become necessary. Likewise, with the advancement of technology combined with geotechnics, there are several solutions and alternatives for containing slopes. Therefore, the main objective of this work is the design of a wall only reinforced with geosynthetic material (geogrid) and the design of the anchored retaining wall for a studied slope located in Almirante Tamandaré – PR. The parameters used to dimension the aforementioned retaining structures are from the soils constituents of the slope before failure, obtained through retroanalysis. Presented other retaining methods and their particularities. Finally, I use the data obtained in the dimensions of the two contents for technical comparison between the two solutions. Thus, it can be concluded that the soil reinforced wall with a geogrid with a welded mesh face is advantageous in relation to the anchored retaining wall when compared to the viability of execution.

Keywords: Slope Stability. Retroanalysis. Containment Structures. Curtain Wall. Risers. Reinforced Soil Wall. Geosynthetics.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Seção transversal de talude	17
Figura 2 - Talude natural	18
Figura 3 - Talude de corte ou aterro	18
Figura 4 - Método das Fatias	23
Figura 5 - Forças atuantes por fatia no Método de Morgenstern e Price	25
Figura 6 - Uso de contenções em taludes	26
Figura 7 - Muro a gravidade em concreto ciclópico	28
Figura 8 - Seção transversal de muro a flexão	29
Figura 9 - Seção transversal de contenção em solo reforçado	29
Figura 10 - Seção transversal de contenção em solo grampeado	30
Figura 11 - Corte e planta de parede diafragma	31
Figura 12 - Cortina com estacas	32
Figura 13 - Seção transversal de contenção em cortina atirantada	32
Figura 14 - Cortina atirantada	33
Figura 15 - Tirantes durante processo de execução de contenção em cortina atirantada	34
Figura 16 - Componentes do tirante	35
Figura 17 - Macaco hidráulico, bomba e manômetro	36
Figura 18 - Distribuição de empuxos segundo Blum (1931)	37
Figura 19 - Método da viga equivalente de Blum	38
Figura 20 - Diagrama de empuxo antes e depois da retificação	40
Figura 21 - Distribuição, ponto de aplicação e cunha de ruptura do empuxo ativo para solos não coesivos	46
Figura 22 - Distribuição das tensões verticais na base.	49
Figura 23 - Teoria de Meyerhof de distribuição de cargas na base da contenção	50
Figura 24 - Modos de ruptura interna: (A) Ruptura dos esforços e (B) Arrancamento dos reforços	52
Figura 25 - Definição de zona ativa e resistente	54
Figura 26 - Geogrelha extrudada (GGE)	58
Figura 27 - Geogrelha tecida (GGB)	58
Figura 28 - Geogrelha soldada (GGW)	58
Figura 29 - Sistema de auto-envelopamento	60
Figura 30 - Exemplo de face com blocos de tela soldada	61
Figura 31 - Fluxograma de metodologia	62
Figura 32 - Localização de Almirante Tamandaré e Curitiba no Paraná	63
Figura 33 - Localização do talude no município de Almirante Tamandaré	63
Figura 34 - Talude após ruptura	64
Figura 35 - Perfil do talude rompido	64
Figura 36 - Localização das sondagens com relação ao rompimento	65
Figura 37 - Esquema das sondagens	65
Figura 38 - Boletim de sondagem SP-04	66
Figura 39 - Distribuição de tirantes em dois níveis	68
Figura 40 - Distribuição de tirantes em três níveis	69
Figura 41 - Distribuição de tirantes em quatro níveis	69
Figura 42 - Perfil 12 antes da ruptura	72
Figura 43 - Perfil 14 antes da ruptura	72
Figura 44 - Perfil 15 antes da ruptura	73
Figura 45 - Perfil 12 pós ruptura	74
Figura 46 - Perfil 14 pós ruptura	74
Figura 47 - Perfil 15 pós ruptura	75
Figura 48 - Perfil 12 lançado no GeoStudio	75
Figura 49 - Perfil 14 lançado no software	76
Figura 50 - Perfil 15 lançado no software	76
Figura 51 - Superfície de ruptura do perfil 12 no GeoStudio	78
Figura 52 - Superfície de ruptura do perfil 14 no GeoStudio	79
Figura 53 - Superfície de ruptura do perfil 15 no GeoStudio	80
Figura 54 - Relação Coesão x FS com ângulo de atrito fixo	81
Figura 55 - Relação ϕ x FS com coesão fixa	81
Figura 56 - Exemplo seção transversal muro de solo reforçado com geogrelha	83
Figura 59 - Perfil com dados do solo de fundação e solo aterrado	85
Figura 60 - Fator de segurança contra ruptura	86

Figura 62 - Comprimentos utilizados no faceamento do muro com StrataSlope®.....	91
Figura 63 - Parâmetros de cálculo para cortina com ponto de ancoragem	91
Figura 64 - Diagrama de pressões horizontais acima do ponto I	93
Figura 65 - Empuxo passivo ocasionado pelo ângulo de atrito	94
Figura 66 - Empuxo ativo ocasionado pela sobrecarga.....	94
Figura 67 - Empuxo ativo	95
Figura 68 - Viga equivalente para dois níveis de ancoragem	96
Figura 69 - Reações encontradas na viga equivalente para dois níveis de ancoragem	96
Figura 70 - Viga equivalente superior para três níveis de ancoragem	96
Figura 71 - Reações encontradas na viga equivalente para três níveis de ancoragem.....	97
Figura 72 - Viga equivalente superior para quatro níveis de ancoragem	97
Figura 73 - Reações encontradas na viga equivalente para quatro níveis de ancoragem.....	97
Figura 74 - Cortina atirantada em corte	99

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas.....	20
Tabela 2 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais	20
Tabela 3 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos	21
Tabela 4 - Resumo de características dos métodos.....	23
Tabela 5 - Distância x em função do ângulo de atrito e altura da estrutura	38
Tabela 6 - Resumo funções dos geossintéticos em obras geotécnicas	44
Tabela 7 - Valores fatores de segurança para análise da estabilidade externa	45
Tabela 8 - Fatores de Segurança para análise da estabilidade interna	53
Tabela 9 - Fatores de redução da tensão admissível	55
Tabela 10 - Parâmetros médios do solo	67
Tabela 11 - Parâmetros adotados para o aterro	73
Tabela 12 - Parâmetros adotados para o filito	73
Tabela 13 – Variação de coesão no perfil 12.....	77
Tabela 14 - Variação de ângulo de atrito no perfil 12	77
Tabela 15 - Variação de coesão no perfil 14	78
Tabela 16 - Variação de ângulo de atrito no perfil 14	78
Tabela 17 - Variação de coesão no perfil 15	79
Tabela 18 - Variação de ângulo de atrito no perfil 15	80
Tabela 19 - Parâmetros adotados para o aterro	82
Tabela 20 - Parâmetros de aterro e filito adotados para dimensionamento	82
Tabela 21 – Siglas das denominações geogrelhas STRATAGRID®	83
Tabela 22 – Dados de entrada planilha estabilidade externa do muro de solo reforçado com geogrelha	84
Tabela 23 – Tabela resumo verificação da estabilidade externa.....	84
Tabela 24 - Dados de entrada planilha estabilidade interna do muro de solo reforçado com geogrelha	86
Tabela 25 – Tabela resumo verificação ruptura de reforço	87
Tabela 26 - Tabela resumo verificação ruptura de reforço com 6 tipos de geogrelha	88
Tabela 27 - Tabela resumo verificação arrancamento de reforço	89
Tabela 28 - Parâmetros para o estado ativo e passivo	92
Tabela 29 - Resumo de pressões horizontais.....	93
Tabela 30 - Empuxos encontrados na viga equivalente superior	95
Tabela 31 - Reações encontradas para cada caso.	98
Tabela 32 - Fichas mínimas encontradas para cada caso	98

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1	19
Equação 2	19
Equação 3	38
Equação 4	38
Equação 5	39
Equação 6	39
Equação 7	39
Equação 8	39
Equação 9	41
Equação 10	41
Equação 11	44
Equação 12	45
Equação 13	46
Equação 14	47
Equação 15	47
Equação 16	47
Equação 17	48
Equação 18	48
Equação 19	50
Equação 20	50
Equação 21	51
Equação 22	51
Equação 23	51
Equação 24	52
Equação 25	54
Equação 26	55
Equação 27	55
Equação 28	56
Equação 29	56
Equação 30	57
Equação 31	92

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	TALUDES	17
2.2	ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES	18
2.2.1	Considerações gerais	18
2.2.2	Métodos de análise de estabilidade de taludes	21
2.2.3	Método de Morgenstern-Price	24
2.2.4	Retroanálise da ruptura de um talude	25
2.3	ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	26
2.3.1	Conceitos e considerações gerais	26
2.3.2	Tipos de estruturas de contenção	27
2.4	CORTINA ATIRANTADA	33
2.4.1	Conceitos e considerações gerais	33
2.4.2	Conceito, componentes e execução dos tirantes	33
2.4.3	Dimensionamento da estrutura de contenção em cortina atirantada	37
2.5	MURO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICO	41
2.5.1	Conceitos e considerações gerais	41
2.5.1.1	Funções dos geossintéticos	42
2.5.1.2	Tipos e classificação dos geossintéticos	42
2.5.2	Dimensionamento e segurança em estruturas de solo reforçado	44
2.5.2.1	Estabilidade Externa	44
2.5.2.2	Deslizamento	46

2.5.2.3	Tombamento	47
2.5.2.4	Ruptura do Solo de Fundação (Capacidade de Carga).....	48
2.5.2.5	Ruptura Global	51
2.5.2.6	Estabilidade Interna.....	52
2.5.2.7	Ruptura de Reforço	54
2.5.2.8	Arrancamento de Reforço	56
2.5.3	Muro de solo reforçado com geogrelha.....	57
2.5.3.1	Conceitos e considerações gerais.....	57
2.5.3.2	Estruturas de solo reforçado com elementos StrataSlope®.....	59
3	MATERIAIS E MÉTODOS	62
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS DO TALUDE ESTUDADO	62
3.1.1	Localização do objeto de estudo	62
3.1.2	Descrição do objeto de estudo.....	63
3.1.3	Perfil geológico-geotécnico	64
3.2	RETROANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE.....	66
3.3	DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO.....	68
3.3.1	Cortina atirantada.....	68
3.3.2	Muro de solo reforçado com geossintético.....	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1	RETROANÁLISE.....	72
4.2	DIMENSIONAMENTO DO MURO DE SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHA.....	82
4.3	DIMENSIONAMENTO DE CORTINA ATIRANTADA	91
5	CONCLUSÃO	100
	REFERÊNCIAS.....	102
	ANEXO A – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA GEOGRELHA STRATAGRID®.....	109
	ANEXO B – PLANILHA DE CÁLCULOS DO CASO 1	110

ANEXO C- PLANILHA DE CÁLCULOS DO CASO 2	111
ANEXO D – PLANILHA DE CÁLCULO DO CASO 3.....	112

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os deslizamentos de terra representam 6% dos desastres naturais que ocorrem no país segundo a Organização Meteorológica Mundial (2021). Isso, juntamente com outros fatores, se deve ao fato da condição climática do país que apresenta intensas chuvas em determinados períodos. Essas precipitações ocorridas no Brasil podem desencadear esses deslizamentos caso o solo se apresente em condições próximas ao estado limite e é de extrema importância compreender o comportamento do solo nessas situações. Para Gerscovich (2016), os escorregamentos das encostas ainda provocam graves problemas, sendo uma problemática de responsabilidade pública e governamental.

Os deslizamentos são movimentações de materiais sólidos, sejam eles rochas, solos ou vegetação e podem ser ocasionados por diversos fatores e ocorrer em qualquer parte do mundo, sendo terrenos montanhosos, penhascos ou áreas com pequena declividade (VALLIN et al., 2016). Ocorrem quando a resistência do solo não é o suficiente para as solicitações que recebe, o que resulta na ruptura do talude e conseqüentemente seu deslizamento.

Esses desastres, caso não sejam resolvidos ou evitados de forma adequada geram alto prejuízo aos cofres públicos, afirma Dutra (2013), além de trazer danos à vida e à sociedade. Desta forma, é de extrema importância a realização de estudos geotécnicos sobre os maciços de terra ou rocha que possam trazer riscos para a população. Uma das maneiras de evitar esses desastres é realizando a análise de estabilidade dos taludes, que são os maciços de terra ou rocha inclinados que sofrem as movimentações. Essa análise possibilita a previsão de futuros riscos e auxilia na proposta de soluções para conter possíveis deslizamentos.

Além da análise da estabilidade de taludes, para garantir a segurança das encostas é de extrema importância propor soluções de contenção adequadas, que garantam a estabilidade do maciço, de forma viável e econômica. As contenções são estruturas que são dimensionadas conforme as características do solo e a localização que tem por finalidade garantir que a resistência do maciço seja mais alta que as aplicações que ele irá receber.

Desta forma, este trabalho irá realizar a retroanálise da ruptura de um talude na região urbana de Almirante Tamandaré que já sofreu seu rompimento e propor

soluções de contenção adequadas, avaliando sua viabilidade e comparando-as tecnicamente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar retroanálise da ruptura do talude na cidade de Almirante Tamandaré – PR para definir os parâmetros de resistência ao cisalhamento e propor soluções de contenção para sua estabilidade.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir o perfil geológico-geotécnico da seção crítica do talude rompido a partir do levantamento topográfico e das sondagens a percussão;
- Estimar os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo a partir de correlações;
- Realizar a retroanálise da estabilidade do talude para verificar parâmetros de resistência ao cisalhamento;
- Dimensionar ficha para estrutura de contenção em cortina atirantada com diferentes níveis de ancoragem para o talude;
- Dimensionar estrutura de contenção para o talude em muro de solo reforçado com geossintéticos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Por tratar-se de um risco público, os deslizamentos devem ser sempre analisados e estudados, juntamente com pesquisas sobre estabilidade de taludes e contenções. É possível constatar o impacto desse tipo de estudo para o nosso país, verificando a quantidade de escorregamentos que ocorrem e o massivo número de consequências negativas, como por exemplo, no período de 1988 até junho de 2022 foram 959 deslizamentos distribuídos em 269 municípios que ocasionaram 4.146 vítimas, segundo Marques et al (2022).

Além das vítimas causadas, deslizamentos também ocasionam impactos econômicos negativos, sendo estimados em R\$ 4,8 bilhões pelo Banco Mundial (SILVA FILHO, 2017). Ainda segundo o autor, 64% referem-se ao setor privado e 36% ao setor público, além de que R\$ 2,2 bilhões tratam-se de custos diretos e R\$ 2,6 bilhões de custos indiretos.

Reunindo todos esses dados e constatações, justifica-se a motivação da pesquisa voltada à estabilidade de taludes e contenções, visto que é fundamental fornecer cada vez mais dados e estudos, inclusive focadas na nossa região, para evitar projetos equivocados, subdimensionados ou superdimensionados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TALUDES

De acordo com Caputo (2016), talude diz respeito a qualquer superfície inclinada que delimita um maciço terroso, rochoso ou misto (terra e rocha). Podem ser de origem natural, como as encostas, ou artificiais, quando há ação humana, como os taludes de cortes e aterros. Conforme exposto na Figura 1, o talude é formado pela crista, corpo e pé.

Figura 1 - Seção transversal de talude



Fonte: Geoscan (2021)

No caso dos taludes construídos pela ação humana, são resultado de cortes em encostas, escavações ou lançamentos de aterros, e para garantir sua estabilidade os cortes devem ser executados com altura e inclinação adequadas. Os aterros são feitos em projetos de barragens e em obras viárias quando o solo onde serão implantadas as obras possui capacidade baixa de suporte ou também para nivelar o terreno. Além disso, os aterros são construídos também como diques de contenção para lagos de resíduos (GERSCOVICH, 2016).

Já os taludes naturais, segundo a autora citada anteriormente, podem ser constituídos de solo residual ou coluvionar. Os solos residuais continuam no local em que foram formados e os coluvionares são formados pelo transporte de materiais. Os taludes tendem a ter problemas de instabilidade por conta das forças gravitacionais atuarem de forma que ocorra o movimento. Dessa forma de acordo com Gerscovich (2016) esta instabilidade das encostas se dá pelo fato de que é consequência da dinâmica da evolução das encostas, uma vez que com os processos físico-químicos de alteração das rochas o material perde sua resistência, resultando em condições que propiciam a ruptura das encostas. Essa instabilidade pode ocasionar movimentações de terra. Na Figura 2 e Figura 3, é possível verificar um exemplo de cada tipo de talude, natural e artificial.

Figura 2 - Talude natural



Fonte: Watanabe (2015)

Figura 3 - Talude de corte ou aterro



Fonte: Watanabe (2015)

No Brasil, as escarpas localizadas em meio tropical são frequentemente alvos de movimentos de solos e rochas, chamados popularmente de “escorregamentos”. (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Esses movimentos de terra são ocasionados devido às forças gravitacionais e da percolação da água, que juntas instabilizam o maciço de forma que sua resistência se torne insuficiente para conter essas ações externas, trazendo à ruptura do solo (MACHADO; MACHADO, 1997). Por isso, é de extrema importância analisar a estabilidade do talude.

2.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES

2.2.1 Considerações gerais

Para estudo da estabilidade de taludes, utiliza-se a norma brasileira NBR 11682 (ABNT, 2009), que trata da necessidade de investigação do terreno, da elaboração do diagnóstico da situação, concepção do projeto básico, projeto executivo, execução, avaliação de desempenho e conservação da obra (PAIVA, 2021). Para analisar a estabilidade de um talude, é necessário calcular o seu fator de segurança.

O fator de segurança do talude ou encosta é caracterizado como a razão entre a tensão de cisalhamento e a resistência ao cisalhamento (GERSCOVICH, 2016), conforme mostra a Equação 1:

$$FS = \frac{s}{\tau} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

FS é o fator de segurança

s é a tensão resistente do solo

τ é a tensão cisalhante atuante

Segundo Silva (2021), a variante s (tensão resistente do solo) é baseada o critério de Mohr-Coulomb, a partir da Equação 2:

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

s é a resistência ao cisalhamento do solo

c é a coesão do solo

σ é a tensão normal ao plano de ruptura

ϕ é o ângulo de atrito do solo

Como forma de segurança, o ideal é garantir que o valor do fator de segurança do talude não se aproxime de 1, ou seja, não se aproxime da ruptura. Desta forma, é possível utilizar as tabelas da NBR 11682, Tabela 1 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas e Tabela 2 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais, que irão definir um fator de segurança mínimo, considerando as diversas etapas do início até a construção, levando em conta possibilidade de perdas de vidas humanas e de danos materiais (ROESNER, 2015).

Tabela 1 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

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

Fonte: ABNT NBR 11682: 2009

Tabela 2 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

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

Fonte: ABNT NBR 11682: 2009

Para adotar o fator de segurança mínimo para o projeto, serão considerados os níveis de segurança definidos pelos quadros acima e estipulados conforme a Tabela 3 (NBR: 11682/2009).

Tabela 3 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

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

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10%. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico constante no Anexo D da NBR11682:2009.

NOTA 2 No caso de instabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incluindo os parâmetros de peso específico, ângulo de atrito e coesão em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser julgado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejos, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos

Fonte: NBR 11682:2009

2.2.2 Métodos de análise de estabilidade de taludes

Segundo Massad (2010), os métodos utilizados atualmente para análise da estabilidade de talude são baseados na premissa de que há equilíbrio em uma massa de solo, sendo tomada como corpo rígido-plástico com processo de escorregamento iminente. Tendo assim conhecimento das forças atuantes, determinam-se as tensões de cisalhamento induzidas, através de equações de equilíbrio. A análise é finalizada com a comparação destas tensões a resistência ao cisalhamento do solo estudado.

Assim, os Métodos de Equilíbrio-Limite têm como função determinação do equilíbrio de uma massa de solo ativa, o qual pode ser determinada por uma superfície de ruptura.

Os Métodos de Equilíbrio-Limite segundo Massad (2010) partem dos seguintes pressupostos:

- O solo se comporta como material rígido-plástico, isto é, rompe-se bruscamente, sem se deformar;
- As equações de equilíbrio estático são válidas até a iminência da ruptura, quando, na realidade, o processo é dinâmico;
- O coeficiente de segurança é constante ao longo da linha de ruptura, isto é, ignoram-se eventuais fenômenos de ruptura progressiva.

Dentre os métodos de estabilidade de talude baseados na teoria do Equilíbrio Limite, podem citar-se Fellenius (1927), Bishop (1955), Janbu (1954), Morgenstern &

Price (1965) e Spencer (1967), sendo os dois últimos métodos rigorosos, pois considera em seu cálculo o equilíbrio de momentos, forças horizontais e verticais.

Segundo Costa (2021), no método de Fellenius (1927), a superfície de ruptura é considerada circular e o fator de segurança é calculado através de uma equação linear, a do equilíbrio de momentos ao redor do círculo formado pela superfície de deslizamento, sendo o fator de segurança a única incógnita da equação (SOUZA, 2019). Por não necessitar de um processo iterativo, devido à linearidade da equação, é considerado o método mais simples dentre os citados (SILVA, 2011). A técnica de Fellenius desconsidera as forças resultantes entre as lamelas, por serem paralelas e de mesma ordem de grandeza (FREITAS, 2011). Alguns autores argumentam que essa hipótese de cálculo é incorreta e que o valor de FS encontrado pode sofrer uma redução de até 50% nesse método por apresentar apenas uma condição de equilíbrio. (DUNCAN E WRIGHT, 1980).

O Método de Bishop (1955), que tem como base o método das fatias, é capaz de analisar superfícies de ruptura que possuem forma circular. No método de Bishop o equilíbrio integral de momentos e de forças verticais é verificado. Com base neste, desenvolveu-se um novo método no qual houve uma simplificação: considera-se que as forças de interação entre as fatias são horizontais e anulam-se, sem considerar forças tangenciais entre elas. Assim, o equilíbrio de forças se dá na vertical tornando o método satisfatório a mais uma condição de equilíbrio, ademais do equilíbrio de momentos em relação a região central do ponto médio localizado na base da fatia. Embora não leve em conta o equilíbrio de forças horizontais, os resultados são próximos aos dos métodos mais rigorosos (SILVA, 2013).

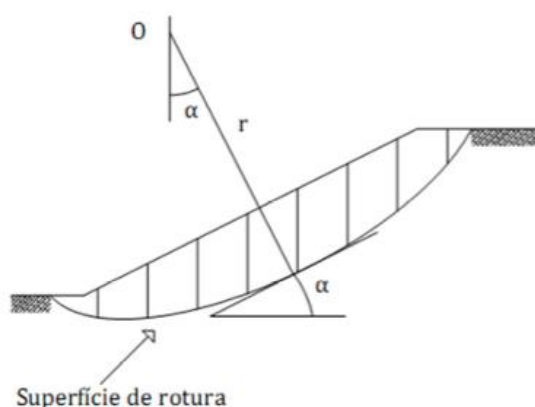
Com o objetivo de não depender de cálculos computacionais, surge o método de Janbu Simplificado (1954), que é um método adequado para taludes homogêneos (GERSCHOVICH, 2016). Nesse método, forças normais e cisalhantes são desprezadas, utilizando apenas do equilíbrio de forças. (SILVA, 2019). Na variante Método de Janbu corrigido, segundo Ferreira (2012), o fator de segurança encontrado é multiplicado por um fator corretivo.

O método Morgenstern e Price (1965) ao contrário do Método de Fellenius, Janbu e Bishop, é um método rigoroso. É o método mais geral de equilíbrio para uma superfície. Com objetivo de tornar o problema determinado estaticamente Morgenstern e Price assumiram a inclinação resultante varia segundo uma função ao longo da superfície de ruptura. Por ser um método muito complexo não pode ser

calculado manualmente, sendo preciso a utilização de computadores (ROESNER, 2015). De acordo com Gerscovich (2016) o método é solucionado por iterações, definindo anteriormente a função de distribuição de forças entre as fatias. Então o processo iterativo é repetido até que as condições de contorno sejam satisfatórias. Assim o fator de segurança é definido quando F_f (equilíbrio de forças) se iguala ao F_m (equilíbrio de momentos).

O método de Spencer (1967), juntamente com Morgenstern e Price, também é um método rigoroso, que considera qualquer superfície de ruptura para o cálculo e atende equilíbrio de momentos e forças. Segundo Dias (2021), para encontrar o fator de segurança, a técnica adota uma relação constante entre cisalhamento entre fatias e forças normais e utiliza de um processo iterativo em que se altera o cisalhamento entre fatias, que são consideradas inclinadas no mesmo ângulo e a razão normal até encontrar o mesmo fator de segurança para as equações.

Figura 4 - Método das Fatias



Fonte: Freitas (2011).

Na Tabela 4 é possível verificar um resumo dos métodos citados:

Tabela 4 - Resumo de características dos métodos

Método	Superfície de ruptura	Considerações no cálculo
Fellenius (1927)	Circular	Equilíbrio de Momentos
Bishop (1955)	Circular	Equilíbrio de Momentos e Forças Verticais
Janbu (1955)	Qualquer	Equilíbrio de Forças Verticais e Horizontais
Morgenstern & Price (1965)	Qualquer	Equilíbrio de Momentos, Forças Verticais e Horizontais
Spencer (1967)	Qualquer	Equilíbrio de Momentos, Forças Verticais e Horizontais

Neste trabalho, optou-se por priorizar o uso de um método rigoroso, sendo escolhido o Morgenstern & Price, que será melhor apresentado no tópico seguinte.

2.2.3 Método de Morgenstern-Price

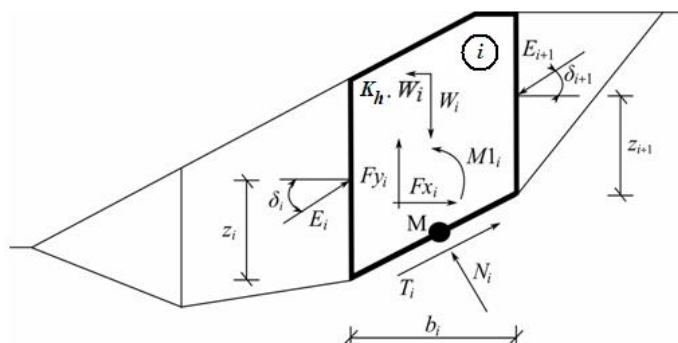
O método de Morgenstern e Price (1965) é considerado rigoroso dentro da estabilidade de taludes. Apesar de simples quando comparado a outros métodos, é tido como rigoroso visto que cumpre todas as condições de equilíbrio e fronteira. O método foi desenvolvido tendo como base o Equilíbrio Limite, no qual é aplicado também o método de fatias para realização do cálculo de estabilidade. Por conta de as expressões dos cálculos apresentarem caráter não-linear, é utilizado o cálculo computacional por conta de processo iterativo complexo. Além disso, de acordo com Barbosa (2019) o Método de Morgenstern e Price é considerado único método clássico singular que pode ser aplicado em qualquer superfície de ruptura.

A estabilidade em fatias utilizada neste método consiste em separar o talude em diversos blocos para realização do cálculo, satisfazendo as equações de equilíbrio de forças e de momentos que atuam em cada uma das fatias individualmente. Difere dos outros métodos rigorosos pois atribui à resultante das forças de interação entre as lamelas – de largura infinitesimal – uma função, $f(x)$, ao longo da superfície de ruptura, tal função descreve a variação entre as forças, multiplicadas por um fator adimensional (λ). O fator de segurança e também o valor de λ são encontrados com a combinação de equações de equilíbrio de forças (verticais e horizontais) e equilíbrio de momentos.

A função $f(x)$ é definida após a observação e avaliação de como as forças entre as fatias acaba variando. De acordo com Gerscovich (2016), quando o valor da função é nulo o fator de segurança é semelhante ao método de Bishop e quando o valor da função é constante o fator de segurança é o mesmo alcançado pelo método de Spencer. As forças que são consideradas no cálculo do método estão dispostas na Figura 5. A respeito da definição da função $f(x)$ de aproximação, é necessária a atenção vinda do engenheiro responsável, devendo ser considerada a variação da inclinação da resultante das forças entre as fatias por toda a massa de solo. A respeito das funções escolhidas frequentemente estão: as constantes, senoides e trapezoides, porém podem ser funções não matematicamente específicas

(GERSCOVICH, 2013). Morgenstern e Price (1965) atentam ao fato de que diversas soluções podem ser encontradas para as equações.

Figura 5 - Forças atuantes por fatia no Método de Morgenstern e Price



Fonte: Fine Civil Engineering Software (2019)

Ainda de acordo com Fine Civil Engineering Software (2019), é importante se atentar a algumas observações a serem levadas em conta para realização dos cálculos dos momentos em cada um dos blocos individualmente, como por exemplo:

- Considerar verticais os planos de divisão entre os blocos;
- Arbitrar que a força Normal (N_i) atua no centro da porção da superfície de ruptura (ponto M na Figura 5);
- Arbitrar que linha de ação do Peso do bloco (W_i) também passa pelo centro da porção da superfície de ruptura (ponto M na Figura 5);

-Ter conhecimento de que a inclinação das forças E_i (δ_i) a qual age na intercessão das fatias difere em cada encontro de fatias singular e também que essa inclinação é equivalente a 0° no final da superfície de ruptura. No método de Morgenstern e Price, a escolha do ângulo de inclinação (δ_i) é feita através do uso de uma função meio-seno.

2.2.4 Retroanálise da ruptura de um talude

A retroanálise da estabilidade do talude, conforme a NBR 11.682 (ABNT, 2006), é indicada para taludes em que a ruptura já ocorreu e é realizada a partir da seção crítica e superfície de ruptura. Trata-se da análise de estabilidade de talude, já citada e aprofundada na revisão bibliográfica, porém de um talude que já houve a ruptura. Nesse caso em que já houve a instabilização do maciço, o fator de segurança necessariamente resulta em 1 em toda sua superfície, como afirma Duncan & Wright (2005).

Esse fator de segurança unitário auxilia para a definição de informações importantes sobre o estado do talude no momento de seu rompimento. Ou seja, conforme Vilhete (2017), a retroanálise trata-se de uma tentativa de definir as condições existentes no momento da ruptura do talude, como por exemplo os parâmetros de resistência ao cisalhamento. Esse procedimento é recomendado pela NBR 11.682/2006, como afirma Bonadeu e Santos (2013) e deve ser realizado utilizando algum dos métodos de análise de estabilidade de taludes citados no tópico 2.2.2. com a geometria do talude no momento em que houve a ruptura.

Para a realização da retroanálise, existem diversos métodos na literatura, dentre eles: método de determinístico de tentativa e erro, análises paramétricas, análises probabilísticas e métodos probabilísticos avançados (VILHETE, 2017). No atual trabalho, será utilizado o método determinístico, que segundo Vilhete (2017), trata-se de um método de tentativa e erro em que se combinam os parâmetros de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) de forma que o fator de segurança chegue à uma unidade.

2.3 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

2.3.1 Conceitos e considerações gerais

Contenções são estruturas que têm por objetivo contrapor-se a empuxos e tensões geradas em um maciço de solo, que promove uma configuração de estabilidade (RANZINI; NEGRO JR, 1998) e evita movimentações de terra, prevenindo possíveis deslizamentos e garantindo segurança. Na Figura 6, é possível verificar um desenho que exemplifica o uso de contenções em muro de arrimo e muro de contenção com gigantes.

Figura 6 - Uso de contenções em taludes



Fonte: Watanabe (2015)

De acordo com Gerscovich (2009), essas movimentações ocorrem devido à diminuição da resistência interna do solo, que com a aplicação de forças externas, acaba cedendo ao deslizamento. A necessidade das contenções surge conforme a resistência interna do maciço de solo reduz, ou seja, quando o resultado da análise de estabilidade do talude apresenta-se abaixo do definido pela norma. (TEIXEIRA, 2011).

Segundo Marcante (2017), para estabilizar um talude é possível alterar sua inclinação, incluir drenagem ou realizar obras de estrutura de contenção, como por exemplo muros de arrimo, cortinas atirantadas, solo reforçado, entre outros.

Além da análise de estabilidade, segundo Silva (2021), por possuírem um elevado grau de incertezas, por conta das propriedades do solo, a realidade e as hipóteses de cálculo, as estruturas de contenção são consideradas extremamente complexas, desta forma é necessário um estudo criterioso para entender esse tipo de obra e prevenir possíveis acidentes.

Segundo Araújo (2010), por tratar-se de obras grandes e arriscadas, é necessário levar em conta as seguintes variáveis: local da obra, tipo de solo, estabilidade local e global do maciço, custo econômico, impactos ambientais, prazos executivos, altura da estrutura, cargas atuantes, localização do lençol freático, área disponível para a obra, disponibilidade de mão de obra e equipamentos necessários.

Conhecendo os fatores citados anteriormente, é possível viabilizar um projeto para o maciço de solo. Para tal finalidade, é necessário avaliar os tipos de contenções e qual se adequa melhor ao caso em questão.

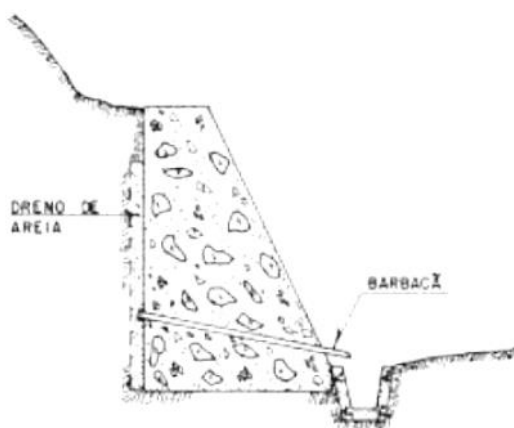
2.3.2 Tipos de estruturas de contenção

Os tipos de contenções dividem-se, no geral, em: muro a gravidade, muro a flexão, muro com contrafortes, muro de solo reforçado, solo grampeado, parede diafragma, cortinas de estacas e atirantadas. Como citado no tópico anterior é necessário conhecer as características da massa de terra para qual será realizado o projeto de estrutura de contenção, mas também é importante conhecer as propriedades dos tipos de contenção para realizar a correta aplicação deles.

O muro a gravidade é o tipo de contenção utilizada tanto para taludes cortados ou aterrados em que para realizar o reforço do maciço de terra a estrutura utiliza de seu peso próprio, atuando contra empuxos horizontais que podem surgir

no talude. A finalidade do muro a gravidade é apresentar um peso próprio que equilibre o empuxo aplicado para determinar o fator de segurança. Podem ser considerados flexíveis, quando os materiais empregados podem sofrer deformações nos limites admissíveis sem prejudicar sua estabilidade ou rígidas, no caso de emprego de materiais que não possam sofrer deformações. Por exemplo, estruturas realizadas com gabiões são flexíveis e estruturas realizadas com concreto ciclópico ou pedras argamassadas são rígidas. A vantagem desse tipo de contenção é a simples execução, não sendo necessária uma mão de obra especializada. Um exemplo, em concreto ciclópico, é ilustrado na Figura 7.

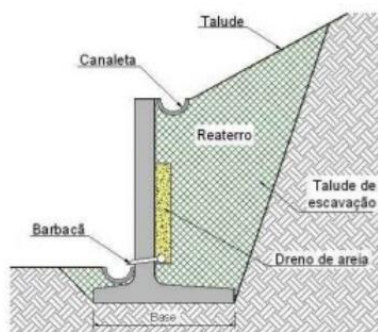
Figura 7 - Muro a gravidade em concreto ciclópico



Fonte: Bonatto (2015)

No caso do muro a flexão, o peso próprio da estrutura tem por objetivo conter os empuxos a flexão do solo, utilizando de uma estrutura de concreto armado com seção “L” em que o peso do maciço se apoia na base da estrutura (GERSCOVICH, 2016). Segundo Domingues (1997) a composição dessa estrutura trata-se de duas lajes, sendo uma na vertical engastada na base e com a outra extremidade em balanço e a outra na horizontal, apoiada no terreno com o objetivo de conter o empuxo e com função de sapata. No caso de desníveis maiores que 5m, é recomendado a utilização de contrafortes em conjunto com a estrutura. Na Figura 8, um esquema de uma estrutura de contenção em muro a flexão, que é mais aplicado em obras de aterros ou reaterros.

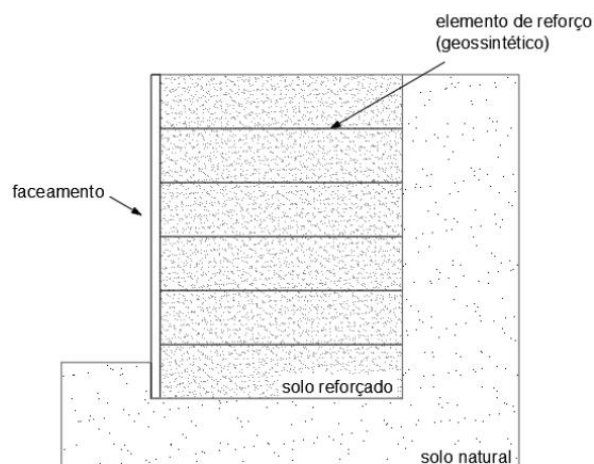
Figura 8 - Seção transversal de muro a flexão



Fonte: Rocha (2016)

Como os solos possuem baixa resistência à tração, no muro de solo reforçado, apresentado na Figura 9 são introduzidos elementos que servem como reforço ao solo, para que assim passe a ter sua resistência à tração aumentada, uma exigência às estruturas de contenção, além de diminuir a deformabilidade do maciço (SAYÃO, SIEIRA, SANTOS; 2005). Segundo Gonçalves (2016), dessa forma, os reforços (materiais metálicos ou poliméricos de alta resistência à tração) e o solo compactado intercalados em camadas horizontais passam a agir como um corpo único e coeso, suportando não apenas seu peso próprio como também cargas externas. Por não necessitarem de mão de obra especializada e permitirem que seja utilizado solo presente no local da obra, o muro de solo reforçado torna-se uma solução econômica quando comparado à outras opções tradicionais. O muro de solo reforçado é utilizado mais comumente em aterros.

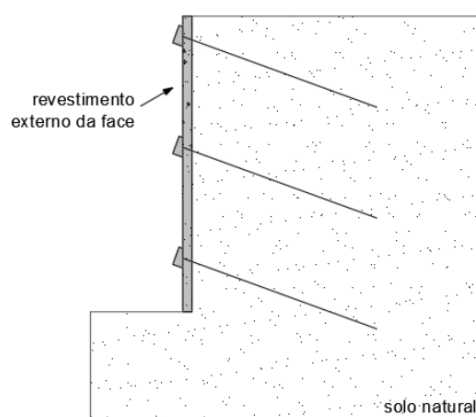
Figura 9 - Seção transversal de contenção em solo reforçado



Fonte: Mazon e Souza (2017)

Outra contenção existente é o solo grampeado, cuja técnica consiste na ancoragem de grampos (cabos de aço de alta resistência), resistentes a tração, no solo para tornar o talude estável. Em taludes mais íngremes também é necessário um paramento geralmente feito em concreto. De acordo com GEORIO (2014) as estruturas inseridas na contenção do tipo solo grampeado são passivas, ou seja, só atuam quando o solo é mobilizado. O solo grampeado é constituído por dois componentes principais: chumbadores e o preenchimento (elementos semirrígidos e tracionados cuja função é estabilizar o maciço). O método de aplicação é feito através da inserção de grampos através da perfuração do solo e posteriormente preenchimento do vazio com uma calda cimento e água. Essa solução de cimento é responsável por transferir as forças de cisalhamento do solo para os grampos metálicos, ao mesmo tempo que as forças de tração nas barras são transferidas para o solo adjacente. (LAZARTE et al. 2015 apud MIKOS et al. 2017). O solo grampeado é utilizado para taludes em corte ou já cortados. Na Figura 10, é possível visualizar a seção transversal da contenção em solo grampeado.

Figura 10 - Seção transversal de contenção em solo grampeado

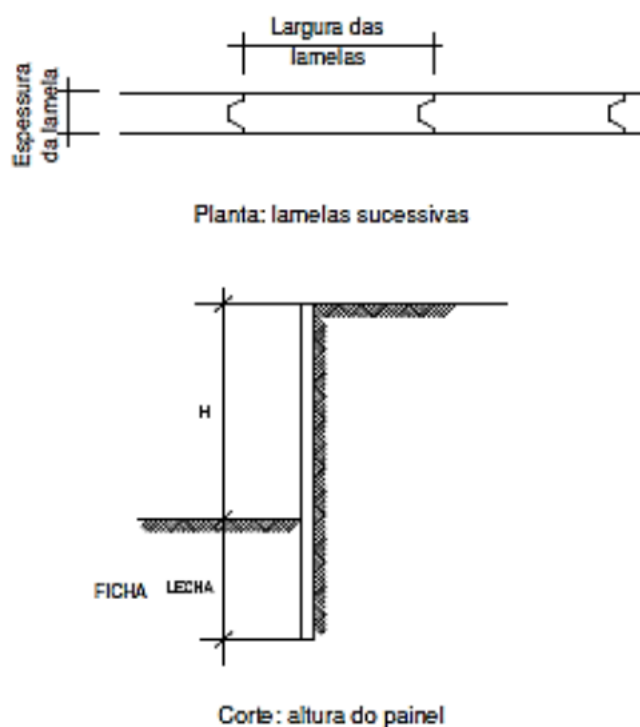


Fonte: Mazon e Souza (2017)

A contenção do tipo parede diafragma, exposta na Figura 11 é estruturada por um muro vertical composto por painéis, sendo alternados ou consecutivos, o qual é responsável por resistir aos empuxos promovidos pelo solo (NESPOLI; NETO; TAKANO, 2014). Segundo Antunes e Amaral (2016), uma vez que combinados com tirantes tendem a aumentar a capacidade de resistência às cargas do solo. Dentre os diferentes tipos de paredes de diafragma, destacam-se: moldado *in loco*, moldada em loco atirantado, pré-moldado e parede diafragma plástica. Conforme FUNDESP (2009), a parede diafragma moldada *in loco* também conhecida como diafragma contínuo, é composta por paredes constituídas de concreto armado que

podem absorver cargas axiais, empuxos horizontais e momentos fletores, podendo atingir profundidades superiores a 50 metros e espessura que oscila de 30 a 120 centímetros. De acordo com Monteiro (2009), devido ao fato de que as construções adjacentes geralmente são antigas e encontram-se em más condições de conservação ou possuem fundações diretas, a parede diafragma tem sido amplamente empregada como uma solução de contenção para garantir a preservação da vizinhança durante as obras, uma vez que são executadas de forma rápida e configuram um método seguro de contenção. Uma das utilizações é como contenção em escavações do subsolo, sendo a estrutura construída antes da escavação do solo.

Figura 11 - Corte e planta de parede diafragma



Fonte: Hashizume (2006)

Cortinas de estacas, mostradas na Figura 12, consistem em estruturas de contenção periférica de maciços de solos em que as estacas, executadas no interior do solo, são os elementos principais da estrutura (MARTINS; MEIRELES, 2006). Segundo Ferrandin (2012), as estacas podem ser do tipo prancha, de concreto, aço ou madeira e são cravadas individualmente uma do lado da outra, sendo conectadas através de um engate lateral ou encaixes próprios no caso do uso de aço ou escavadas no local, em que as estacas são justapostas ou

espaçadas entre os eixos. No caso de estacas escavadas, considera-se uma estrutura em balanço em que traz resistência ao elemento devido seu engastamento no solo (MEDEIROS, 2005). São aplicáveis em obras de corte ou aterro.

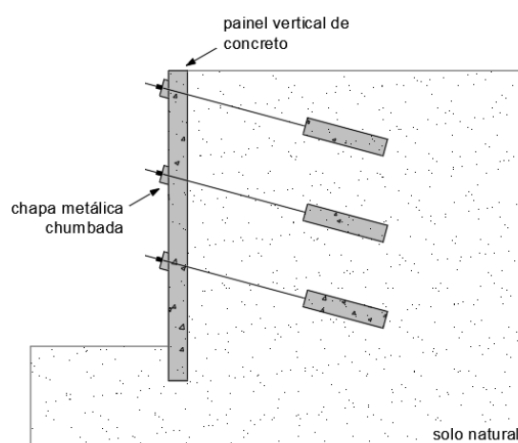
Figura 12 - Cortina com estacas



Fonte: Gonzalez (2020)

No caso da cortina atirantada, trata-se de uma parede com a presença de tirantes ancorados e concretados na profundidade ideal de estabilidade utilizados em taludes de corte e de aterro, com o objetivo de impedir a ruptura ou o movimento indesejado da estrutura de contenção (GERSOVICH et al, 2016). A seção transversal da cortina atirantada pode ser visualizada através da Figura 13.

Figura 13 - Seção transversal de contenção em cortina atirantada



Fonte: Mazon e Souza (2017)

No atual estudo, serão aprofundados dois tipos de contenções escolhidos para aplicação ao talude estudado: cortina atirantada e solo reforçado com geossintético.

2.4 CORTINA ATIRANTADA

2.4.1 Conceitos e considerações gerais

Como citado anteriormente, a cortina atirantada trata-se de uma estrutura de contenção com tirantes ancorados, que são tracionados até a carga de incorporação, definida em projeto, através de macaco hidráulico e fixados na parede de concreto armado com o auxílio de placas e porcas. A carga presente nos tirantes se contrapõe ao empuxo, garantindo a estabilidade do solo. (GERSOVICH et al, 2016)

Segundo Fiamoncini (2009), esse tipo de estrutura de contenção com tirantes (Figura 14) é capaz de vencer grandes alturas e não exige o corte fora do necessário, porém possui alto custo e longa execução.

Figura 14 - Cortina atirantada



Fonte: Progeo

2.4.2 Conceito, componentes e execução dos tirantes

Segundo a NBR 5629 (2018), tirantes são elementos que transmitem esforços de tração em uma região estável do terreno. São dispositivos que não exigem o escoramento da estrutura de contenção, auxiliando nas escavações e em sua execução (CARDOSO, 2002). Yassuda e Dias (1998) afirmam que os tirantes são classificados quanto a sua vida útil, constituição e sistema de injeção. Na Figura 15 é possível verificar os tirantes durante o processo de execução na cortina atirantada.

Figura 15 - Tirantes durante processo de execução de contenção em cortina atirantada



Fonte: Solotrat

Quanto à sua vida útil, são classificados por permanentes ou provisórios, sendo os permanentes os utilizados em obra com duração superior a dois anos e os provisórios utilizados em obras com até dois anos de duração (YASSUDA E DIAS, 1998).

A respeito de sua constituição, são divididos em tirante monobarra, em que são constituídos por uma barra de aço encruado a frio; tirante de múltiplas barras, semelhante aos tirantes de múltiplos fios ou cordoalhas porém com o uso de barras e bloco auxiliar; tirantes de fios ou cordoalhas, que também são feitas de aço encruado a frio com elevada resistência à tração e pequena deformação de fluência, sendo utilizados com muitos fios ou cordoalhas, dependendo da resistência necessária e por fim, tirante sintético, feito de fibra de vidro, carbono e poliéster, sendo elementos de alta resistência à corrosão. (NBR 5629, 2018; YASSUDA e DIAS, 1998).

A classificação quanto ao sistema de injeção vai considerar as duas opções de injeção disponíveis, segundo a Solotrat Engenharia Geotécnica (2015), sendo elas: a injeção de estágio único e em múltiplos estágios. O estágio único será utilizado em solos resistentes e com baixo índice de vazios (SOLOTRAT ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2015) e realiza-se a remoção dos detritos através da lavagem do furo, em seguida é preenchido com a calda de cimento e então instala-se o tirante no furo (YASSUDA e DIAS, 1998). No caso de múltiplos estágios, o primeiro passo é a instalação de um tubo de PVC ao redor do tirante, onde será realizada a injeção, então a calda de cimento será injetada, já com o furo instalado várias vezes até que o tirante apresente o resultado planejado.

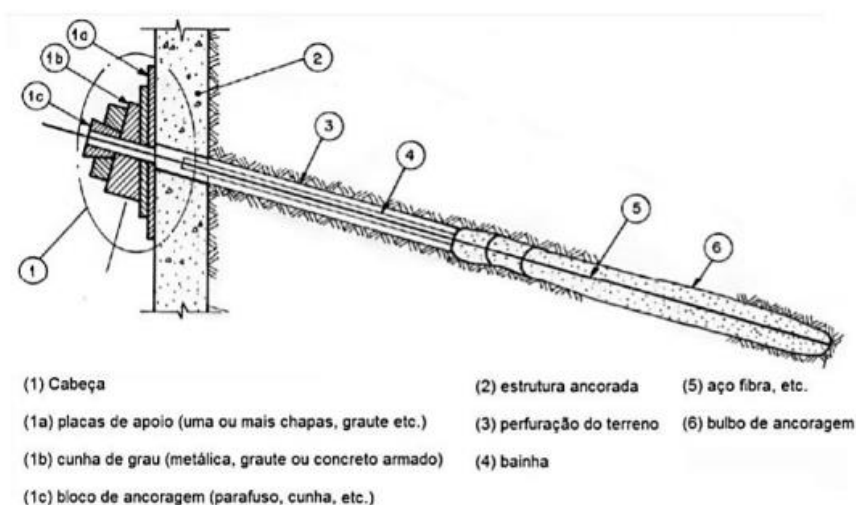
Conforme a NBR 5629 (2018), o tirante é composto por três elementos principais, sendo eles a cabeça, o trecho livre e o trecho ancorado, como exposto na Figura 16.

a) Cabeça: tem como função a transferência da carga do tirante para a estrutura a ser ancorada, encontra-se na face externa e não possui contato com o solo. Também uma cobertura de concreto para proteger o componente da corrosão, além de possuir placa de apoio, cunha de grau e porcas (GERSOVICH et al, 2016)

b) Trecho livre: engloba a parte do tirante entre a cabeça e o e trecho ancorado, é responsável pela transmissão da tensão entre as extremidades, porém evitando o atrito com o solo. (GERSOVICH et al, 2016)

c) Trecho ancorado: componente envolvido por argamassa ou cimento Portland, que tem a finalidade de transmitir ao solo os esforços de tração do tirante.

Figura 16 - Componentes do tirante



Fonte: Fundação Instituto de Geotecnia do Município do Rio de Janeiro (2014)

Quanto à execução dos tirantes, segundo Vidal (2018), a execução segue uma série de etapas, sendo elas: preparo e montagem do tirante, perfuração, instalação do tirante, injeção, protensão e incorporação.

Conforme Joppert Jr. (2007), os tirantes devem ser preparados e montados conforme definido e exposto em projeto, seguindo a quantidade correta de barras, fios ou cordoalhas, seu comprimento livre e estando protegido contra a corrosão.

Em seguida, a perfuração deve ser realizada de acordo com o projeto e conforme Sprovieri e Silva (2020), é realizada de forma manual ou mecânica, com o auxílio de equipamento adequado e de circulação de água, lama bentonítica ou

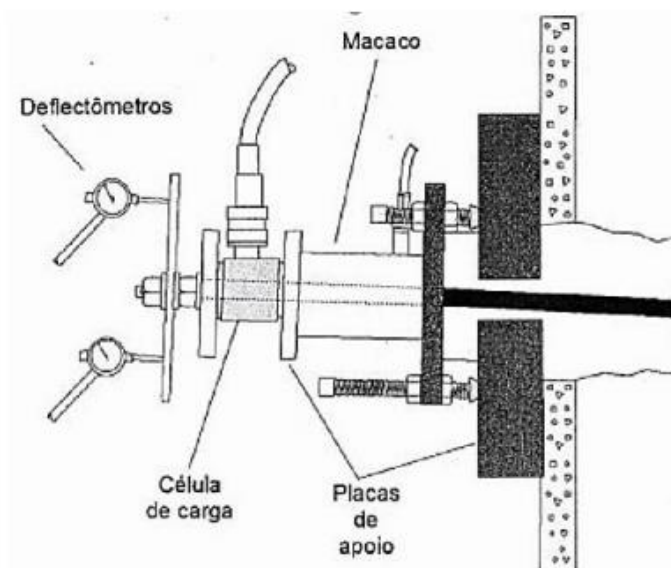
ar comprimido para contribuir no momento da realização da perfuração. Ressalta-se que o método de perfuração mecânica pode ser rotativo, percussivo ou vibratório, baseado no tipo de solo. (XANTHAKOS, 1991)

A próxima etapa seria a instalação do tirante, Xanthakos (1991) afirma que essa etapa deve ser feita o mais rápido possível após a perfuração, pois pode haver deterioração do maciço. Depois da introdução do tirante, aplica-se ao furo uma mistura de água e nata de cimento. (SPROVIERI E SILVA, 2020).

A seguir, é realizada a injeção, ou seja, preencher o furo no maciço com o material aglutinante (YASSUDA e DIAS, 1998).

Após o período pré-definido, conforme tipo de cimento utilizado, em relação à injeção, realiza-se a protensão do tirante, conforme a normativa NBR 5629, de 2018 (SPROVIERI E SILVA, 2020). Para esta etapa, como pode ser visto na Figura 17 serão utilizados o macaco hidráulico, bomba e manômetro devidamente aferido para evitar erros na leitura que podem vir a prejudicar o aço e conseqüentemente a estrutura de contenção. Outro cuidado importante é o controle da carga aplicada no ensaio, sendo que nunca deve ultrapassar 90% da carga teórica do material utilizado (YASSUDA e DIAS, 1998).

Figura 17 - Macaco hidráulico, bomba e manômetro



Fonte: Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 2014.

Para garantir a execução ideal dos tirantes, realizam-se quatro ensaios conforme a NBR 5629 (ABNT, 2018), que são: ensaio de recebimento, que controla a capacidade de carga do tirante; ensaio de qualificação, que verifica componentes enterrados do tirante; ensaio básico, que realiza uma análise geotécnica na região

da ancoragem e do bulbo da fase de injeções e ensaio de fluência, realizado apenas em tirantes permanentes que avalia o desempenho do tirante sob cargas de longa duração (VIDAL, 2018).

A última etapa considerada pelo autor, a incorporação, só é realizada após o ensaio de recebimento (VIDAL, 2018). A carga de incorporação deve seguir o definido em projeto e o valor varia entre 80% e 100% da carga de trabalho, conforme afirma Paiva (2016).

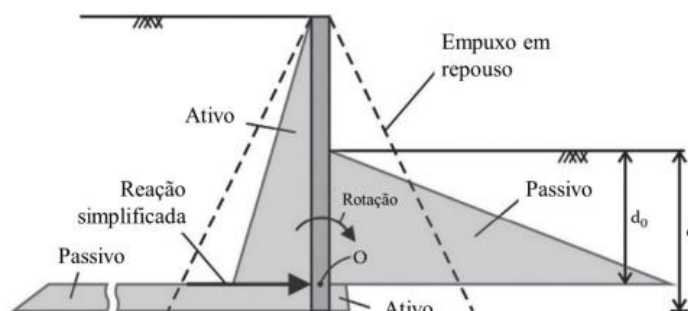
2.4.3 Dimensionamento da estrutura de contenção em cortina atirantada

Para uma estrutura de contenção em cortina o principal item a ser calculado é a sua ficha, ou seja, seu embutimento, que utilizará como base o método de Blum (1931), que consiste em considerar a mobilização do empuxo ativo e do empuxo passivo (ROSA, 2019).

Conforme afirma Schitkoski (2019), o método de Blum considera a rotação da estrutura de contenção em um ponto específico, ponto O, que acarretará deslocamentos do maciço de forma que o solo acima do ponto O mantenha o estado ativo retido ao lado da estrutura, enquanto no lado escavado, o solo abaixo da cota de escavação apresente o estado passivo. Enquanto abaixo do ponto O, o estado ativo estará do lado escavado e o passivo no lado retido.

Abaixo, conforme Figura 18, é possível verificar a distribuição de empuxos segundo Blum (1931).

Figura 18 - Distribuição de empuxos segundo Blum (1931)



Fonte: Rosa (2019)

Segundo a teoria de Blum (1931), além do ponto de rotação O, há o ponto de inflexão (I), que é o ponto em que as tensões horizontais se anulam. A distância deste ponto (I) até o nível de escavação será representada por x (m) E pode ser

definida através da relação de x com a altura da estrutura (H), como pode ser verificado na Tabela 5, proposta por Cornfield (1975).

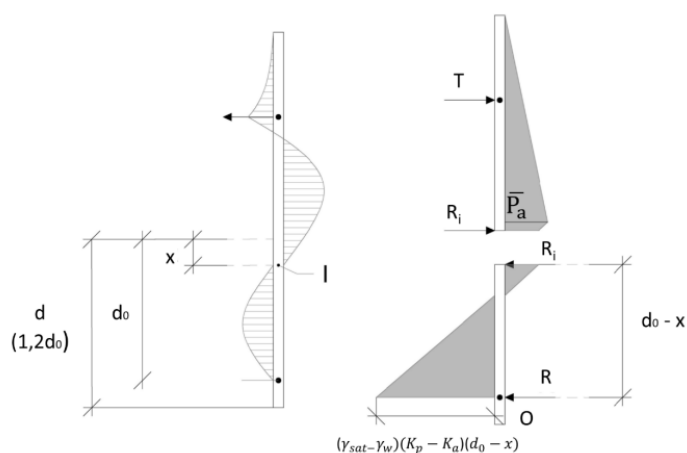
Tabela 5 - Distância x em função do ângulo de atrito e altura da estrutura

ϕ	30°	35°	40°
x/H	0,08	0,03	0

Fonte: Cornfield (1975).

A partir deste ponto de inflexão (I) definido por Blum, segundo Schitkoski (2019), podem ser definidas duas vigas equivalentes, a superior acima do ponto I e a inferior abaixo do ponto I, como pode ser verificado na Figura 19.

Figura 19 - Método da viga equivalente de Blum



Fonte: Schitkoski (2019).

Esse método é utilizado para cortinas que apresentam pontos de ancoragem em sua estrutura, sendo que a presença de cada tirante representa uma nova reação na viga equivalente, além do ponto I representar uma reação fictícia, visto que o ponto se encontra em equilíbrio de forças. (SCHITKOSKI, 2019)

Para definir os carregamentos na viga, é necessário realizar os cálculos das tensões horizontais e empuxos, conforme Rosa (2019).

Para iniciar a definição desses valores, os coeficientes de empuxo devem ser calculados através do método de Rankine (1856), conforme Equação 3 e Equação 4:

$$K_a = \frac{1 - \operatorname{sen} \phi}{1 + \operatorname{sen} \phi} \quad \text{Equação 3}$$

$$K_p = \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

K_a é o coeficiente de empuxo ativo do solo;

K_p é o coeficiente de empuxo passivo do solo;

Φ é o ângulo de atrito do solo ($^\circ$):

Possuindo os valores dos coeficientes, é possível calcular as pressões laterais ativas e passivas através da Equação 5 e Equação 6, respectivamente, segundo Rosa (2019):

$$\sigma_{h'ativo} = p_{la} = K_a \cdot \gamma \cdot z - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + q \cdot K_a \quad \text{Equação 5}$$

$$\sigma_{h'passivo} = p_{lp} = K_p \cdot \gamma \cdot z' + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} + q \cdot K_p \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$\sigma_{h'ativo}$ é tensão horizontal ativa (kPa);

K_a é o coeficiente de empuxo ativo do solo;

γ é peso específico do solo (kN/m³);

z é a altura da aplicação da tensão ativa (m);

c é a coesão do solo (kPa);

q é a sobrecarga aplicada (kN);

$\sigma_{h'passivo}$ é a tensão horizontal passiva (kPa);

K_p é o coeficiente de empuxo passivo do solo;

z' é a altura da aplicação da tensão passiva (m).

Com as pressões laterais, é possível calcular o empuxo de terra no solo, porém segundo Gersovich (2016), a inserção de forças pelo sistema de ancoragem tende a ocasionar acréscimos de tensões horizontais nos empuxos, desta forma deve ser redistribuída as tensões calculadas. Desta forma, segundo Schitkoski (2019), deve ser realizada a alteração do diagrama aplicando o diagrama retangular supracitado a partir da Equação 7 e a pressão horizontal retificada a partir da Equação 8.

$$A_{resultante} = E_{resultante} = E_{a,i} - \frac{E,p,\Phi,i}{FS} - \frac{E,p,c,i}{FS} \quad \text{Equação 7}$$

$$\sigma_{rh} = \frac{A_{resultante}}{H + x} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

A resultante é área resultante (m^2);

E resultante é empuxo resultante (kN/m);

$E_{a,i}$ é o empuxo ativo (kN/m);

$E_{p, \Phi, i}$ é o empuxo passivo ocasionado pelo ângulo de atrito acima do ponto I (kN/m);

$E_{p, c, i}$ é o empuxo passivo ocasionado pela coesão acima do ponto I (kN/m);

FS é o fator de segurança;

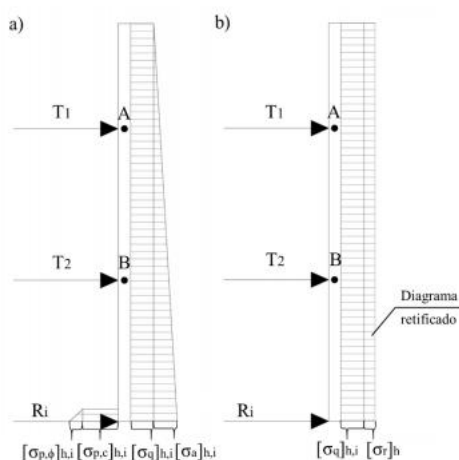
H é a altura da estrutura;

x a distância do ponto I até o nível da escavação;

σ_{rh} é a pressão horizontal retificada (kN/m^2).

Na Figura 20, é possível verificar como fica o diagrama de empuxos conforme Rankine (a) e como fica o diagrama após a retificação (b).

Figura 20 - Diagrama de empuxo antes e depois da retificação



Fonte: Schitkoski (2019).

O fator de segurança é aplicado ao empuxo passivo pois está relacionado à resistência da estrutura e conforme Hachich (1996), é recomendado minorar o seu valor utilizando um FS no intervalo de 1,5 a 2,0 para garantir uma maior segurança.

Possuindo esses valores, será possível definir a carga a ser aplicada na viga equivalente, somando a pressão horizontal ativa causada pela sobrecarga com a pressão horizontal retificada. O que possibilitará encontrar os valores das reações dos pontos de ancoragem e da reação fictícia (SCHITKOSKI, 2019).

Com o valor da reação fictícia, seguindo o método de Blum (1931), aplica-se a reação na viga inferior ao ponto I para então definir o valor d_0 , que seria o valor de

ficha mínima para a cortina, de forma que alcance o fator de segurança desejado, a partir da Equação 9. (SCHITKOSKI, 2019).

$$\frac{M_{resistente}}{M_{solicitante}} \geq FS \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

M resistente é o momento ocasionado pelos empuxos passivos (kN.m);

M solicitante é o momento ocasionado pelos empuxos ativos reação no ponto I (kN.m);

FS é fator de segurança.

Para encontrar o valor de ficha mínimo, o procedimento pode ser realizado por tentativas aplicando medidas a partir da distância x, definida através da Tabela 3, encontrando seus empuxos e respectivos momentos até que a relação entre o momento resistente e solicitante seja maior que o desejado. (SCHITKOSKI, 2019)

Possuindo o valor de ficha que atenda ao fator de segurança deve-se, conforme Blum (1931), majorar essa medida em 20% para garantir a segurança, a partir da Equação 10.

$$d = d_0 \cdot 1,2 \quad \text{Equação 10}$$

Desta forma, se obterá o valor da ficha da cortina.

2.5 MURO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICO

2.5.1 Conceitos e considerações gerais

Conforme Vertematti (2015), geossintético é um termo utilizado para descrever um produto fabricado com polímeros, tanto sintéticos quanto naturais, que apresenta características que podem ser úteis para aprimorar obras geotécnicas. Esse produto é capaz de desempenhar uma ou mais funções, tais como reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial.

Quando os geossintéticos – como geotêxteis e geogrelhas – são utilizados como reforço na massa do solo, são responsáveis pelo seu aumento de resistência a tração, proporcionando a execução de muros de solos verticais ou parcialmente verticais (International Geosynthetic Society – IGS). Dessa forma, torna possível a

existência de paredes inclinadas que seriam inexequíveis em solos chamados de não-reforçados.

2.5.1.1 Funções dos geossintéticos

De acordo com a norma brasileira NBR ISO 10318 – Geossintéticos – Termos e Definições, são definidas as seguintes funções dos geossintéticos para uso em obras de engenharia:

- a) Controle de erosão superficial: utiliza-se o geotêxtil ou correspondente para que assim seja evitado ou limitado os movimentos de massa – como por exemplo de um talude.
- b) Drenagem: condução e coleta de águas pluviais, subterrâneas ou até mesmo de outro fluido por meio de uma estrutura de geotêxtil ou correspondente.
- c) Filtração: permitir passagem de água ou outro fluido por meio de uma estrutura de geotêxtil ou correspondente retendo-se partículas indesejáveis.
- d) Barreira: geomembrana ou correspondente utilizado como limitador para impedir a movimentação de fluidos.
- e) Proteção: utilização de geotêxtil ou correspondente para prevenir possíveis danos a um elemento.
- f) Separação: prevenir mistura de materiais de naturezas distintas (solo ou material de aterro) pelo uso de geotêxtil ou correspondente.
- g) Reforço: utilização das propriedades de tensão-deformação de geogrelha ou correspondente para aprimorar o comportamento de solos ou de materiais de construção.

Neste trabalho, nos aprofundaremos na questão relacionada ao Reforço, focada ainda na utilização e melhoria nas propriedades de tensão-deformação dos solos aplicada à contenção de taludes.

2.5.1.2 Tipos e classificação dos geossintéticos

Diariamente, são criados tipos de geossintéticos, o que faz com que muitos deles ainda não estejam claramente definidos e classificados. Além disso, as

definições, classificações e siglas usadas variam entre países e organizações (VERTEMATTI, 2015).

Abaixo, apresenta-se de forma resumida os geossintéticos considerados os mais relevantes para as obras de engenharia e geotecnia (VERTEMATTI, 2015; NBR ISO 10318, 2013; CECCONI, 2018).

- a) Geotêxtil – GTX: Material têxtil planar e permeável confeccionado a partir de polímero (natural ou sintético), pode ser tecido, não tecido ou tricotado. Aplicações em contato com solo e outros materiais na engenharia civil e geotécnica. Emprego em drenagem e separação de camadas.
- b) Geogrelha – GGR: Material polimérico plano, de malha aberta composto por elementos com resistência à tração. Unidos por extrusão, solda ou entrelaçamento. Aberturas superiores aos elementos que as constituem. Utilizados principalmente para reforço de solos pela alta resistência a tração.
- c) Geomembrana – GR: Fabricado industrialmente com base em materiais geossintéticos. Possui forma de laminar. Atua como barreira por conta da baixíssima permeabilidade.
- d) Georrede – GNT: Composto por elementos paralelos superpostos e conectados a outros elementos parecidos em vários ângulos. Utilizada para drenagem.
- e) Geocomposto – GCO: Material industrializado, constituído por superposição de materiais sendo pelo menos um deles um produto geossintético. A função pode variar dependendo do geocomposto escolhido (impermeabilizante, drenagem reforço)
- f) Geocélula – GCE: Estrutura formada por polímeros de forma tridimensional e apresenta-se permeável. Constituída de tiras de geossintéticos. Nos taludes previne a erosão superficial.

Abaixo segue a Tabela 6 que resume os tipos de geossintéticos mais usados na geotecnia e suas aplicações em obras geotécnicas.

Tabela 6 - Resumo funções dos geossintéticos em obras geotécnicas

Geossintéticos	Aplicações						
	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço	Barreira
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X	X
Geogrelha	X	-	-	-	-	X	-
Geomembrana	X	-	-	-	-	-	X
Georrede	-	X	-	X	-	-	-
Geocomposto	-	-	-	X	-	X	X
Geocélula	-	X	-	-	X	X	-

Fonte: Vertematti (2015)

Nas estruturas de contenção de solo reforçado os geossintéticos mais utilizados para o reforço são os geotêxteis e as geogrelhas, e neste presente trabalho o foco será a aplicação de geogrelhas para reforço do solo.

2.5.2 Dimensionamento e segurança em estruturas de solo reforçado

Para garantir a segurança de uma estrutura de contenção de solo reforçado, é necessário realizar duas análises: a de Estabilidade Externa e a de Estabilidade Interna.

2.5.2.1 Estabilidade Externa

Para determinação dos reforços a serem executados nas estruturas dos muros de solo reforçado são utilizadas quatro verificações de estabilidade e segurança, representadas por: deslizamento, tombamento, ruptura de solo de fundação (capacidade de carga) e ruptura global.

O cálculo do fator de segurança em todas as etapas é pela Equação 11:

$$FS = \frac{R}{S} \quad \text{Equação 11}$$

Onde FS é o fator de segurança, R o valor do esforço resistente (kN, kN.m) e o S o valor do esforço solicitante (kN, kN.m).

As limitações do fator de segurança são fornecidas pela Tabela 7.

Tabela 7 - Valores fatores de segurança para análise da estabilidade externa

Fatores de Segurança		
Verificação	Fator de Segurança	Observação
Deslizamento	$\geq 1,5$	-
Tombamento	$\leq Lr/6$	Análise de acordo com a NBR 19286 (ABNT, 2016)
Capacidade de Carga da Fundação	$\geq 2,5$	-
Estabilidade Global	$\geq 1,3$	Condições não críticas
	$\geq 1,5$	Condições críticas

Fonte: Adaptado de ELIAS, V.; CHRISTOPHER, B. R.; BERG, R. R. **Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes - design and construction guidelines**. Washington, n. FHWA-NHI00-043, 2001. p. 46

O empuxo trata-se de forças laterais as quais atuam entre as estruturas de contenção e os maciços de terra (DAS, 2007). Estas forças vindas lateralmente têm como origem a pressão lateral do solo. Além disso, o empuxo é considerado o esforço majoritário atuante em contenções (MAZON E SOUZA, 2017).

Rankine (1856) foi responsável pela elaboração de uma das teorias consideradas clássicas, a quais estudam a ação das pressões de empuxo. As teorias clássicas levam em consideração a ações de tensão no solo em iminência de romper e também em um estado de equilíbrio plástico. Ainda de acordo com Rankine (1856), considera-se um maciço homogêneo – uma única camada contínua de mesmo solo – de superfície horizontal, paramento rígido e vertical, e considera-se ainda nulo o atrito entre solo e face.

Sendo assim, utiliza-se apenas a teoria de Rankine (1856) para determinação de empuxo neste trabalho.

$$K_a = \frac{1 - \text{sen } \phi'}{1 + \text{sen } \phi'}$$

Equação 12

Onde:

K_a é o coeficiente de empuxo ativo do solo;

ϕ' é o ângulo de atrito do solo de fundação (°).

Para a teoria de Rankine, o cálculo de empuxo não é o mesmo para solos coesivos e não coesivos.

a) Empuxo para Solo Não-coesivo

O empuxo ativo (E_a), por unidade de comprimento, para solos não-coesivo é dado pela Equação 13, considerando-se uma superfície horizontal (DAS, 2007):

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma K_a H^2 \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

E_a é o empuxo ativo do solo (kN);

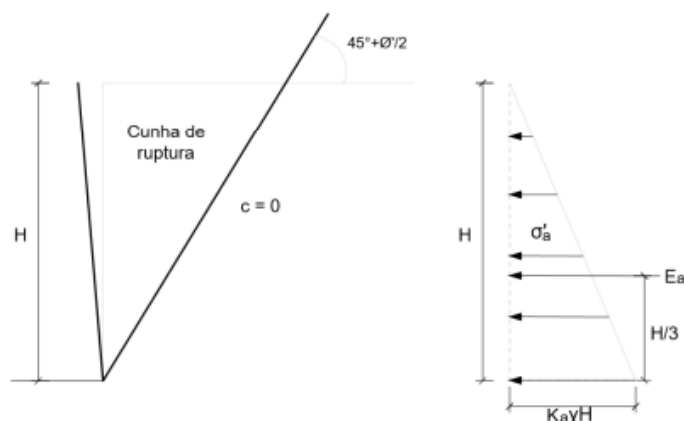
γ é o peso específico do solo (kN/m³);

K_a é o coeficiente de empuxo ativo do solo;

H é a altura do muro (m).

Na Figura 21, é ilustrada a direção e a distribuição do empuxo, de acordo com o ponto em que foi aplicado e da sua cunha de ruptura.

Figura 21 - Distribuição, ponto de aplicação e cunha de ruptura do empuxo ativo para solos não coesivos



Fonte: Mazon e Souza (2017)

2.5.2.2 Deslizamento

Para assegurar a estrutura contra o deslizamento, é necessário o equilíbrio entre as forças horizontais, o empuxo ativo e o atrito na base da contenção.

Como explicam Mazon e Souza (2017), considerando o esforço atuante, temos a força de empuxo ativo, enquanto que para o esforço resistente, conta-se com a força de atrito concentrada na base do muro, devido ao peso da estrutura de contenção. Se houver sobrecarga, essa força também é levada em consideração,

conforme a Equação 14. Como segurança considera-se dois terços do ângulo de atrito do solo.

$$FS_d = \frac{(\gamma \cdot H + q) \cdot L_r \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2}{3} \phi'\right)}{Ea} \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

FS_d é o fator de segurança contra o deslizamento ao longo da base do muro;

γ é o peso específico do solo (kN/m³);

H é a altura do maciço reforçado (m);

q é a sobrecarga uniformemente distribuída sobre o terrapleno (kPa);

L_r é o comprimento do reforço (m);

ϕ' o ângulo de atrito do solo (°);

Ea é o empuxo ativo (kN).

Como visto anteriormente, o fator de segurança para a análise do deslizamento deve ser maior que 1,5. Assim o comprimento do reforço (L_r) é adotado entre um valor entre 70% a 80% do valor da altura do muro (H), conforme exposto na Equação 15.

$$0,7 \cdot H \leq L_r \leq 0,8 \cdot H \quad \text{Equação 15}$$

2.5.2.3 Tombamento

Para assegurar a contenção contra o tombamento, é preciso que a resultante vertical dos esforços externos esteja presente dentro do núcleo central de inércia, que é definido como a região central da base da estrutura, abrangendo um terço do comprimento total da mesma, ou seja, menor ou igual a $L_r/6$ (MAZON E SOUZA, 2017). Sendo assim, a segurança de tombamento é calculada por uma relação entre excentricidades como mostrado na Equação 16.

$$\frac{M_o}{R_v} \leq \frac{L_r}{6} \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

M_o é o momento atuante no muro (kN.m);

R_v é a resultante vertical de esforços solicitantes externos (kN);

L_r é o comprimento do reforço (m).

O cálculo do momento atuante no muro (M_o) é dado pela Equação 17.

$$M_o = E_a \cdot y_E \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

M_o é o momento atuante no muro (kN.m);

E_a é o empuxo ativo (kN);

y_E é o braço de alavanca do empuxo ativo com base no pé do muro (m);

2.5.2.4 Ruptura do Solo de Fundação (Capacidade de Carga)

Nos muros de contenção como um todo há necessidade de ser estruturado sobre um material de base, sendo esse solo ou rocha. A capacidade de carga vem como solução para assegurar a ruptura e deformações da base sobre qual a contenção está presente.

No estudo da ruptura do solo de fundação de uma estrutura de contenção em solo reforçado, é necessário equilibrar as tensões transmitidas à base com a tensão admissível do solo de fundação da estrutura, para evitar a perda de sustentação do muro. Vale ressaltar que o esforço na base não se deve apenas ao peso da estrutura, mas também ao empuxo ativo que atua na mesma e gera momentos, aumentando as tensões na região frontal do muro. Isso resulta na máxima tensão solicitante na base do muro, que diminui ao longo da sua extensão (MAZON E SOUZA, 2017).

Por conta da ação do empuxo ativo, é deslocada a resultante vertical no sentido do esforço, o que resulta em uma excentricidade, calculada pela Equação 18.

$$e = \frac{E_a y_E}{R_v} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

e é a excentricidade (m);

E_a é o empuxo ativo (kN);

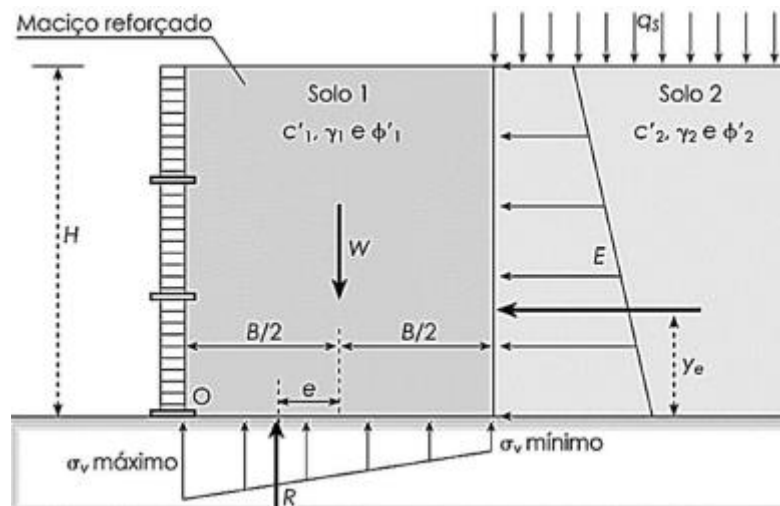
y_E é o braço de alavanca do empuxo ativo com base no pé do muro (m);

R_v é a resultante vertical (kN).

De acordo com Ehrlich e Becker (2009), a resultante das tensões normais que atuam na base do muro deve garantir que toda a base esteja sujeita apenas à compressão, conforme ilustrado na Figura 21.

Com essa premissa, segundo Mazon e Souza (2017) para assegurar que a base esteja submetida apenas à compressão, é fundamental atender à condição de que a excentricidade seja inferior a um sexto do comprimento do reforço, ou seja, a força resultante vertical deve estar localizada dentro do centro de inércia da base, de modo que não haja tensão de tração na mesma.

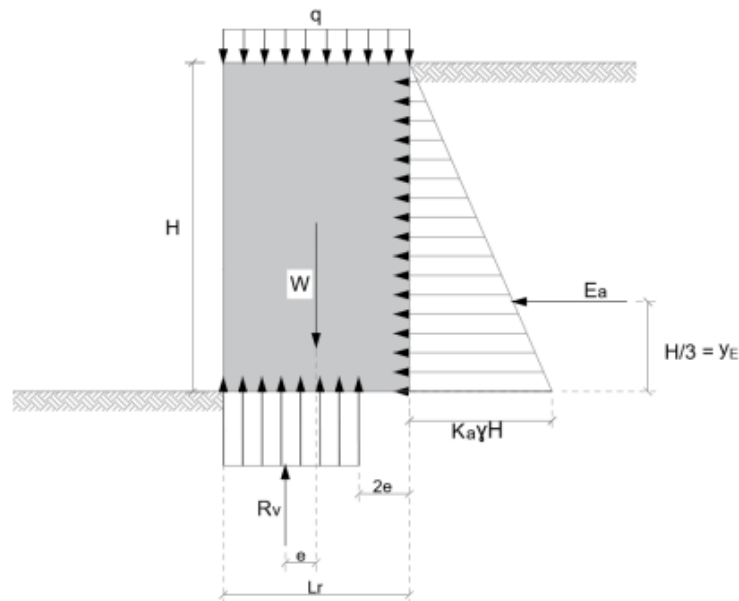
Figura 22 - Distribuição das tensões verticais na base.



Fonte: Vertematti (2001).

Conforme a teoria de Meyerhof (1955 apud VERTEMATTI, 2015) a base é reduzida em duas vezes a dimensão da excentricidade, o que resulta em uma correção na distribuição de cargas na base, como ilustrado na Figura 23.

Figura 23 - Teoria de Meyerhof de distribuição de cargas na base da contenção



Fonte: Mazon e Souza (2017)

Sendo assim, a tensão máxima aplicada ao solo é calculada pela Equação

19.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{R_v}{L_r - 2e}$$

Equação 19

Onde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ é a tensão máxima aplicada ao solo (kPa);

R_v é a resultante vertical (peso próprio (W) + sobrecarga (q)) (kN);

L_r é o comprimento do reforço (m);

e é a excentricidade (m).

O esforço resistente é representado pela capacidade de carga última do solo, que pode ser determinado pela Equação 20.

$$\sigma_r = \sigma_{adm} \cdot FS$$

Equação 20

Onde:

σ_r é a capacidade de carga do solo de fundação (kPa);

σ_{adm} a tensão admissível do solo de fundação (kPa);

FS é o fator de segurança;

Para este trabalho, considerando-se fundações superficiais, o fator de segurança é igual a 3. Já a tensão admissível utilizada na Equação 20 é calculada através da Equação 21 pelo método semiempírico da experiência brasileira, baseada principalmente nos estudos de Mello (1975) e Teixeira (1996).

$$\sigma_{adm} = 20 \cdot \bar{N}_{spt} \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

σ_{adm} a tensão admissível do solo de fundação (kPa);

\bar{N}_{spt} os valores dos ensaios de sondagem (válido para $5 \leq N_{spt} \leq 20$);

Assim, levando em conta que o fator de segurança para verificação de Capacidade de Carga é igual a $FS_f \geq 2,5$, tem-se a Equação 22:

$$FS_f = \frac{\sigma_r}{\sigma_{m\acute{a}x}} \geq 2,5 \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

FS_f é o fator de segurança contra a ruptura do solo de fundação;

σ_r é a capacidade de carga do solo de fundação (kN/m²);

$\sigma_{m\acute{a}x}$ é a tensão máxima aplicada ao solo (kN/m²).

2.5.2.5 Ruptura Global

Para a verificação de segurança contra a Ruptura Global considera-se a estrutura de contenção e o maciço de solo base como um único corpo rígido capaz de se deslocar, analisando como estabilidade de um talude.

Os métodos de equilíbrio limite são os mais empregados para a análise de estabilidade global de estruturas de solo reforçado. Essa grande utilização se deve pela facilidade dos métodos de equilíbrio limite. Esses métodos analisam as estruturas de contenção em solo reforçado em situação iminente de colapso Gerscovich (2016).

De acordo com Tonus (2009), o fator de segurança (FS_g) é determinado pela relação entre a resistência ao cisalhamento do solo (s) e a tensão cisalhante atuante ou resistência mobilizada (τ) ao longo da superfície de ruptura, conforme mostra a Equação 23.

$$FS_g = \frac{s}{\tau} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

FS_g o fator de segurança contra ruptura global;

s a resistência ao cisalhamento do solo (kN/m^2);

τ a tensão cisalhante atuante (kN/m^2)

Já a resistência ao cisalhamento do solo é dada pela Equação 24.

$$s = c + \sigma \tan \phi' \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

s a resistência ao cisalhamento do solo (kN/m^2);

c a coesão do solo (kN/m^2);

σ a tensão normal ao plano de ruptura (kN/m^2);

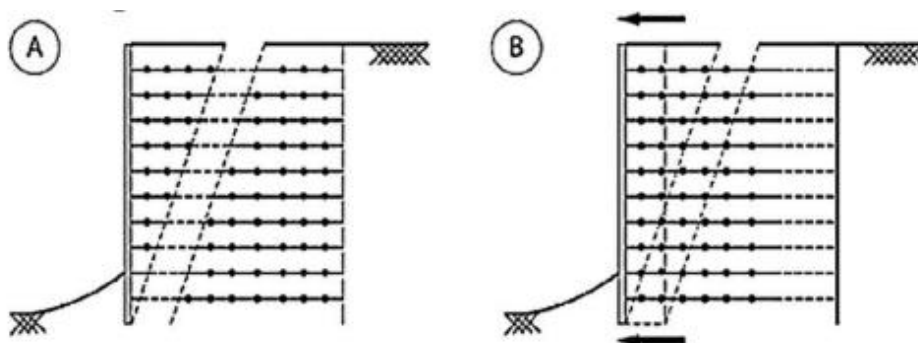
ϕ' o ângulo de atrito do solo ($^\circ$).

Existem inúmeros métodos de equilíbrio limite, chamando a atenção o Método de Morgenstern e Price (1965) como já citado anteriormente, o qual atende todas as condições de equilíbrio estático em qualquer forma de superfície de ruptura.

2.5.2.6 Estabilidade Interna

Para a análise de estabilidade interna de estruturas de solo reforçado com geossintéticos, é essencial garantir que não haja ruptura por tração e arrancamentos dos elementos de reforço. De acordo com Mazon e Souza (2017), para garantir a segurança, é necessário que as solicitações no reforço sejam inferiores à sua capacidade e que haja uma ancoragem eficiente (conforme ilustrado na Figura 23). Isso é alcançado por meio do uso de comprimentos e espaçamentos verticais adequados entre as camadas do reforço.

Figura 24 - Modos de ruptura interna: (A) Ruptura dos esforços e (B) Arrancamento dos reforços



Fonte: Ehrlich e Becker (2009).

Como citado anteriormente, por sua facilidade na aplicação, os métodos baseados nas teorias clássicas de equilíbrio limite são os mais utilizados pelos projetistas também para verificação em relação à instabilidade interna de contenções de solo reforçado.

a) Método Mitchell e Villet

Um desses métodos de equilíbrio limite é o de Mitchell e Villet (1987), o qual foi inicialmente desenvolvido para calcular a estabilidade interna de maciços reforçados com tiras metálicas, o método foi posteriormente adaptado para ser aplicado em maciços reforçados com geotêxteis.

De acordo com Peralta (2007), o método de Mitchell e Villet sugere que a transferência de tensões do solo para o reforço, que representa o seu funcionamento, é composta por dois mecanismos fundamentais: o atrito e a resistência passiva. A transferência de tensões por atrito é influenciada pela área de contato da superfície plana do geossintético, sua rugosidade, tensão confinante e condições de interface, e é comum a todos os geossintéticos. Por sua vez, a transferência por resistência passiva ocorre pela ancoragem do reforço no maciço, sendo característico de geogrelhas e dependente da tensão confinante e do tipo de solo que envolve o reforço.

Os métodos de equilíbrio limite, incluindo o de Mitchell e Villet, utilizam algumas hipóteses, como a estrutura prestes a entrar em colapso, a divisão do maciço em zonas ativa e resistente, o comportamento do solo como rígido e perfeitamente plástico, a inclinação e distribuição de reforços por toda a extensão da superfície de ruptura e a mobilização total da resistência ao cisalhamento do solo (MAZON E SOUZA, 2017).

Para verificação da estabilidade interna, utilizam-se os fatores de segurança presentes na Tabela 8.

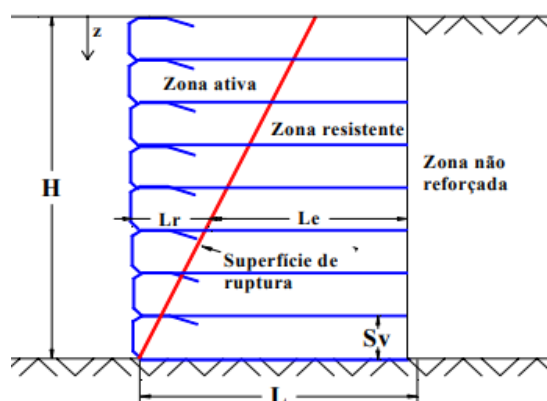
Tabela 8 - Fatores de Segurança para análise da estabilidade interna

Condição	Fator de Segurança	Observação
Ruptura do Reforço	$\geq 1,0$	Quando considerar os fatores de redução (Tabela 8)
Arrancamento	$\geq 1,5$	

Fonte: Adaptado de ELIAS, V.; CHRISTOPHER, B. R.; BERG, R. R. Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes - design and construction guidelines. Washington, n. FHWA-NHI00-043, 2001.

De acordo com Pedroso (2000) os métodos que utilizam a análise por equilíbrio limite dividem o maciço reforçado em duas regiões distintas, conhecidas como zona ativa e zona resistente, chamada de superfície de colapso em que se considera a iminência de ruptura, conforme apresentado na Figura 24. Essas zonas são definidas por superfícies potenciais de ruptura, que podem variar em forma de acordo com o método utilizado na análise. Alguns métodos de análise pressupõem que a superfície potencial de ruptura seja plana e inclinada. Isso significa que as deformações horizontais do maciço reforçado permitem que o solo atinja um estado de plastificação de Rankine.

Figura 25 - Definição de zona ativa e resistente



Fonte: Pedroso (2000).

Dessa forma, é possível determinar a segurança contra ruptura e arrancamento da estrutura de contenção em solo reforçado.

2.5.2.7 Ruptura de Reforço

A verificação de segurança contra ruptura do Reforço é feita considerando a camada de reforço de maneira independente. Assim é calculada a resistência a tração admissível do geossintético aplicado, conforme Equação 25.

$$T_{adm} = [(\gamma z + q)K_a - 2c\sqrt{K_a}]S_v \quad \text{Equação 25}$$

Onde:

T_{adm} a tensão de tração admissível (kN/m);

γ o peso específico do solo do aterro reforçado (kN/m³);

z a altura de solo acima do nível de reforço considerado (m);

q a sobrecarga (kN/m²);

K_a o coeficiente de empuxo ativo;

c a coesão (kN/m²);

S_v o espaçamento vertical entre as camadas de reforços (m).

Já a máxima resistência do reforço pode ser determinada por meio da Equação 26, que leva em consideração os fatores de redução apresentados na Tabela 9. Esses fatores variam de acordo com o tipo de geossintético utilizado e devem ser confirmados junto ao fabricante, uma vez que apresentam variações para cada material (MAZON E SOUZA, 2017).

$$L_a = L_r \left[(H - z) \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \right] \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

$T_{máx}$ a resistência a tração máxima, dada pelo catálogo do fabricante (kN/m).

Tabela 9 - Fatores de redução da tensão admissível

Faixa de valores para os fatores de redução utilizáveis na fase de projeto		
Fator	Valor Mínimo	Valor Máximo
Fluência em tração (FS_{ft})	2	5
Danos de instalação (FS_{di})	1,5	2
Degradação ambiental (FS_{da})	1,05	2
Incertezas estatísticas do material (FS_{im})	1,05	1,4

Fonte: Adaptado de VERTEMATTI, J. C. Manual brasileiro de geossintéticos. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

A verificação da segurança do contra ruptura do reforço é dada pela Equação 27, considerando um fator de segurança superior a 1,0 na análise de ruptura do reforço (MAZON E SOUZA, 2017).

$$FS_r = \frac{T_{geo}}{T_{máx}} \quad \text{Equação 27}$$

Onde:

FS_r o fator de segurança contra a ruptura do reforço;

T_{geo} a resistência a tração do geossintético (kN/m);

$T_{máx}$ a tensão máxima solicitante (kN/m).

2.5.2.8 Arrancamento de Reforço

De acordo com Mazon e Souza (2017) o objetivo da segurança contra o arrancamento de reforço é determinar o comprimento total do geossintético, considerando sua distribuição nas duas zonas de esforços: ativa e resistente ou passiva. Ao adotar uma superfície de ruptura baseada na teoria de Rankine, que é plana e inclinada em um ângulo de $(45^\circ + \phi' / 2)$ em relação à horizontal e passa pela sua base, é possível delimitar as duas zonas mencionadas.

Na zona ativa, o reforço não desempenha a função de ancoragem da estrutura, sendo que o comprimento inserido nesta zona é apenas a fim de resistir às forças de tração. A função de ancoragem é verificada no comprimento inserido na zona resistente, como ilustrado na Figura 8.

Assim, encontra-se o valor do comprimento de ancoragem com auxílio da Equação 28.

$$L_a = L_r \left[(H - z) \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \right] \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

L_a o comprimento de ancoragem (m);

L_r o comprimento do reforço (Zona passiva (L_a) + Zona ativa (L_b)) (m);

H a altura do muro (m);

z a altura variável de solo acima do nível do reforço de cada camada considerada (m);

ϕ' o ângulo de atrito do solo ($^\circ$).

Portanto, é possível calcular a resistência ao arrancamento usando a Equação 29.

$$T_{arr} = 2 L_a \gamma z \operatorname{tg} \phi' \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

T_{arr} a resistência ao arrancamento (kN/m);

L_a o comprimento de ancoragem (m);

γ o peso específico do solo do aterro reforçado (kN/m³);

z a altura de solo acima do nível do reforço considerado (m);

ϕ' o ângulo de atrito do solo ($^\circ$).

Considerando que nesta verificação o fator de segurança é superior a 1,5, resultante da resistência ao arrancamento e da tensão solicitada pelo maciço, a Equação 30 é utilizada para a análise do fator de segurança.

$$FS_{ar} = \frac{T_{arr}}{T_{adm}} \quad \text{Equação 30}$$

Onde:

FS_{ar} o fator de segurança contra a arrancamento do reforço maior do que 1,5;

T_{arr} a resistência ao arrancamento (kN/m);

T_{adm} a tensão de tração admissível (kN/m).

2.5.3 Muro de solo reforçado com geogrelha

2.5.3.1 Conceitos e considerações gerais

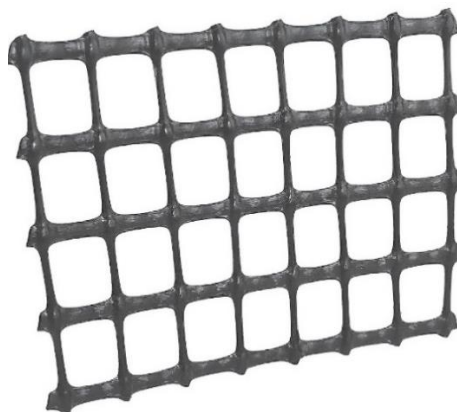
De acordo com Vertematti (2001) as geogrelhas são produtos estruturais em forma de grelha, cuja principal função é reforçar, e cujas aberturas permitem a interação com o meio em que estão inseridas. Elas são compostas por elementos que possuem resistência à tração e podem ser classificadas como unidirecionais, quando apresentam alta resistência à tração em apenas uma direção, ou bidirecionais, quando apresentam alta resistência à tração em ambas as direções principais. As geogrelhas podem ser fabricadas por meio de processos como extrusão, soldagem ou tecelagem.

Os constituintes mais comuns das geogrelhas são os polímeros denominados polietileno de alta densidade (PEAR), poliéster (PET) e álcool de polivinila (PVA). Podem ainda ser divididos em subgrupos de geogrelhas (Aguiar, 2003):

- a) Geogrelha extrudada (GGE): obtidas por extrusão e estiramento em apenas uma direção (unidimensionais) ou nos dois sentidos (bidirecionais), como exposto na Figura 26;
- b) Geogrelha soldada (GGB): componentes de grande módulo elástico e ótimas propriedades de fluência, composta de estrutura planar formada por processos de solda de geotiras de poliéster, com revestimento em PVC ou polietileno, exemplificado na Figura 28;

- c) Geogrelha tecida (GGW): estruturas planares feitas a partir de fibras sintéticas intertecidas ou tricotadas, cobertas por uma capa protetora, mostrado na Figura 27.

Figura 26 - Geogrelha extrudada (GGE)



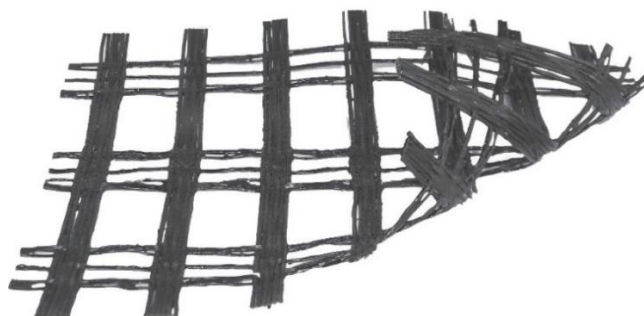
Fonte: Vertematti (2015).

Figura 27 - Geogrelha tecida (GGB)



Fonte: Vertematti (2015).

Figura 28 - Geogrelha soldada (GGW)



Fonte: Vertematti (2015).

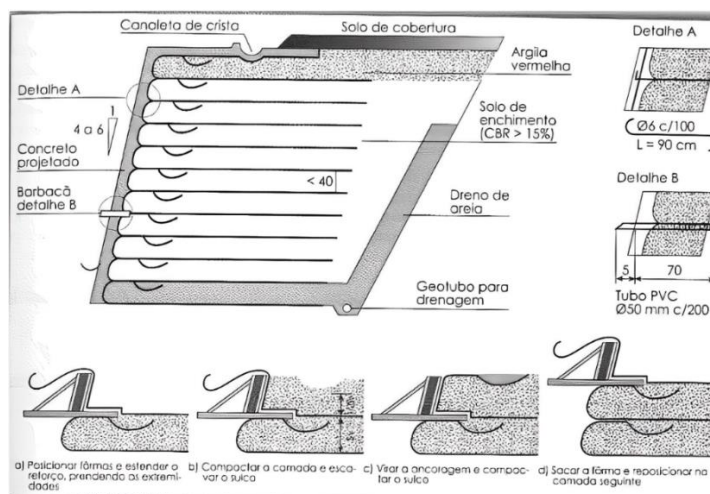
Segundo Cecconi (2018) as geogrelhas são responsáveis por oferecer melhoramento na ancoragem e estabilidade à taludes verticais, porém são pouco utilizadas por conta do uso restrito desse sistema de contenção. Com a ampliação do conhecimento, estudos e testes acerca das geogrelhas quando utilizada junto ao solo tendem a fazer com que os profissionais da geotecnia ampliem cada vez mais a sua aplicação.

2.5.3.2 Estruturas de solo reforçado com elementos StrataSlope®

Como disposto por Mitchell e Villet (1987), os principais elementos dos muros de solo reforçado são o solo, os reforços e o faceamento. O faceamento tem como função a estética das contenções em muro de solo reforçado, além de proteger a estrutura de possível erosão atuando como barreira contra o escape de solo do maciço compactado (BERG; CHRISTOPHER; SAMTANI, 2009). As maneiras mais utilizadas de faceamento utilizam o geossintético como reforço (auto-envelopamento, gabião e muros verdes. Nesse trabalho entraremos em detalhes no faceamento auto-envelopado.

O sistema de auto-envelopamento como exemplificado na Figura 29, é executado usando o próprio geossintético para envolver a face do solo, ancorando-o na massa de solo. Dessa forma, o geossintético exerce a função de faceamento e de reforço de forma simultânea. Para evitar a exposição do material aos raios ultravioletas e possíveis depredações deve-se envolver a face com concreto projetado ou vegetação. A inclinação do faceamento auto envelopado varia de 45° a 90° (OLIVEIRA, 2019).

Figura 29 - Sistema de auto-envelopamento



Fonte: Vertematti (2001).

De acordo com Ehrlich e Becker (2009), a classe predominante de materiais geotécnicos empregada na construção desse tipo de superfície é representada pelos geossintéticos, embora seja viável também utilizar geogrelhas, desde que haja uma contenção adequada do solo na área exposta da estrutura. De acordo com Neto e Hayashida (2013) a vantagem do sistema de auto-envelopamento é a redução dos custos e o aumento da flexibilidade da face quanto aos deslocamentos.

Neste trabalho o faceamento adotado será composto por tela metálica preenchida com brita graduada, sistema denominado StrataSlope®. Esse sistema se assemelha ao gabião e utiliza elementos de faceamento compostos de telas dobradas em formato de "L", soldadas e galvanizadas para proteção contra corrosão. As telas são estabilizadas por barras metálicas espaçadas uniformemente, permitindo preenchimento mecânico com material granular (GEOSOLUÇÕES, 2023). Na Figura 30 tem-se um exemplo de aplicação do StrataSlope® System.

Figura 30 - Exemplo de face com blocos de tela soldada

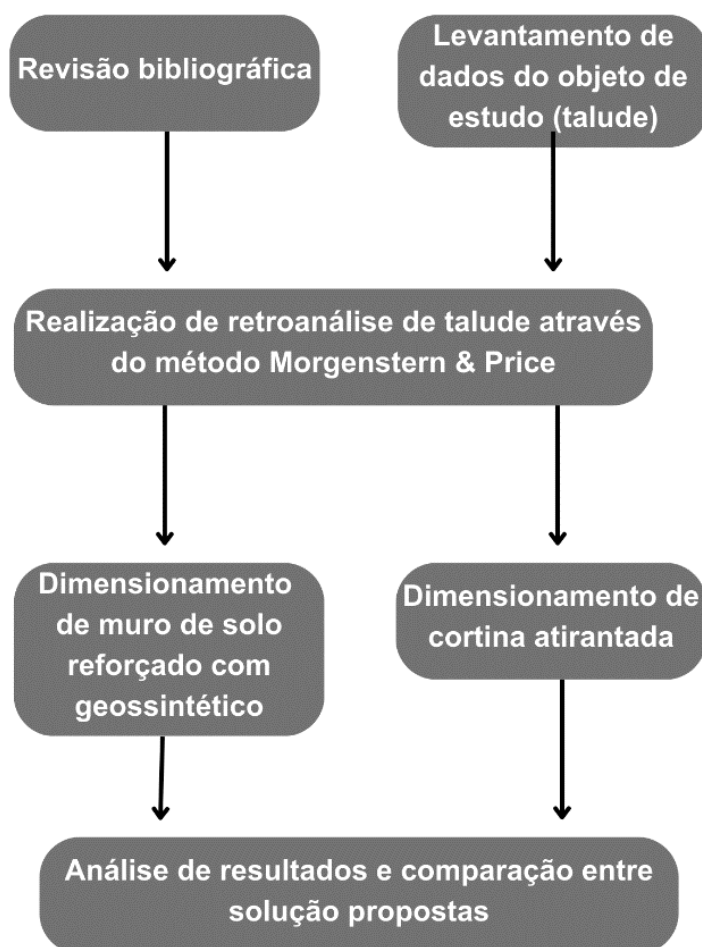


Fonte: GeoSoluções (2023).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Alinhado com os objetivos apontados na introdução, no atual capítulo define-se de que forma serão realizadas a retroanálise da ruptura do talude e a comparação entre os dimensionamentos das estruturas de contenção em cortina de estacas atirantada e muro de solo reforçado com geossintético. Na Figura 31, pode ser verificado um fluxograma da metodologia que será aplicada.

Figura 31 - Fluxograma de metodologia



Fonte: As autoras (2023).

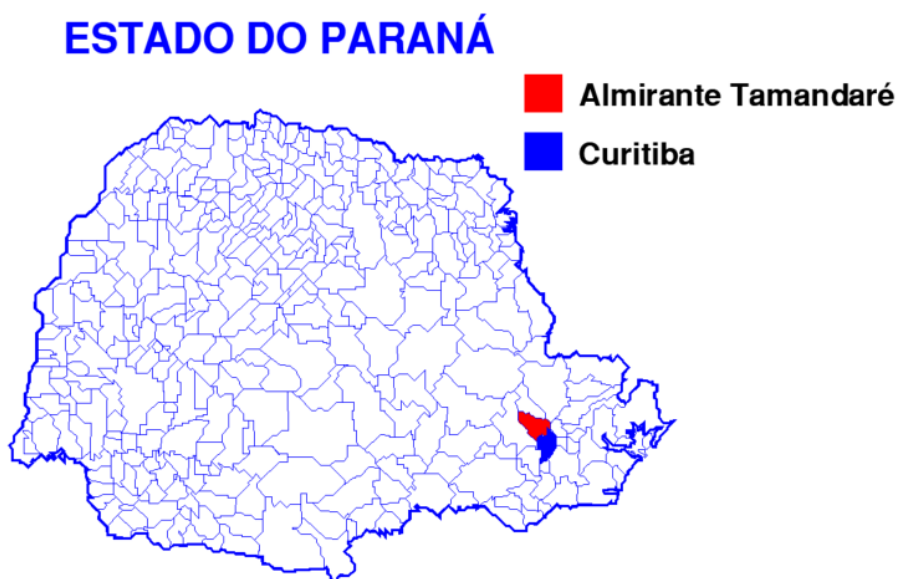
Nos seguintes tópicos serão apresentadas todas as etapas.

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DO TALUDE ESTUDADO

3.1.1 Localização do objeto de estudo

O talude estudado está localizado na cidade de Almirante Tamandaré, no Paraná, que está localizada na região metropolitana de Curitiba, como mostra a Figura 32.

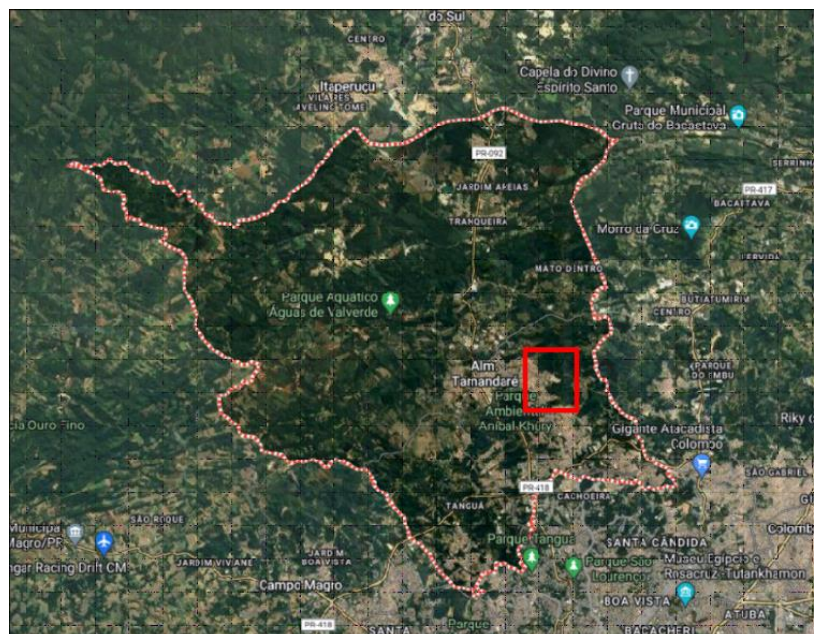
Figura 32 - Localização de Almirante Tamandaré e Curitiba no Paraná



Fonte: Adaptado de Bibliocad

Quanto à localização da região do talude no Município de Almirante Tamandaré, é possível verificar na Figura 33.

Figura 33 - Localização do talude no município de Almirante Tamandaré



Fonte: Google Maps (2023)

3.1.2 Descrição do objeto de estudo

O talude estudado possui aproximadamente 20 metros de aterro e uma altura total de aproximadamente 30 metros. Como mostra a Figura 34 sua ruptura já

ocorreu, ocasionando o deslizamento de terra. O comprimento da região rompida é de aproximadamente 170 metros.

Figura 34 - Talude após ruptura



Fonte: As autoras (2022).

Conforme as sondagens fornecidas da região, o talude encontra-se em uma região que apresenta argila, silte, argila siltosa e filito.

3.1.3 Perfil geológico-geotécnico

O perfil geológico-geotécnico será definido com base em 3 perfis cedidos da região rompida em conjunto com as sondagens da região. O perfil cedido apresenta a geometria do talude antes e após a ruptura, como mostra a Figura 35 possibilitando a realização da retroanálise.

Figura 35 - Perfil do talude rompido

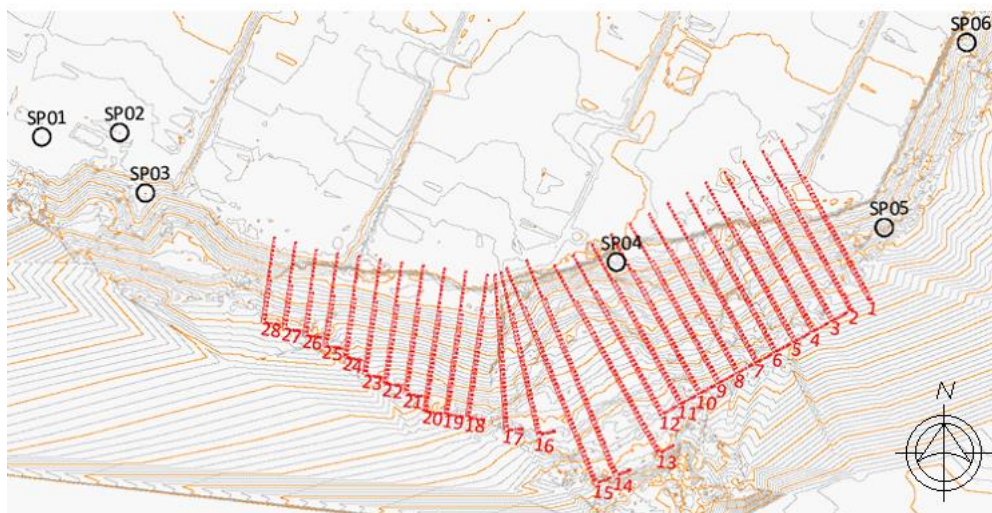


O perfil atual se refere à geometria do talude após o rompimento, o perfil de projeto refere-se ao aterro realizado e o perfil preliminar é o perfil natural do terreno.

Quanto ao ensaio de penetração (SPT), as sondagens foram realizadas à percussão, utilizando o amostrador tipo Raymond – Terzaghi com diâmetro externo de 2" e interno de 1 3/8", peso de 65kg com queda a 75cm. Foram realizadas 6

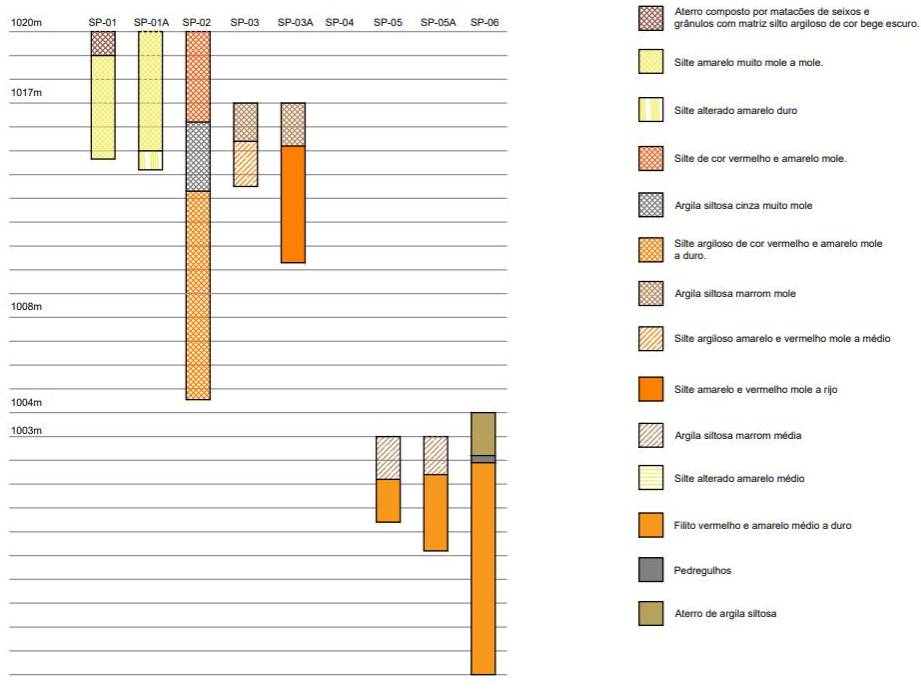
sondagens. A sondagem considerada para o estudo foi escolhida levando em conta sua localização em relação ao rompimento do talude estudado, que pode ser verificada na Figura 36.

Figura 36 - Localização das sondagens com relação ao rompimento



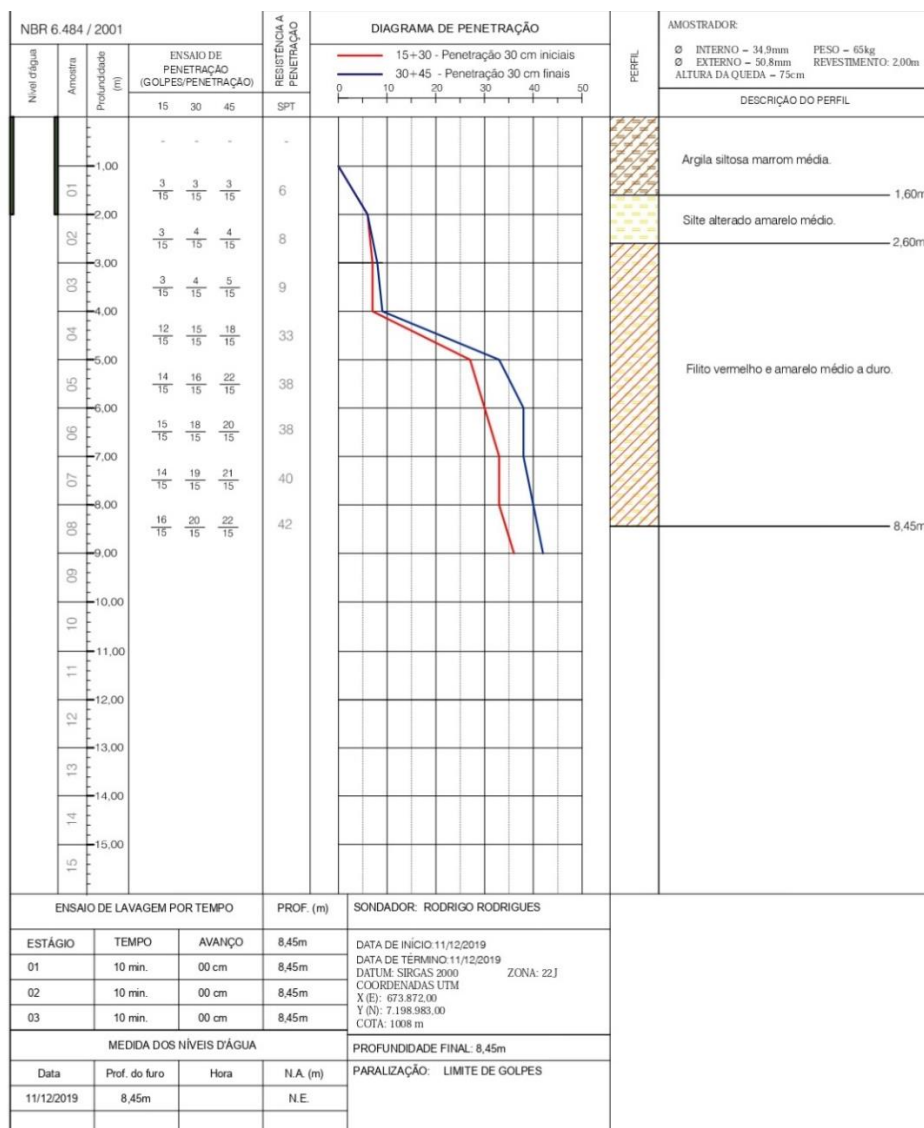
A região do rompimento é a região compreendida pela região das seções 1 a 28 presentes no desenho (Figura 36). Um esquema das sondagens pode ser verificado na Figura 37.

Figura 37 - Esquema das sondagens



Considerando a localização, foi adotada apenas a sondagem SP-04 como base para estudo, cujo boletim consta na Figura 38.

Figura 38 - Boletim de sondagem SP-04



Foi possível verificar a partir deste, a predominância do filito vermelho e amarelo médio a duro. Para definir o perfil geológico-geotécnico foi considerado que 20m de profundidade são de aterro, cujo perfil foi verificado nos perfis fornecidos pelo projeto que constam na Figura 36. Abaixo do aterro, foi considerada a presença de filito.

3.2 RETROANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Esse item da metodologia adotada para o trabalho tem como principal função encontrar os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo do talude estudado, a partir da retroanálise, conforme visto no tópico 2.2.4.

Para realizar-se a retroanálise, a geometria do talude foi adotada a partir do item 3.1 e quanto aos parâmetros de resistência ao cisalhamento iniciais foram

adotados valores conforme a Tabela 10, adaptada de Joppert (2007), escolhida devido à sua maior coerência com os solos brasileiros. Na sequência, tais parâmetros foram variados por tentativas até se encontrar fator de segurança igual a 1,0 na análise de estabilidade.

Tabela 10 - Parâmetros médios do solo

Tipo de Solo	Faixa N _{SPT}	Peso específico		Ângulo de Atrito (°)	Coesão efetiva (t/m ²)
		Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco siltosa/pouco argilosa	0 – 4	1,7	1,8	25	-
	5 - 8	1,8	1,9	30	-
	9 – 18	1,9	2,0	32	-
	19 – 41	2,0	2,1	35	-
	≥ 41	2,0	2,1	38	-
Areia média e fina muito argilosa	0 – 4	1,7	1,8	25	0,0
	5 - 8	1,8	1,9	28	0,5
	9 – 18	1,9	2,0	30	0,8
	19 – 41	2,0	2,1	32	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0 – 2	1,5	1,7	20	0,8
	3 - 5	1,6	1,7	23	1,5
	6 – 10	1,7	1,8	25	3,0
	≥ 10	1,8	1,9	25	3,0 a 7,0
Argila siltosa pouco arenosa	0 – 2	1,7	1,8	20	0,8
	3 – 5	1,8	1,9	23	1,5
	6 – 10	1,9	1,9	24	2,0
	11 – 19	1,9	1,9	24	3,0
	20 – 30	2,0	2,0	25	4,0
	≥ 30	2,0	2,0	25	5,0
Argila arenosa pouco siltosa	0 – 2	1,5	1,7	15	1,0
	3 – 5	1,7	1,8	15	2,0
	6 – 10	1,8	1,9	18	3,5
	11 – 19	1,9	1,9	20	5,0
	≥ 20	2,0	2,0	25	6,5
Turfa/argila orgânica	0 - 1	1,1	1,1	15	0,5
	2 - 5	1,2	1,2	15	1,0
Silte arenoso pouco argiloso	5 - 8	1,8	1,9	25	1,5
	9 – 18	1,9	2,0	26	2,0
	19 – 41	2,0	2,0	27	3,0
	≥ 41	2,1	2,1	28	5,0

Fonte: Adaptado de Joppert (2007)

A variação dos parâmetros foi inicialmente apenas com a coesão, para encontrar a coesão que em conjunto com o ângulo de atrito definido mais se aproximasse do fator de segurança igual à 1. Encontrando esse valor, foi variado o

ângulo de atrito em conjunto com essa coesão que o fator de segurança fosse igual à 1.

A análise foi realizada através do método do equilíbrio-limite no GeoSlope, ferramenta da GeoStudio e o método usado será Morgenstern e Price (1965), estudado no tópico 2.2.3.

Após realizar a retroanálise, foram definidos os parâmetros de resistência ao cisalhamento que foram utilizados nas próximas etapas do trabalho, os dimensionamentos.

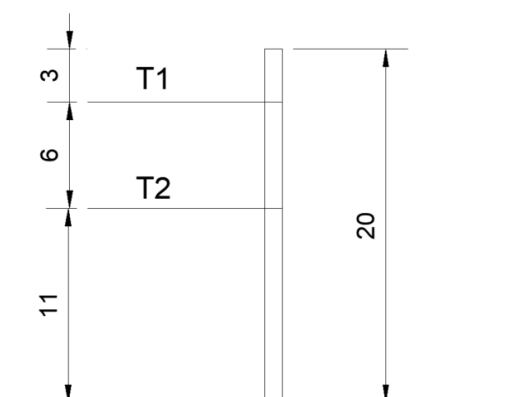
3.3 DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

3.3.1 Cortina atirantada

No dimensionamento da cortina de estacas atirantada, o primeiro objetivo foi encontrar o valor para a ficha da cortina. Para isso, foi utilizado o método Blum (1931) referenciado no item 2.4.3, os dados levantados através da retroanálise e os parâmetros de projeto.

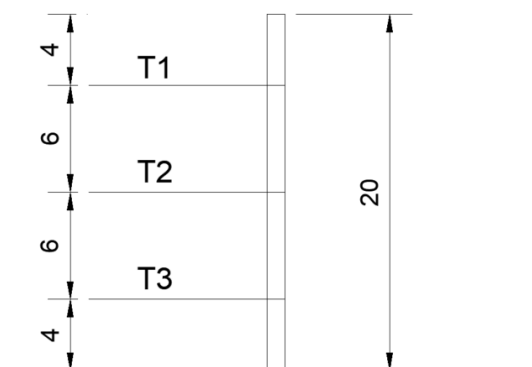
Para os cálculos, foram considerados três casos para esse dimensionamento: cortina com dois níveis de ancoragem, cortina com três níveis de ancoragem e cortina com quatro níveis de ancoragem. A distribuição de cada caso pode ser verificada nas Figuras 39, 40 e 41.

Figura 39 - Distribuição de tirantes em dois níveis



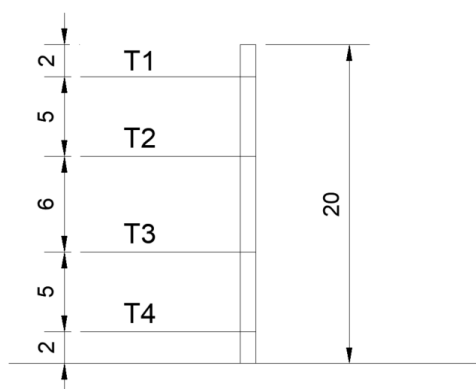
Fonte: As autoras (2023)

Figura 40 - Distribuição de tirantes em três níveis



Fonte: As autoras (2023)

Figura 41 - Distribuição de tirantes em quatro níveis



Fonte: As autoras (2023)

A partir da distribuição definida foi aplicado o método da viga equivalente, revisado no item 2.4.3. Para iniciar o método, primeiro a estrutura foi dividida em duas vigas, sendo necessário calcular a distância x (Figura 19) através da Tabela 3 pois se trata da distância do ponto de inflexão, o divisor entre as vigas equivalentes.

Em seguida, calculou-se a viga superior ao ponto I, que se trata de uma viga hiperestática nos três casos que foram estudados. Para calcular a viga superior, foi necessário realizar os cálculos de coeficiente de empuxo, distância entre o ponto I e o nível de escavação e pressões horizontais, todos realizados conforme equações apresentadas na revisão bibliográfica e através do software Excel.

Como trata-se de um caso de mais de um nível de ancoragem foi necessário, conforme citado no item 2.4.3, retificar o empuxo e a pressão aplicada na viga equivalente.

Possuindo os valores citados anteriormente, foi possível aplicar a viga equivalente no software Ftool, que forneceu os valores das reações dos tirantes e do ponto I (Figura 19).

A partir da reação do ponto I, foi realizado o cálculo da viga equivalente inferior, através de tentativas, para encontrar o valor da ficha mínima. Para realizar as tentativas foi utilizado o software Excel realizando cálculos de diversos valores a partir da distância x até que o fator de segurança definido fosse alcançado.

Esse procedimento foi realizado para os três casos estudados com o objetivo de comparar e verificar a viabilidade de todos.

3.3.2 Muro de solo reforçado com geossintético

Foi utilizada uma planilha desenvolvida no software Excel para analisar a estabilidade externa e interna de cada camada de reforço. Para a análise da segurança contra ruptura global do maciço, a ferramenta GeoSlope do software GeoStudio foi utilizada, levando em conta o método de equilíbrio limite de Morgenstern e Price (1965), aprofundado anteriormente neste trabalho no tópico 2.2.3. Uma sobrecarga de 20 kPa foi considerada distribuída uniformemente sobre a contenção.

Como já exposto no tópico 2.5.2, para dimensionar o comprimento de reforço, foi considerada a situação mais crítica do solo e altura do muro, a fim de garantir a estabilidade externa e interna. Por esse motivo, a altura do muro (H) considerada foi de 20 metros como citado anteriormente no item 3.1.2. A mesma dimensão de reforço foi adotada para todas as camadas. Além disso, as estruturas de contenção foram calculadas pelo método de Mitchell e Villet (1987).

Além disso, para a o cálculo da tensão admissível do solo de fundação adotou-se o valor de N_{spt} igual a 20 por conta dos limites do método semiempírico da experiência brasileira. O valor do braço de alavanca do empuxo (y_E) foi considerado como dois terços da altura do muro, pela distribuição teórica do empuxo ativo descrita por Rankine (1857).

Para análise da estabilidade interna adotou-se um embutimento igual a 10% da altura do muro (H) conforme NBR 19286 (ABNT, 2016) avalia quando o terreno a jusante do maciço é horizontal. Os fatores de redução para fase de projeto para tensão admissível foram considerados os máximos por motivo de segurança.

Os parâmetros do solo natural e solo aterrado utilizados nos cálculos foram os obtidos através da retroanálise. Para segurança, adotou-se coesão do solo do aterro igual a 0 kPa.

No caso de revestimento com tela soldada do tipo StrataSlope®, a estabilização da face é alcançada por meio do preenchimento por brita graduada. Nessa abordagem, é empregado um geotêxtil não tecido em conjunto para ancorar a face.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RETROANÁLISE

Conforme exposto no tópico 3.2, a retroanálise foi realizada com o objetivo de definir os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo do talude apresentado, utilizando o software da GeoStudio e com base no método de Morgenstern e Price (1965).

Como citado no tópico 3.1.3, a sondagem utilizada para a realização do perfil geológico-geotécnico foi a referente ao boletim da Figura 38. Quanto aos perfis utilizados, por conta de suas maiores alturas em relação aos outros perfis, foram escolhidos para estudo os perfis 12, 14 e 15, cujas localizações podem ser verificadas na Figura 36.

Considerando o aterro e a presença de filito no terreno natural, os perfis geológicos-geotécnicos dos perfis podem ser verificados nas Figura 42, Figura 43 e Figura 44.

Figura 42 - Perfil 12 antes da ruptura

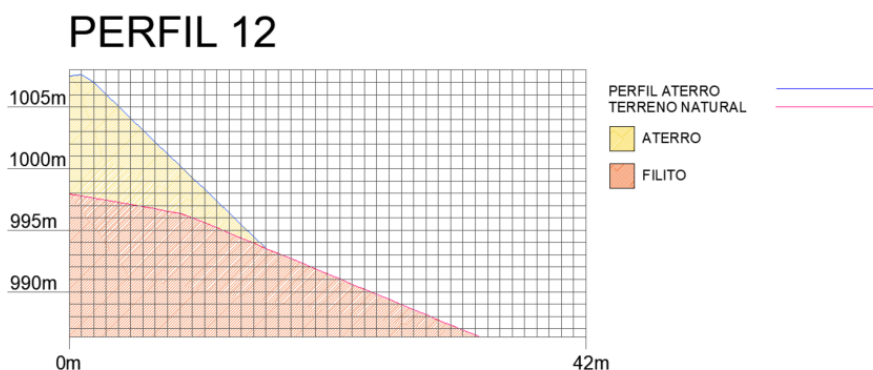


Figura 43 - Perfil 14 antes da ruptura

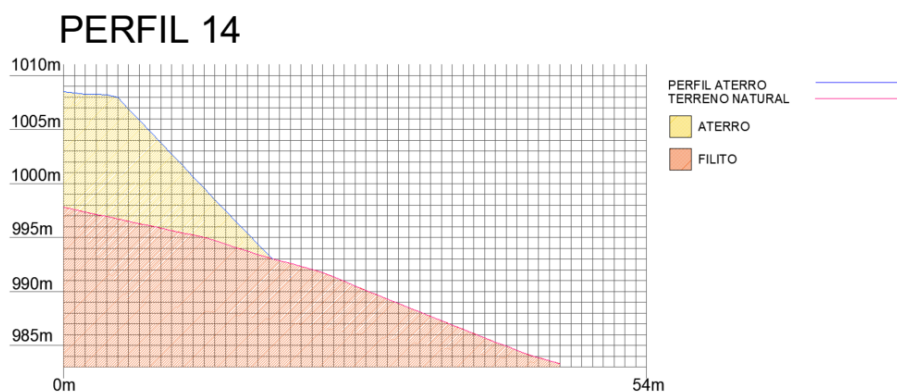


Figura 44 - Perfil 15 antes da ruptura



Com os perfis definidos, foram lançados no software da GeoStudio para realizar então a análise de estabilidade do talude a partir do método Morgenstern e Price, detalhado no tópico 2.2.3. Para o lançamento no software foi necessário adotar parâmetros para os materiais (aterro e filito), que foram estimados a partir da tabela de Joppert (2007), que pode ser conferida na Tabela 10.

Para o aterro, considerou-se um solo argiloso siltoso, iniciando-se as tentativas de encontrar os parâmetros com os dados da Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros adotados para o aterro

Parâmetros aterro	
Ângulo de atrito (°)	24
Coesão (kPa)	10
Peso específico (kN/m ³)	17

Fonte: As autoras (2023).

Conforme Joppert (2007), a coesão neste caso seria 20kPa, porém como considerou-se que o solo do aterro foi compactado foi considerado que sua coesão seria reduzida. Neste caso, foi reduzida à metade.

Quanto ao filito, considerando a geologia do local citada e explicada no tópico 3.1.2, sua origem provavelmente provém de sedimentos de areia de antigos mares, desta forma, considerou-se como areia pouco siltosa com N_{SPT} entre 19 e 41, logo seus parâmetros adotados podem ser verificados na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros adotados para o filito

Parâmetros filito	
Ângulo de atrito (°)	35
Coesão (kPa)	0
Peso específico (kN/m ³)	20

Fonte: As autoras (2023).

Com os perfis, seus materiais e respectivos parâmetros definidos, a partir dos perfis pós-ruptura das seções selecionadas foi possível encontrar os pontos da superfície de ruptura. Os perfis com as superfícies de ruptura podem ser visualizados na Figura 45, Figura 46 e Figura 47.

Figura 45 - Perfil 12 pós ruptura

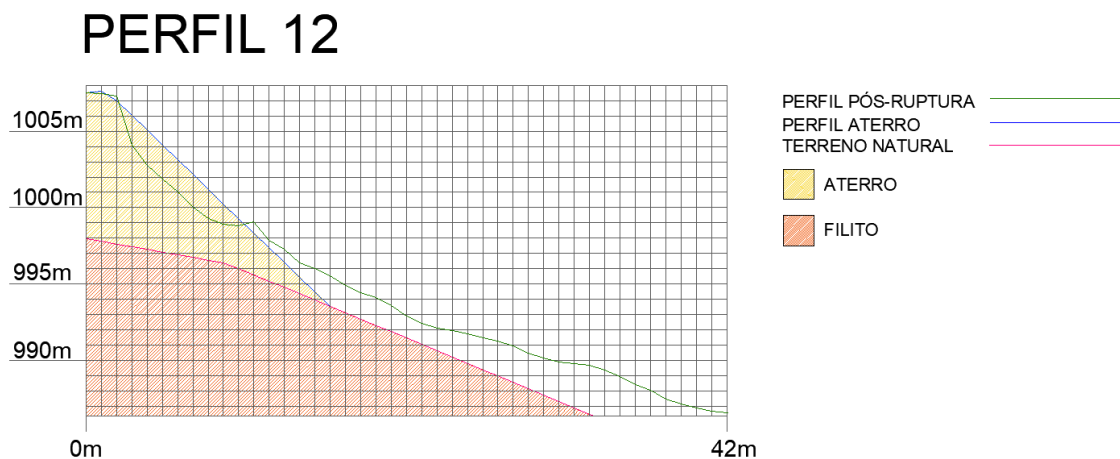


Figura 46 - Perfil 14 pós ruptura

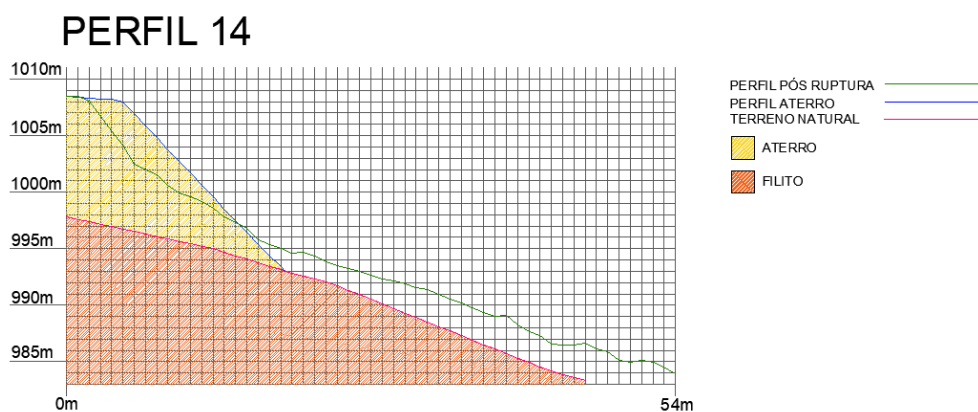
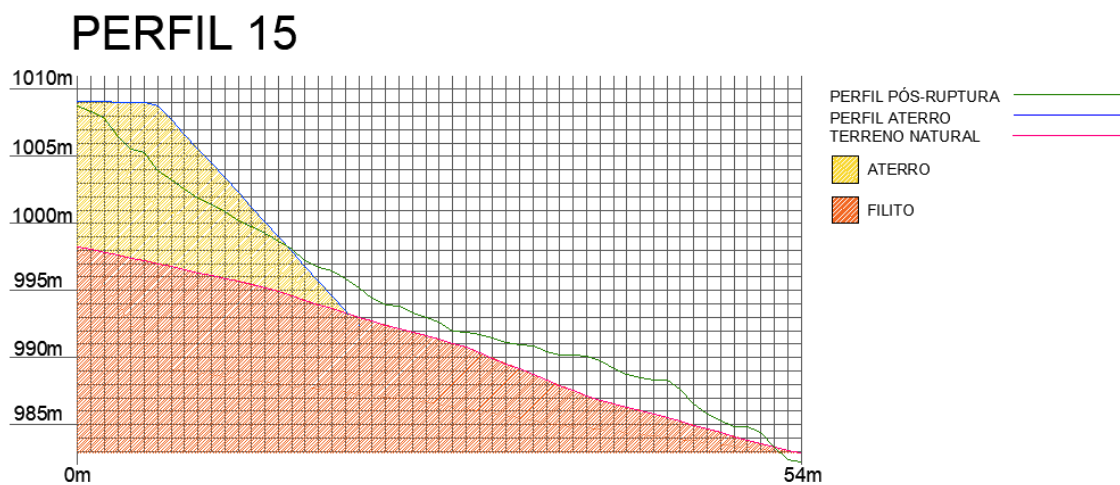
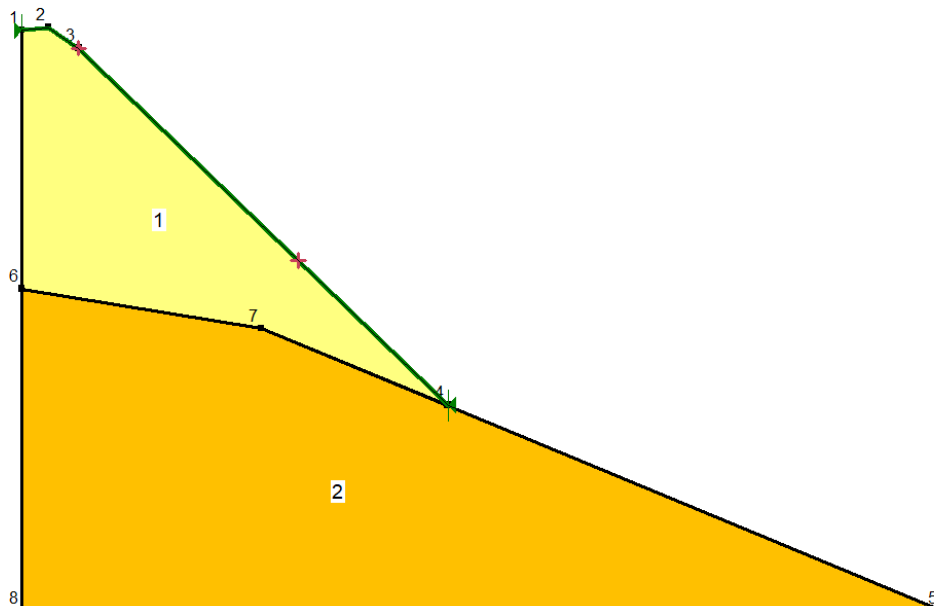


Figura 47 - Perfil 15 pós ruptura



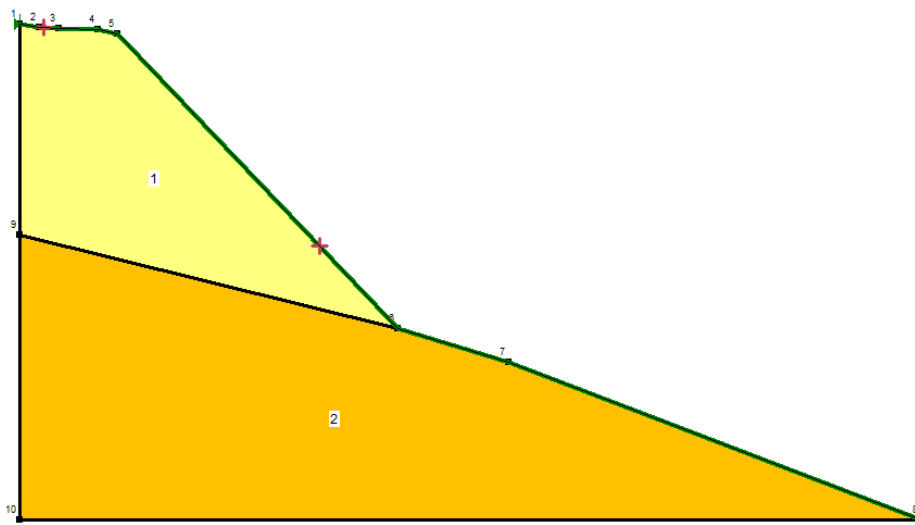
Conhecendo a geometria do talude, os parâmetros dos materiais e a localização da superfície de ruptura, foi possível lançar no software GeoStudio, conforme mostra a Figura 49, Figura 49 e Figura 50.

Figura 48 - Perfil 12 lançado no GeoStudio



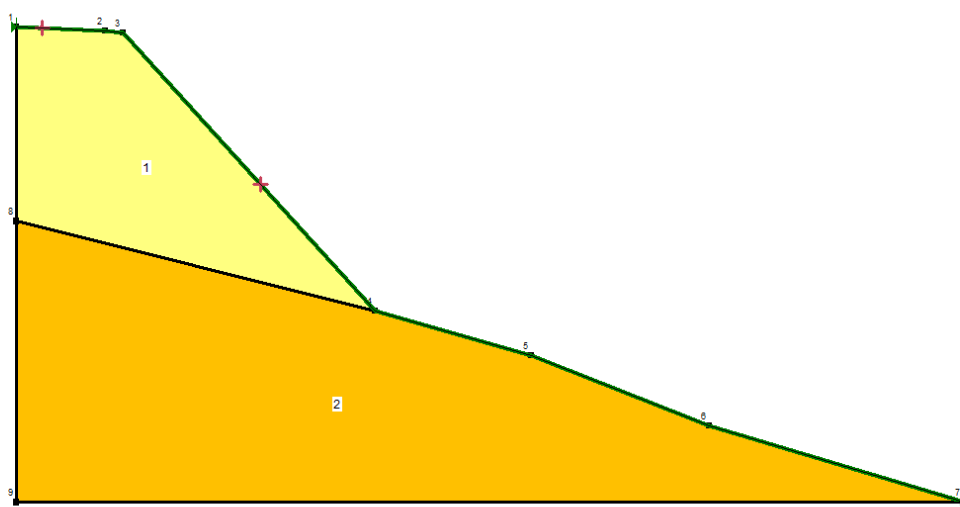
Fonte: As autoras (2023).

Figura 49 - Perfil 14 lançado no software



Fonte: As autoras (2023).

Figura 50 - Perfil 15 lançado no software



Fonte: As autoras (2023).

Possuindo os lançamentos no software iniciaram-se as tentativas para chegar ao fator de segurança igual a 1, que é o que recomenda a retroanálise, como já foi citado anteriormente, visto que o talude no momento de sua ruptura chega ao $FS = 1$. Os únicos parâmetros que foram alterados para alcançar o resultado esperado foram os do aterro, pois a superfície de ruptura ocorreu nesse material, sendo que o filito permaneceu com os parâmetros adotados conforme Tabela 12. Primeiramente foi alterado apenas a coesão para encontrar o valor de coesão em que o fator de

segurança mais se aproxima do $FS = 1$. Em seguida, com esse valor foi variado o ângulo de atrito até que fosse encontrado $FS = 1$.

Para o perfil 12, as tentativas para a coesão com $\varphi = 24^\circ$ constam na Tabela 13, sendo que a coesão adotada para o próximo passo foi a coesão de 5 kPa.

Tabela 13 – Variação de coesão no perfil 12

Peso específico (kN/m³)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	FS
17	24	10	1,333
17	24	9	1,267
17	24	8	1,201
17	24	7	1,135
17	24	6	1,062
17	24	5	0,984

Fonte: As autoras (2023)

Como próximo passo, foi variado o ângulo de atrito fixando a coesão em 5 kPa até encontrar o fator de segurança 1, conforme Tabela 14.

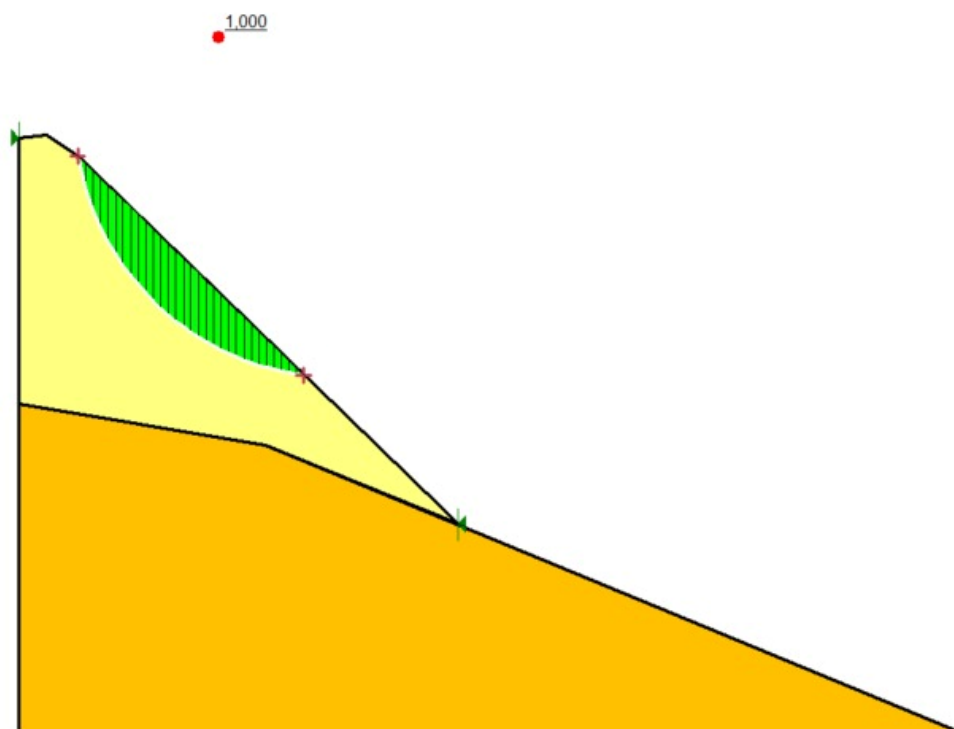
Tabela 14 - Variação de ângulo de atrito no perfil 12

Peso específico (kN/m³)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	FS
17	25	5	1,013
17	24,75	5	1,006
17	24,6	5	1,001
17	24,5	5	0,999
17	24,55	5	1,000
17	24	5	0,984

Fonte: As autoras (2023)

Desta forma foram adotados para considerar na média final os valores de coesão 5kPa e ângulo de atrito de 24,55°. A superfície de ruptura encontrada no software pode ser verificada na Figura 51.

Figura 51 - Superfície de ruptura do perfil 12 no GeoStudio



Fonte: As autoras (2023).

Para o perfil 14, as tentativas para a coesão com $\varphi = 24^\circ$ constam na Tabela 15, sendo que a coesão adotada para o próximo passo foi a coesão de 9 kPa.

Tabela 15 - Variação de coesão no perfil 14

Peso específico (kN/m ³)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	FS
17	24	10	1,031
17	24	9	0,990

Fonte: As autoras (2023)

Como próximo passo, foi variado o ângulo de atrito fixando a coesão em 9 kPa até encontrar o fator de segurança 1, conforme Tabela 16.

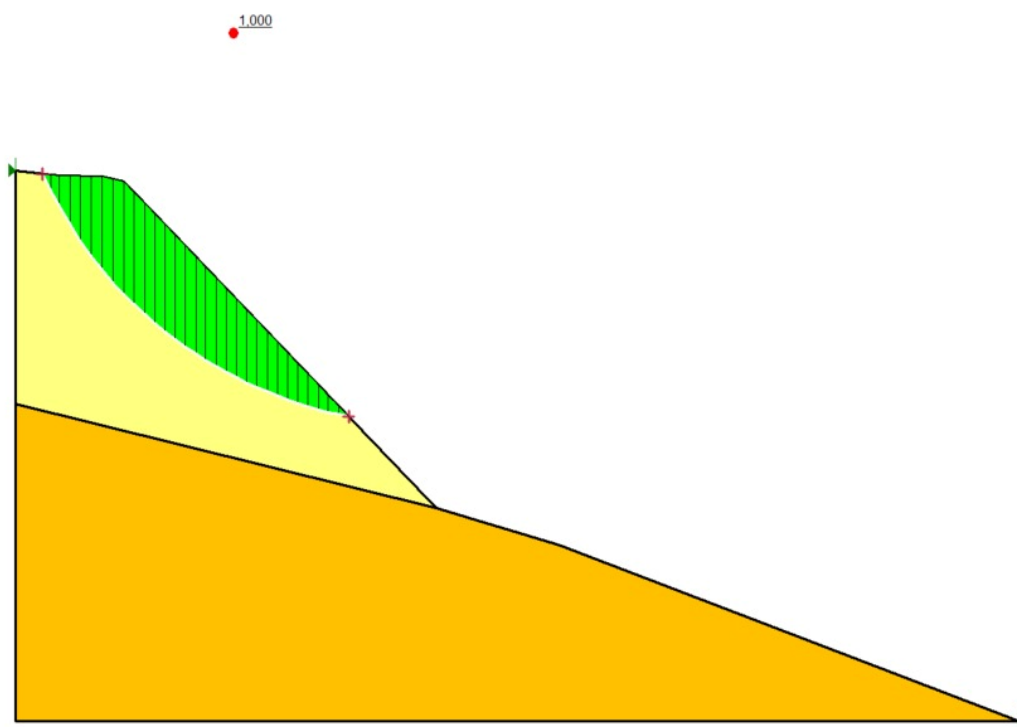
Tabela 16 - Variação de ângulo de atrito no perfil 14

Peso específico (kN/m ³)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	FS
17	25	9	1,02
17	24,5	9	1,005
17	24,35	9	1,000
17	24	9	0,99

Fonte: As autoras (2023)

Desta forma foram adotados para considerar na média final os valores de coesão de 9kPa e ângulo de atrito de 24,35°. A superfície de ruptura encontrada no software pode ser verificada na Figura 52.

Figura 52 - Superfície de ruptura do perfil 14 no GeoStudio



Fonte: As autoras (2023).

Para o perfil 15, as tentativas para a coesão com $\phi = 24^\circ$ constam na Tabela 17, sendo que a coesão adotada para o próximo passo foi a coesão de 7 kPa.

Tabela 17 - Variação de coesão no perfil 15

Peso específico (kN/m ³)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	FS
17	24	10	1,157
17	24	9	1,113
17	24	8	1,069
17	24	7	1,019
17	24	6	0,966

Fonte: As autoras (2023)

Como próximo passo, foi variado o ângulo de atrito fixando a coesão em 7 kPa até encontrar o fator de segurança 1, conforme Tabela 18.

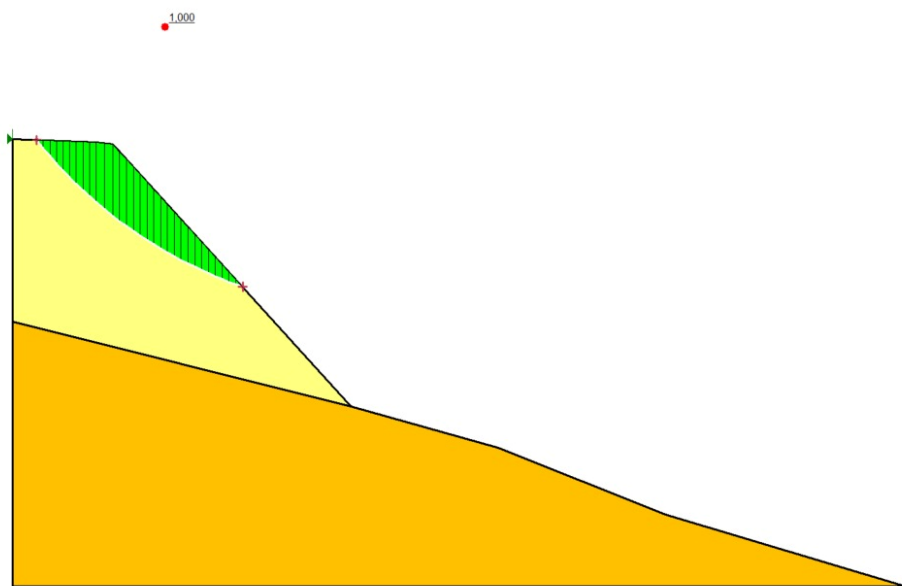
Tabela 18 - Variação de ângulo de atrito no perfil 15

Peso específico (kN/m ³)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	FS
17	24	7	1,019
17	23,5	7	1,004
17	23,4	7	1,001
17	23,35	7	1,000
17	23	7	0,989

Fonte: As autoras (2023)

Desta forma foram adotados para considerar na média final os valores de coesão de 7kPa e ângulo de atrito de 23,35°. A superfície de ruptura encontrada no software pode ser verificada na Figura 53.

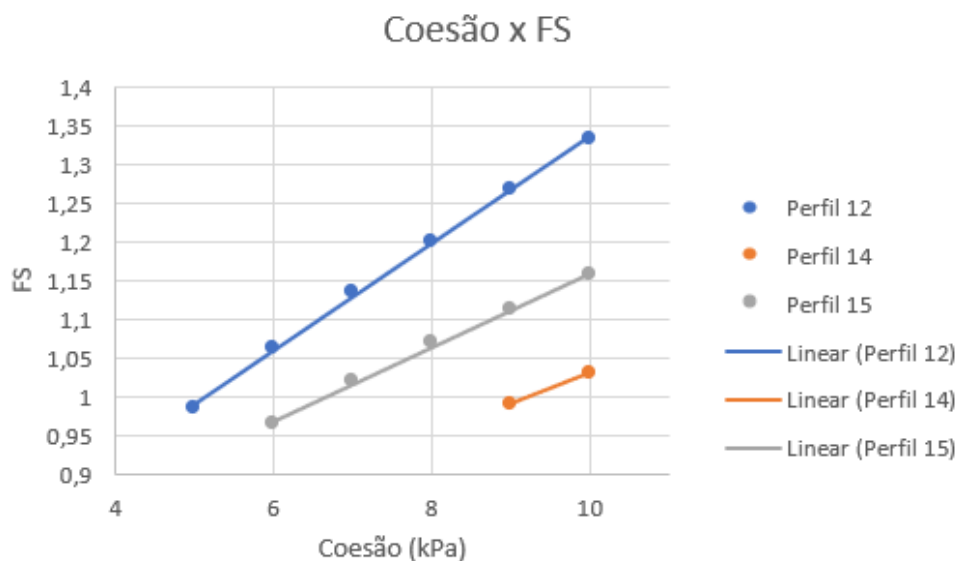
Figura 53 - Superfície de ruptura do perfil 15 no GeoStudio



Fonte: As autoras (2023).

Na Figura 54 é possível visualizar melhor as variações do fator de segurança com relação à coesão quando fixado o ângulo de atrito em 24° para os três perfis.

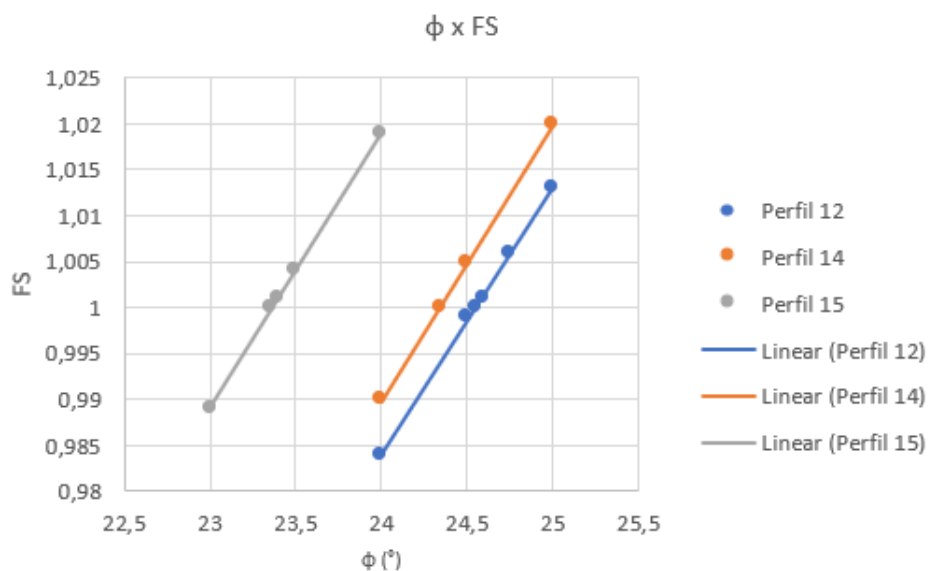
Figura 54 - Relação Coesão x FS com ângulo de atrito fixo



Fonte: As autoras (2023).

É possível verificar também na Figura 55 a variação do fator de segurança em relação ao ângulo de atrito quando fixados os valores de coesão definido inicialmente no caso de cada perfil.

Figura 55 - Relação ϕ x FS com coesão fixa



Fonte: As autoras (2023).

Desta forma, os parâmetros adotados para o aterro foram as médias dos três valores encontrados, conforme mostra a Tabela 19.

Tabela 19 - Parâmetros adotados para o aterro

Aterro					
Parâmetro	Perfil 12	Perfil 14	Perfil 15	Média	Adotado
Coesão (kPa)	5	9	7	7	7
Ângulo de atrito (°)	24,55	24,35	23,35	24,08	24
Peso específico (kN/m ³)	17	17	17	17	17

Fonte: As autoras (2023)

Na Tabela 20, é possível verificar um resumo dos parâmetros que foram adotados para seguir com os dimensionamentos da cortina de estacas atirantada e do muro de solo reforçado com geossintético.

Tabela 20 - Parâmetros de aterro e filito adotados para dimensionamento

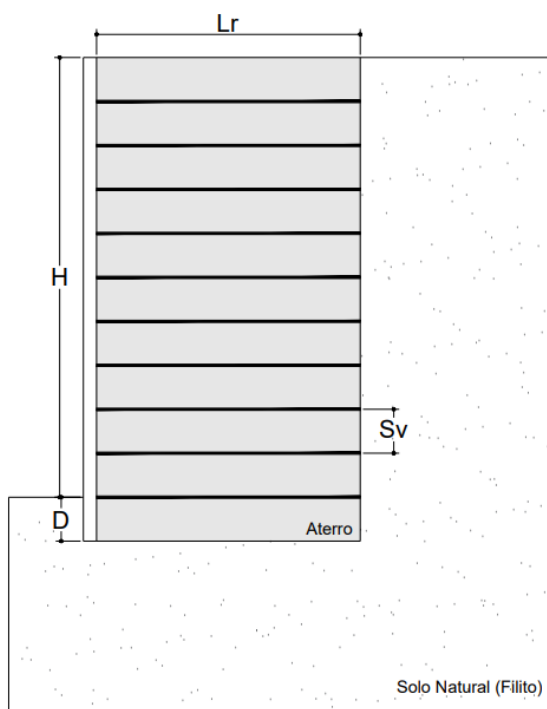
Parâmetro	Aterro	Filito
Coesão (kPa)	7	0
Ângulo de atrito (°)	24	35
Peso específico (kN/m ³)	17	20

Fonte: As autoras (2023)

4.2 DIMENSIONAMENTO DO MURO DE SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHA

São apresentados neste capítulo os valores resultantes do dimensionamento da contenção de talude do tipo muro de solo reforçado com geogrelha. A seção resultante será apresentada conforme o modelo da Figura 56, na qual L_r representa o comprimento do reforço, H a altura considerada do muro, D o embutimento do muro e S_v o espaçamento entre as camadas de reforço. Todos os valores serão apresentados em metros.

Figura 56 - Exemplo seção transversal muro de solo reforçado com geogrelha



Fonte: As Autoras (2023).

A Tabela 23 e a Tabela 24 abrangem todas as avaliações de dimensionamento, indicando o tipo de reforço necessário para satisfazer as demandas nas diferentes camadas da estrutura (usando geogrelhas do modelo STRATAGRID® fornecidas pela empresa GeoSoluções). Os reforços são identificados na planilha através da sigla nominal correspondente a cada um, conforme especificado nos catálogos (anexo A) e podem ser referenciados de acordo com a Tabela 21.

Tabela 21 – Siglas das denominações geogrelhas STRATAGRID®

Sigla	Geogrelha (STRATAGRID®)
SGi60	Geogrelha com resistência característica de 60 kN/m
SGi80	Geogrelha com resistência característica de 80 kN/m
SGi100	Geogrelha com resistência característica de 100 kN/m
SGi120	Geogrelha com resistência característica de 120 kN/m
SGi150	Geogrelha com resistência característica de 150 kN/m
SGi180	Geogrelha com resistência característica de 180 kN/m
SGi200	Geogrelha com resistência característica de 200 kN/m
SGi250	Geogrelha com resistência característica de 250 kN/m
SG300	Geogrelha com resistência característica de 300 kN/m
SGi400	Geogrelha com resistência característica de 400 kN/m

Fonte: As Autoras (2023).

Por meio do roteiro de cálculo apresentado no item 2.5.2 (Dimensionamento e segurança em estruturas de solo reforçado), as considerações indicadas no item 3 (Materiais e métodos) e os parâmetros do solo do talude antes da ruptura, foi executada uma planilha para dimensionamento da contenção de muro de solo reforçado com geogrelha no software excel.

Os dados de entrada considerados foram os expostos na Tabela 22.

Tabela 22 – Dados de entrada planilha estabilidade externa do muro de solo reforçado com geogrelha

Φ' solo fundação (°)	33
Φ' aterro (°)	24
γ solo fundação (kN/m ³)	20
γ aterro (kN/m ³)	17
q (kPa)	20
c solo fundação (kPa)	0
c aterro (kPa)	0
H (m)	20,00
Lr (m)	14,00

Fonte: As Autoras (2023).

Iniciando pela análise da estabilidade externa, com os dados de entrada obtiveram-se os seguintes resultados na Tabela 23.

Tabela 23 – Tabela resumo verificação da estabilidade externa

Estabilidade externa			
Ka =	0,271		
Ea =	1083,96 kN		
<i>Deslizamento</i>		<i>Capacidade de carga</i>	
Verificação deslizamento		σ adm=	1200,00 kN/m ²
FS calculado =	2,01	e =	1,52 m
<i>Tombamento</i>		σ máx=	434,16 kN/m ²
Mo =	7226,40 kN.m	Verificação capacidade de carga	
yE =	6,67 m	FS calculado =	2,76
Rv =	4760,00 kN	<i>Ruptura Global</i>	
Verificação tombamento		FS obtido =	1,51
Mo/Rv =	1,52 m		
Lr/6 =	2,33 m		

Fonte: As Autoras (2023).

Para as questões de estabilidade externa, pode-se perceber que utilizando o comprimento de reforço igual a 14 metros foi o suficiente para verificação positiva a

todas as análises. Inicialmente para o deslizamento, obteve-se o valor de 2,01 para o fator de segurança contra o deslizamento ao longo da base do muro (FS_d), sendo o mínimo considerado como 1,50.

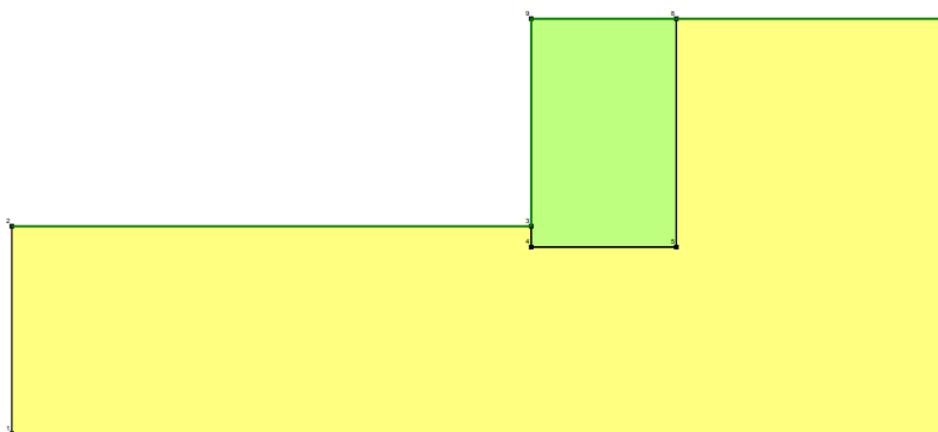
Em seguida, para assegurar a contenção contra o tombamento, a condição a ser satisfeita era de maneira que o momento atuante no muro (M_o) dividido pela resultante vertical dos esforços solicitantes externos (R_v) fosse menor ou igual ao comprimento do reforço (L_r) dividido por 6. Como observado na Tabela 23, esta condição foi atendida.

Ainda na estabilidade externa, verificou-se a ruptura do solo de fundação, também chamada de capacidade de carga. Essa análise tinha como limite o fator de segurança contra a ruptura do solo de fundação (FS_f), que deveria ser maior ou igual a 2,5. Com os dados de entrada obteve-se um FS_f igual a 2,76.

Para a última verificação da estabilidade externa do muro de solo reforçado com geotelha, o software GeoStudio 2023 foi utilizado.

Com os dados de entrada, elaborou-se um perfil conforme demonstrado na Figura 57.

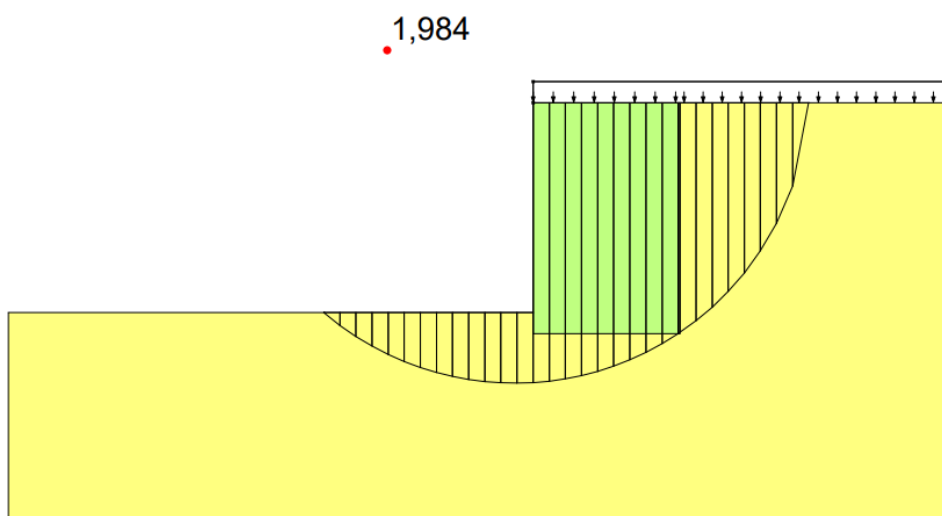
Figura 57 – Perfil com dados do solo de fundação e solo aterrado



Fonte: As Autoras (2023).

Considerando o talude apenas com o solo aterrado, e com a sobrecarga de 20 kPa teria um fator de segurança contra ruptura do solo de fundação de valor igual a 1,984 – demonstrado na Figura 58. Como exposto anteriormente, para condições críticas o valor de FS_g tem como especificação o valor maior ou igual a 1,5.

Figura 58 – Fator de segurança contra ruptura



Fonte: As Autoras (2023).

Finalizada a etapa de análise da estabilidade externa do talude, seguiu para as verificações referentes à estabilidade interna da estrutura do solo reforçado com geogrelha. Como especificado no item 2.5.2.6, para a análise interna de estabilidade são avaliados dois fatores: a ruptura de reforço e o arrancamento de reforço.

Os dados de entrada considerados foram os expostos na Tabela 24.

Tabela 24 - Dados de entrada planilha estabilidade interna do muro de solo reforçado com geogrelha

D (m)	2,00
H (m)	20,00
'Sv adotado (m)	0,80
H + D (m)	22,00
γ aterro (kN/m ³)	17
q (kPa)	20
Ka	0,271
c (kPa)	0
c aterro (kPa)	0
Lr (m)	14,00
Φ' aterro (°)	24

Fonte: As Autoras (2023).

O estudo da ruptura de reforço considera cada camada de reforço como independente. Assim obteve-se o resumo como exposto na Tabela 25 para todas as camadas.

Tabela 25 – Tabela resumo verificação ruptura de reforço

Camada	z(m)	T_{adm} (kN/m)	$T_{m\acute{a}x}$ (kN/m)	Geogrelha (STRATAGRID®)	FS_r
1	22,00	96,26	318,37	SGi400	1,26
2	21,20	96,26	318,37		1,26
3	20,40	92,79	306,89		1,30
4	19,60	89,32	295,42	SGi300	1,02
5	18,80	85,85	283,95		1,06
6	18,00	82,38	272,48		1,10
7	17,20	78,91	261,00		1,15
8	16,40	75,44	249,53	SGi250	1,00
9	15,60	71,97	238,06		1,05
10	14,80	68,51	226,58		1,10
11	14,00	65,04	215,11		1,16
12	13,20	61,57	203,64	SGi200	1,23
13	12,40	58,10	192,17		1,04
14	11,60	54,63	180,69		1,11
15	10,80	51,16	169,22	SGi180	1,06
16	10,00	47,69	157,75		1,14
17	9,20	44,23	146,28	SGi150	1,03
18	8,40	40,76	134,80		1,11
19	7,60	37,29	123,33		1,22
20	6,80	33,82	111,86	SGi120	1,07
21	6,00	30,35	100,39		1,20
22	5,20	26,88	88,91	SGi100	1,12
23	4,40	23,41	77,44	SGi80	1,03
24	3,60	19,94	65,97		1,21
25	2,80	16,48	54,50	SGi60	1,10
26	2,00	13,01	43,02		1,39
27	1,20	9,54	31,55		1,90
28	0,40	9,54	31,55		1,90

Fonte: As Autoras (2023).

Como apresentado, os valores do fator de segurança contra a ruptura de reforço (FS_r) para todas as camadas apresentam valores acima de 1,0 – o mínimo valor admitido.

Com o objetivo de evitar desperdícios na obra, optou-se pelo uso de apenas 6 tipos de geogrelha, conforme exemplificado na Tabela 26. Tal escolha pode ser feita pelo projetista, devendo respeitar o fator de segurança contra a ruptura de reforço de valor maior ou igual a 1,0.

Tabela 26 - Tabela resumo verificação ruptura de reforço com 6 tipos de geogrelha

Camada	z(m)	$T_{m\acute{a}x}$ (kN/m)	Geogrelha (STRATAGRID®)	FS_r
1	22,00	318,37	SGi400	1,26
2	21,20	318,37		1,26
3	20,40	306,89		1,30
4	19,60	295,42	SGi300	1,02
5	18,80	283,95		1,06
6	18,00	272,48		1,10
7	17,20	261,00		1,15
8	16,40	249,53	SGi250	1,00
9	15,60	238,06		1,05
10	14,80	226,58		1,10
11	14,00	215,11		1,16
12	13,20	203,64		1,23
13	12,40	192,17		1,30
14	11,60	180,69		1,38
15	10,80	169,22	SGi200	1,48
16	10,00	157,75		1,27
17	9,20	146,28		1,37
18	8,40	134,80		1,48
19	7,60	123,33		1,62
20	6,80	111,86		1,79
21	6,00	100,39	SGi100	1,99
22	5,20	88,91		1,12
23	4,40	77,44		1,29
24	3,60	65,97		1,52
25	2,80	54,50	SGi60	1,84
26	2,00	43,02		1,39
27	1,20	31,55		1,90
28	0,40	31,55		1,90

Fonte: As Autoras (2023).

A última verificação a ser realizada é a do arrancamento de reforço, com a finalidade de determinar o comprimento total da geogrelha. Dessa forma, elaborou-se a Tabela 27 como resumo para revisão do arrancamento de reforço.

Tabela 27 - Tabela resumo verificação arrancamento de reforço

Camada	$z(m)$	$L_a(m)$	$T_{arr} (kN/m)$	FS_{ar}
1	22,00	14,00	4921,96	50,56
2	21,20	14,00	4742,98	48,73
3	20,40	14,00	4403,57	46,91
4	19,60	13,74	4076,73	45,10
5	18,80	13,22	3762,48	43,28
6	18,00	12,70	3460,82	41,46
7	17,20	12,18	3171,74	39,65
8	16,40	11,66	2895,24	37,83
9	15,60	11,14	2631,32	36,02
10	14,80	10,62	2379,99	34,20
11	14,00	10,10	2141,23	32,38
12	13,20	9,58	1915,07	30,57
13	12,40	9,06	1701,48	28,75
14	11,60	8,54	1500,48	26,93
15	10,80	8,03	1312,06	25,11
16	10,00	7,51	1136,23	23,29
17	9,20	6,99	972,98	21,47
18	8,40	6,47	822,31	19,65
19	7,60	5,95	684,22	17,83
20	6,80	5,43	558,72	16,01
21	6,00	4,91	445,80	14,18
22	5,20	4,39	345,47	12,35
23	4,40	3,87	257,72	10,52
24	3,60	3,35	182,55	8,68
25	2,80	2,83	119,96	6,83
26	2,00	2,31	69,96	4,96
27	1,20	1,79	32,54	3,06
28	0,40	1,79	32,54	3,06

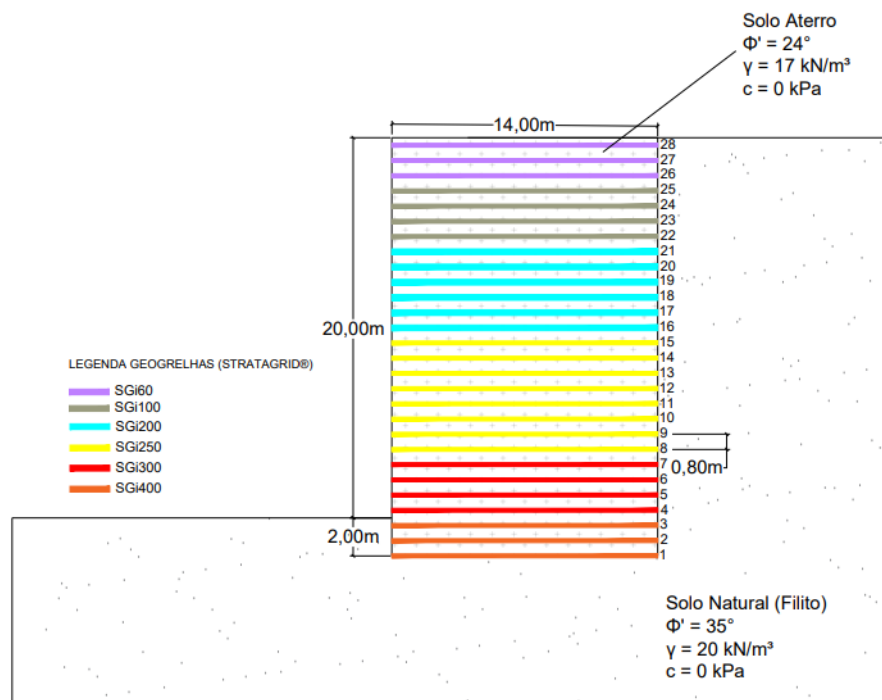
Fonte: As Autoras (2023).

Como observado, para todas as camadas o fator de segurança contra o arrancamento do reforço (FS_{ar}) de todas as camadas possui valor maior que o mínimo (1,5). Para chegar nesse resultado, na camada 28 foram considerados os mesmos valores de comprimento de ancoragem do reforço da camada 27 e assim o mesmo valor de resistência ao arrancamento. Caso não considerássemos dessa maneira, o valor do FS_{ar} da 28ª camada seria menor que o valor mínimo. Por esse motivo optou-se por segurança que as últimas 3 camadas (26, 27 e 28) fossem reforçadas com a geogrelha SGI60 (mostrado na Tabela 26), para que não houvesse a possibilidade de arrancamento do reforço. Além disso, nas camadas 1, 2 e 3 o

valor do comprimento de ancoragem (L_a) foi considerado como 14 metros, visto que a superfície de ruptura adotada passaria além dos 14 metros de comprimento de reforço.

Assim, após todas as verificações requeridas e revisadas para o muro de solo reforçado com geogrelha, obteve-se a seção transversal para o talude estudado conforme Figura 59.

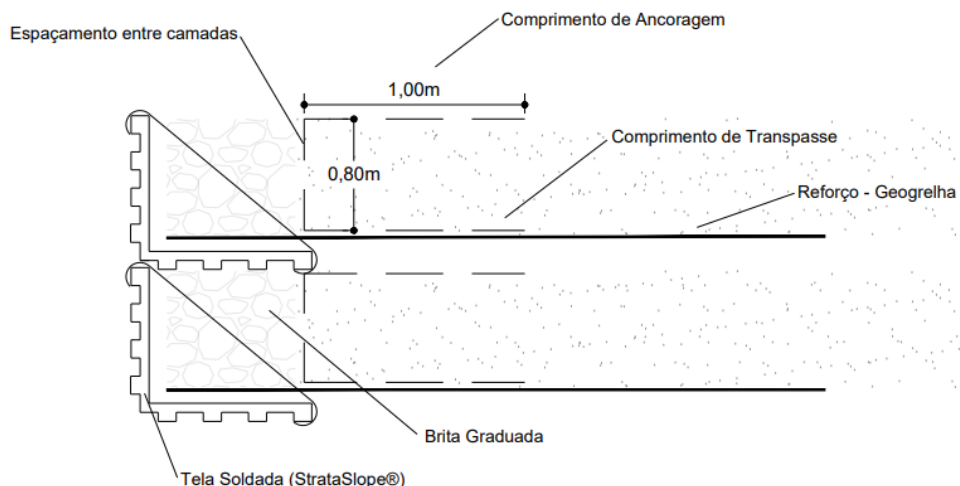
Figura 59 - Seção transversal obtida muro de solo reforçado com geogrelha



Fonte: As Autoras (2023).

Em relação ao faceamento pelo StrataSlope®, o comprimento de ancoragem adotado corresponde à soma de 1,00 metro de sobreposição localizado acima da área de reforço dimensionada, juntamente com o espaçamento vertical entre as camadas de reforço ($S_v = 0,80 \text{ m}$). Além disso, há um comprimento adicional de 1,00 metro na parte superior da camada, totalizando um comprimento de ancoragem de 2,80 metros, conforme ilustrado na Figura 60.

Figura 60 - Comprimentos utilizados no faceamento do muro com StrataSlope®

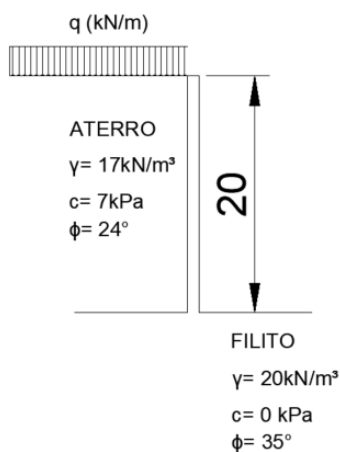


Fonte: As autoras (2023).

4.3 DIMENSIONAMENTO DE CORTINA ATIRANTADA

Conforme definido na retroanálise, os parâmetros adotados para os solos constam na Tabela 20 e serão utilizados para o cálculo do dimensionamento, conforme está esquematizado na Figura 61.

Figura 61 - Parâmetros de cálculo para cortina com ponto de ancoragem



Fonte: As autoras (2023)

Para iniciar o dimensionamento, encontraram-se os coeficientes de empuxo, que conforme o exposto no tópico 2.4.3, foram calculados através do método de Rankine (1856) e utilizando os dados da Tabela 28.

Tabela 28 - Parâmetros para o estado ativo e passivo

Estado ativo	
γ (kN/m ³)	17
c (kPa)	7
φ (°)	24
q (kN)	20
Estado passivo	
γ (kN/m ³)	20
c (kPa)	0
φ (°)	35
q (kN)	0

Fonte: As autoras (2023)

A sobrecarga adotada para o estado ativo considera a construção do condomínio acima do talude e o valor citado por Hachich (1996) do intervalo de 25 kN a 40kN para obras permanentes.

Conforme definido pelas equações 3 e 4, foram definidos os valores de coeficiente ativo (K_a) e passivo (K_p), que foram respectivamente 0,422 e 3,69.

Depois então, foi realizado o cálculo da distância x , que é a distância entre o ponto de inflexão (I) e o nível de escavação e foi realizado a partir do que citado na Tabela 5, que considerando o ângulo de atrito de 35°, conforme Tabela 28, foi definido segundo a Equação 31.

$$x = 0,03 (H) \quad \text{Equação 31}$$

Como a altura da estrutura é de 20 metros (H), o valor de x encontrado foi de 0,60 metros. Com essa distância, foi possível calcular os valores de pressões horizontais no ponto de inflexão a partir da Equação 5 para as pressões ativas e da Equação 6 para as pressões passivas.

Primeiramente, calculou-se a pressão horizontal passiva ocasionada pelo ângulo de atrito ($\sigma_p, \varphi_{h,i}$) através da primeira parcela da Equação 6:

No estado passivo, houve somente esta pressão horizontal, visto que a sobrecarga (q) é aplicada na região do estado ativo e a coesão do solo do estado passivo é 0kPa.

Em seguida, calculou-se a parcela da pressão horizontal ativa ocasionada pela coesão e ângulo de atrito no ponto I ($\sigma_{a_{h,i}}$), a partir da Equação 5.

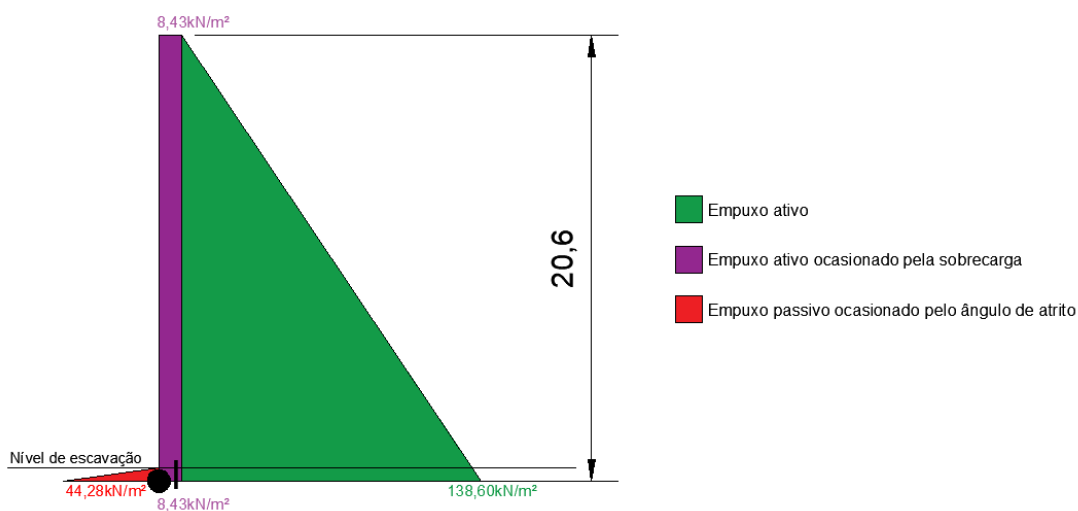
Por último, calculou-se a parcela da pressão horizontal devido à ação da sobrecarga ($\sigma_{q_{h,i}}$), utilizando a Equação 5. Os resumos dos resultados de pressões constam na Tabela 29.

Tabela 29 - Resumo de pressões horizontais

PRESSÕES HORIZONTAIS (kN/m²)	
PASSIVO	
$\sigma_{p,\varphi_{h,i}}$	44,28
ATIVO	
$\sigma_{a_{h,i}}$	138,60
SOBRECARGA	
$\sigma_{q_{h,i}}$	8,43

A partir disto, foi possível calcular os empuxos conforme a teoria de Rankine (1856), realizando o cálculo de áreas no diagrama (Figura 62) das pressões horizontais laterais acima do ponto I (viga equivalente superior).

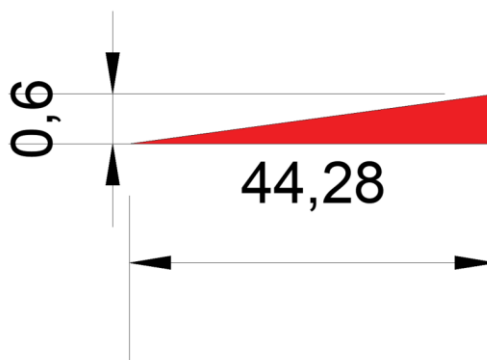
Figura 62 - Diagrama de pressões horizontais acima do ponto I



Fonte: As autoras (2023).

Primeiramente, calculou-se o empuxo passivo devido ao ângulo de atrito, a partir da área que consta na Figura 63.

Figura 63 - Empuxo passivo ocasionado pelo ângulo de atrito

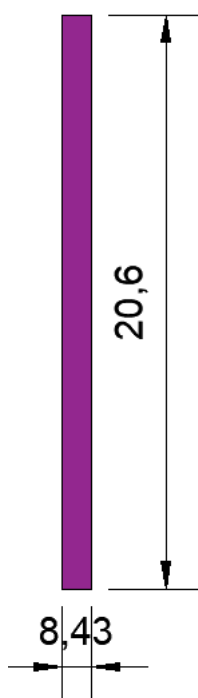


Fonte: As autoras (2023).

Por tratar-se de um valor que depende da profundidade (z), ele varia conforme a profundidade aumenta, desta forma apresenta-se em forma triangular, então calculou-se a área de um triângulo com base de 44,28 kN/m^2 e altura de 0,6m, totalizando um empuxo passivo de 13,28 kN/m .

Em seguida, calculou-se o empuxo ativo ocasionado pela sobrecarga, que fica constante em todo o comprimento, logo foi calculado como um retângulo (Figura 64).

Figura 64 - Empuxo ativo ocasionado pela sobrecarga

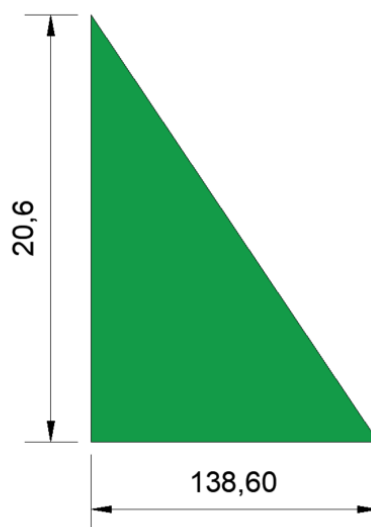


Fonte: As autoras (2023).

Como sua base é $8,43 \text{ kN/m}^2$ e sua altura é $20,6 \text{ m}$ (a altura da estrutura mais a distância x), o empuxo encontrado foi de $173,75 \text{ kN/m}$.

Por último, foi calculado o empuxo ativo que também varia conforme a profundidade aumenta. Desta forma, foi calculada uma área triangular conforme ilustrado na Figura 65.

Figura 65 - Empuxo ativo



Fonte: As autoras (2023).

Como a base é $138,60 \text{ kN/m}^2$ e a altura é $20,6 \text{ m}$, o empuxo ativo encontrado foi $1.427,56 \text{ kN/m}$.

É possível verificar um resumo dos resultados de empuxo na Tabela 30.

Tabela 30 - Empuxos encontrados na viga equivalente superior

$E_{p,\phi,i}$ (kN/m)	$13,28 \text{ kN/m}^2$
$E_{p,c,i}$ (kN/m)	0 kN/m^2
$E_{a,i}$ (kN/m)	$1.427,56 \text{ kN/m}^2$
$E_{q,i}$ (kN/m)	$173,75 \text{ kN/m}^2$

Fonte: As autoras (2023).

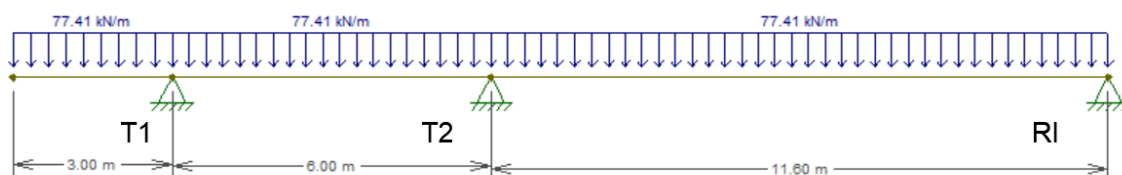
Como citado no tópico 2.4.3, no caso de estruturas com mais de um nível de ancoragem os empuxos são alterados a partir da Equação 7. Resultando em um empuxo resultante de $1.490,92 \text{ kN/m}$. A partir disso, retificou-se a pressão horizontal causada pelos empuxos ativo e passivo através da Equação 8, considerando $H = 20 \text{ m}$ e $x = 0,6 \text{ m}$ e o resultado obtido foi de $68,98 \text{ kN/m}^2$.

Com esses dados encontrados, foi possível lançá-los no software Ftool para encontrar as reações nos tirantes instalados e no ponto I, sendo que a carga

distribuída aplicada na viga foi o somatório de σrh com $\sigma_{q_{h,i}}$ (8,43 kN/m²), totalizando 77,41 kN/m².

Primeiramente, foram encontradas as reações para o caso 1, em que a estrutura conta com dois níveis de ancoragem, sendo as reações: T1, T2 e RI. A viga foi lançada no software conforme mostra a Figura 66.

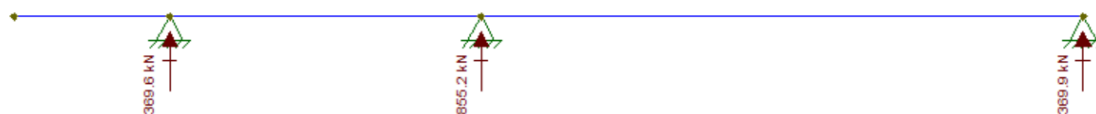
Figura 66 - Viga equivalente para dois níveis de ancoragem



Fonte: As autoras (2023).

As reações encontradas constam na Figura 67, sendo que T1 é a reação no tirante 1, T2 é a reação no tirante 2 e RI é a reação no ponto de inflexão.

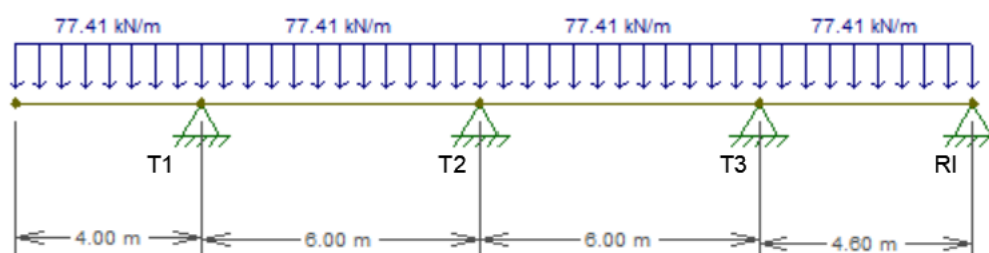
Figura 67 - Reações encontradas na viga equivalente para dois níveis de ancoragem



Fonte: As autoras

Em seguida, foi lançado no software o caso 2 em que há 3 níveis de ancoragem, conforme Figura 68.

Figura 68 - Viga equivalente superior para três níveis de ancoragem



Fonte: As autoras (2023).

As reações encontradas constam na Figura 69, sendo que T1 é a reação no tirante 1, T2 é a reação no tirante 2, T3 é a reação no tirante 3 e RI é a reação no ponto de inflexão.

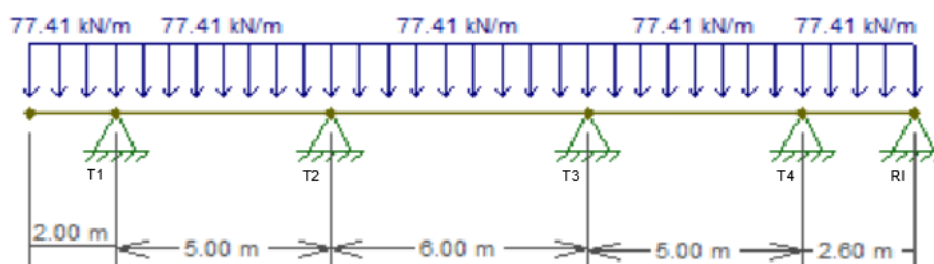
Figura 69 - Reações encontradas na viga equivalente para três níveis de ancoragem



Fonte: As autoras (2023).

Em seguida, foi lançado no software o caso 3, em que a estrutura possui 4 níveis de ancoragem, conforme Figura 70.

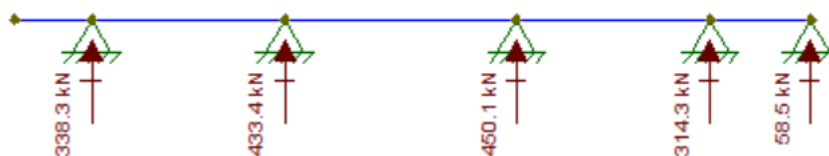
Figura 70 - Viga equivalente superior para quatro níveis de ancoragem



Fonte: As autoras (2023).

As reações encontradas constam na Figura 71, sendo que T1 é a reação no tirante 1, T2 é a reação no tirante 2, T3 é a reação no tirante 3, T4 é a reação no tirante 4 e RI é a reação no ponto de inflexão.

Figura 71 - Reações encontradas na viga equivalente para quatro níveis de ancoragem



Fonte: As autoras (2023).

O resumo das reações encontradas consta na Tabela 31.

Tabela 31 - Reações encontradas para cada caso.

Reação	Caso 1	Caso 2	Caso 3
T1 (kN)	369,6	632,2	338,3
T2 (kN)	855,2	363,5	433,4
T3 (kN)	-	484	450,1
T4(kN)	-	-	314,3
RI (kN)	369,9	123,9	58,5

Fonte: As autoras (2023)

Possuindo a reação no ponto I (RI), foi calculada o valor de ficha mínima a partir da viga equivalente inferior para cada caso. Foram adotados valores de ficha como profundidade a partir de 0,60 m (distância X), calculados seus empuxos e momentos até que o fator de segurança resultasse em 2.

O primeiro valor de d_0 (ficha mínima) que o fator de segurança resultou em 2 foi adotado como valor de ficha, acrescido de 20%.

A partir das fichas mínimas, foram calculadas as pressões horizontais (passivo, ativo e de sobrecarga) para determinada profundidade, a partir delas então encontraram-se os empuxos, que possibilitaram os cálculos de momentos solicitantes e resistentes, fornecendo então o fator de segurança.

Esses cálculos foram realizados através das planilhas no ANEXO B, C e D. Os resultados encontrados são resumidos na Tabela 32.

Tabela 32 - Fichas mínimas encontradas para cada caso

Caso	Níveis De Ancoragem	d_0 (M)	d (M)	H_{total} (M)	FS
1	2	17,3	20,42	40,52	2,010
2	3	14,6	17,16	37,16	2,002
3	4	13,6	16,08	36,08	2,002

Fonte: As autoras (2023).

Onde:

d_0 é a ficha mínima;

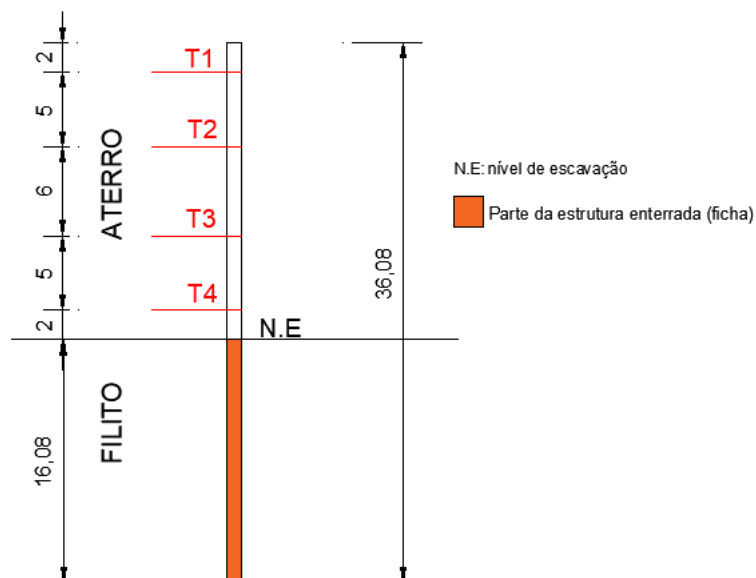
d é a ficha adotada acrescida de 20%;

H total é a altura total da estrutura considerando a ficha.

Avaliando-se os três casos avaliados, é possível notar que o mais adequado seria adotar a instalação de 4 tirantes, visto que a ficha da estrutura ficaria menor nesta situação, diminuindo a altura total da cortina e tornando-a mais viável em

comparação aos outros casos. Para melhor visualizar uma ideia inicial da estrutura, na Figura 72 é possível verificar o corte da estrutura dimensionada.

Figura 72 - Cortina atirantada em corte



Fonte: As autoras (2023).

Considerando que a altura total de 36,32 metros ficou elevada, principalmente em comparação com a solução em muro de solo reforçado com geossintético, é possível refletir sobre a viabilidade da aplicação da estrutura de cortina atirantada neste caso estudado. Mesmo sendo uma solução segura, ela pode apresentar alto custo e demora na execução, como citado anteriormente no tópico 2.4. No caso específico deste trabalho, por apresentar uma elevada ficha mínima, esses fatores podem ser ainda mais impactantes para a realização da obra.

5 CONCLUSÃO

Conforme citado nas justificativas do trabalho, os deslizamentos são altamente prejudiciais para a sociedade. Com o estudo realizado com base em um talude que já sofreu a ruptura, pôde-se concluir que é essencial conhecer os parâmetros de um solo, os riscos da região e as diversas possibilidades de estrutura de contenção antes de realizar uma obra definitivamente.

Para estudar esse tipo de caso, no atual estudo foi realizada a definição do perfil geológico-geotécnico da região, em que pôde-se notar a necessidade de sondagens adequadas e bem localizadas para a realização satisfatória dele. Em seguida, foram estimados parâmetros para a realização da retroanálise a partir das correlações de Joppert (2007) e foi possível verificar que esse procedimento foi satisfatório para definir os parâmetros para os dimensionamentos a serem realizados.

Sobre as soluções de contenção estudadas no presente trabalho, a primeira, referente ao muro de solo reforçado com geossintético foi dimensionada considerando a situação mais crítica quanto a altura. Para o dimensionamento, foram levados em conta os parâmetros do solo do próprio aterro executado antes do rompimento como solo a ser reforçado, mostrando que seria possível a adição do geossintético antes da ruptura. Além disso, como citado anteriormente, por questões de segurança a coesão do solo de aterro foi desconsiderada.

Ainda sobre o muro de solo reforçado, adotaram-se as geogrelhas como reforço visto que as trações resultantes a serem resistidas foram de alto valor. Com o menor comprimento de reforço permitido, todas as verificações de estabilidade externa e interna foram verificadas positivamente.

Referente ao faceamento, adotou-se a tela soldada combinada com brita graduada para evitar desgaste das geogrelhas utilizadas. Essa opção acarreta em um custo maior no início da obra, porém aumenta a vida útil das geogrelhas a longo prazo.

Quanto ao dimensionamento da cortina atirantada, a altura da ficha encontrada para os três casos estudados foi elevada. Possivelmente essa altura elevada se deve ao fato do aterro a ser contido apresentar uma grande dimensão. Além disso o empuxo ativo, cujo valor encontrado também foi elevado, foi diretamente considerado na ficha dimensionada, aumentando sua altura.

Dentre os valores encontrados para a cortina atirantada, o mais viável seria o caso 3, em que há quatro níveis de ancoragem, pois foi o caso que apresentou o menor valor de ficha mínima, porém mesmo sendo o menor valor, ainda se apresenta muito elevado.

Como citado na revisão bibliográfica, a cortina trata-se de uma estrutura de contenção de custo elevado e execução complexa, logo, tendo outras possibilidades de estrutura de contenção para a obra a ser realizada, concluiu-se que a cortina atirantada não deve ser a primeira opção, inclusive para uma obra que exige uma estrutura com dimensão elevada.

Como esse trabalho trata-se de uma análise preliminar do caso em estudo, inicialmente concluiu-se que dentre as soluções apresentadas, a mais viável seria o muro de solo reforçado com geogrelha, devido à sua menor dimensão, porém são diversos fatores que podem influenciar na decisão final e que devem ser avaliados minuciosamente, principalmente considerando que o talude em estudo possui elevada altura e está em uma área habitada que exige uma grande segurança.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, V. R. **Ensaio de rampa para estudo da resistência de interfaces solo-geossintético**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- ANTUNES, F. R. P.; AMARAL, R. C. **Projeto e execução de parede diafragma atirantada**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO 10318** Geossintéticos – Termos e definições. São Paulo, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5629**: Execução de Tirantes Ancorados no Terreno. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 19286** Muros em solo mecanicamente estabilizados – Especificação. Rio de Janeiro, 2016.
- BARBOSA, J. P. N. **Alternativas para estabilização preventiva de de um talude em zona urbana na cidade de Palmas, Tocantins**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Uniuersitário Luterano de Palmas, Palmas, 2019.
- BISHOP, A. W. **The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes**, Geotéchnique. 1955.
- BERG, R. R.; CHRISTOPHER, B. R.; SAMTANI, N. C., **Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I**. Publication No. FHWA-NHI-10-024 FHWA GEC 011, U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2009.
- BIBLIOCAD. **Mapa do estado do Paraná**. Disponível em: https://www.bibliocad.com/pt/biblioteca/mapa-do-estado-do-parana-brasil_31650/. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- BONADEU, F.A & SANTOS, A.A.dos. **RETROANÁLISE DE MASSA DE TALUDE DE SOLO – ESTUDO DE CASO**. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.
- BONATTO, J. **Tipos de estruturas de contenção**. Notas de aula, 2015.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7 ed. Editora Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, vol. 1,2,3, 2016.

CARDOSO, F.F. **Sistemas de Contenção**. 2002. Escola Politécnica da Cidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CECCONI, A. **Avaliação mecânica de um solo reforçado com geogrelha**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

COSTA, A.F.da. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DO SOLO COM APLICAÇÃO NA ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDE DA CE-356**. Universidade Federal do Ceará, Russas, 2021.

DAS, B. M. **Fundamentos da engenharia geotécnica**. Tradução da 6ª ed. americana. São Paulo: Thomson Editora, 2007. 559p.

DIAS, F.B. **AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DE BARRAGEM ALTEADA PELO MÉTODO DE MONTANTE POR DIFERENTES METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE FATOR DE SEGURANÇA: COMPARAÇÃO DETERMINÍSTICA**. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

DOMINGUES, P. C. **Indicações para projeto de muros de arrimo em concreto armado**. 1997.

DUNCAN, J.M.; WRIGHT, S.G. **Soil Strength and Slope Stability**. John Wiley & Sons, 2005.

DUNCAN, J.M.; WRIGHT, S.G. **The accuracy of equilibrium methods of slope stability analysis**. Engineering Geology. 1980.

DUTRA, V. A. S. **Projeto de Estabilização de Taludes e Estruturas de Contenção englobando Dimensionamento Geotécnico e Estrutural**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2013.

EHRlich, M.; BECKER, L. **Muros e taludes de solo reforçado**. São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2009. 126p.

ELIAS, V.; CHRISTOPHER, B. R.; BERG, R.R. **Mechanically stabilized Earth walls and reinforced soil slopes – design and construction guidelines**. Washington, n. FHWA-NHI-00-043M p. 394, 2001.

FELLENIUS, W. **Stability analysis of earth slopes and retaining walls considering both friction and cohesion and assuming cylindrical sliding surfaces**. Ernst. 1927

FERRANDIN, E. R. **ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE CORTINAS DE ESTACAS MOLDADAS NO LOCAL**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2012.

FERREIRA, J.L.F. **Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Janbu e Spencer**. Universidade do Porto, Porto, 2012.

FIAMONCINI, C. M. **Estabilização de talude através da técnica de cortina atirantada**: estudo de caso. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

FREITAS, Marco António Coelho. **Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Morgenstern-Price e Correia**. Universidade do Porto, Porto, 2011.

Manual técnico de encostas: ancoragens e grampos. Rio de Janeiro, 2014. v. 4 GEO-RIO, Fundação Instituto Geotécnica. Manual de Técnico de Encostas Volumes I e II. 2014.

GEOSCAN. **ESTABILIDADE DE TALUDES: ENTENDA MAIS SOBRE**. Maio de 2021. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/blog/estabilidade-de-taludes/>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

GEOSOLUÇÕES. Disponível em: <https://www.geosolucoes.com/strataslope-system>. Acesso em: 29 de outubro. 2023.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de taludes**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GERSCOVICH, D. M. S.; DANZINGER, B. R.; SARAMAGO, R. **Contenções**: teoria e aplicações em obras. Oficina de Textos. 2ª ed. São Paulo, 2016

GONÇALVES, J. F. **Estudo Numérico do Comportamento de Muros de Solo Reforçado com Geossintético**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil para obtenção de Mestrado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GONZALEZ, F. **Cortina de estacas é o tipo de contenção ideal para sua obra?**. 2020. Disponível em: <https://fabriciogonzalez.com.br/blog-cortina-de-estacas-para-contencoes>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

HACHICH, Waldemar et al. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1996.

HASHIZUME, S. H. **Caracterização técnica e indicadores de custos de sistemas de contenção do solo na construção de edifícios**. 2006.

JANBU, N. **Applications of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis**. In **Proceedings of the European Conference on the Stability of Earth Slopes**, Stockholm, 1954.

JOPPERT JÚNIOR, I. **Fundações e contenções de edifícios**. São Paulo. 2007.

LAZARTE, C.A. et al. **Soil Nail Walls - Reference Manual**. **Geotechnical Engineering Circular no. 7, Report nº FHWA-NHI-14-007**. Washington, 2015. 425p.

MACHADO, S.M.; MACHADO, M.D.F. **Mecânica dos solos II: conceitos introdutórios**. Salvador, 1997.

MARCANTE, G.P. **CONTENÇÃO DE TALUDES RODOVIÁRIOS EM SITUAÇÕES EMERGENCIAIS ESTUDO DE CASO BR-282/SC**. Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.

MARQUES, J. et al. Brasil tem quase 4 mil mortes por deslizamentos de terra. **Terra**, 22 fev. 2022. Disponível em: [https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/brasil-tem-quase-4-mil-mortes-por-deslizamentos-de-terra,43b8e0c71f1d32c1a69b88fbcc4b0ede40xtezym.html#:~:text=Quase%204%20mil%20pessoas%20j%C3%A1,de%20Pesquisas%20Tecnol%C3%B3gicas%20\(IPT\)](https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/brasil-tem-quase-4-mil-mortes-por-deslizamentos-de-terra,43b8e0c71f1d32c1a69b88fbcc4b0ede40xtezym.html#:~:text=Quase%204%20mil%20pessoas%20j%C3%A1,de%20Pesquisas%20Tecnol%C3%B3gicas%20(IPT).). Acesso em: 16 de novembro de 2022.

MAZON, A.L.; SOUZA, M.P.de. **DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSINTÉTICOS**. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

MEDEIROS, A. G. B. **Análise numérica de estruturas de contenção em balanço e grampeadas do tipo “estaca justaposta” assentes em solo poroso do DF**. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MEIRELES, A.B; MARTINS, J.G. **Fundações e Contenção Lateral de Solos: Execução de Cortinas de Estacas**. 1 ed. 2006.

MELLO, V. F. B. **Deformações como base fundamental de escolha de fundação**. Geotecnia, SPG, nº 12, 1975.

MIKOS, A. P. *et al.* **Estudo das manifestações patológicas em solo grampeado e cortina atirantada**. Revista técnico-científica do CREA, Paraná. Edição especial 2º SPPC. Disponível em: <<https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/309>>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

MITCHELL, J.K.; VILLET, W.C.B. **Reinforcement of earth slopes and embankments. National Cooperative Highway Research Program Report**. n. 290, 1987.

MONTEIRO, F. G. **Parede diafragma atirantada e moldada in loco**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2009.

MORGENSTERN, N.R., PRICE, V.E. **The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces**. Géotechnique, 1965.

Morgenstern-Price. **Fine Civil Engineering Software**. 2019. Disponível em: <<https://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/morgenstern-price-01/>>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

NESPOLI, G. H.; NETO, O. M. de M.; TAKANO, R. H. **Emprego de parede-diafragma como contenção do subsolo**. In: Congresso Nacional de Iniciação Científica. 2014. Disponível em: <https://conic-semesp.org.br/anais/files/2014/trabalho-1000016705.pdf> . Acesso em: 12 de maio de 2023.

NETO, J. O. A.; HAYASHIDA E. M. **Alternativa de faceamento para contenções em solo reforçado com geossintéticos compostos por tela metálica e brita**. São Paulo, 2013.

OLIVEIRA, L. P. A. V. de. **Estudo da relaxação de tensões nos reforços em geogrelha de um muro de solo reforçado**. Projeto (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

PAIVA, C. T. **ESTUDO DE CASO DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES EM ÁREA URBANA COM ESTRUTURAS MISTAS DE SOLO GRAMPEADO E CORTINA ATIRANTADA**. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

PAIVA, S.de. **ESTUDO DE CASO: CONTENÇÃO DE TALUDE POR CORTINA ATIRANTADA**. Faculdade Integradas de Caratinga, Caratinga, 2016.

Parede Diafragma moldada “in loco”. **FUNDESP**. 2009. Disponível em: <https://fundesp.com.br/parede-diafragma-e-estacas-barrete.html>.. Acesso em: 12 de maio de 2023.

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

PERALTA, F. N. G. **Comparação de Métodos de Projeto para Muros de Solo Reforçado com Geossintéticos**. 2007, 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia).

PROGEO. **Cortina atirantada**. Disponível em: <https://www.progeo.com.br/cortina-atirantada>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

RANZINI, S. M. T.; NEGRO JR, A. **Obras de contenção: Tipos, métodos construtivos, dificuldades executivas**. Fundações: teoria e prática, 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

ROCHA, P. A. R. A. **Estudo comparativo de muros de arrimo executados em concreto armado, quando dimensionados para alturas diferentes**. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 2016.

ROESNER, F. J. **Retroanálise e Proposta de Estabilização de um Talude Da Rodovia SC-435**. Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

SAYÃO, SIEIRA, SANTOS. **Reforço de Solos – Manual técnico**. São Paulo: Maccaferri, 2005. Disponível em:<

https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/33987/1/Comparativodedeforma%c3%a7%c3%b5es_Gomes_2021.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2023.

ROSA, P.H.C.G. **DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO COM E SEM ANCORAGEM.** Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia, 2019.

SCHITKOSKI, D.A. **AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE EQUILÍBRIO LIMITE APLICADOS AO DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DO TIPO MURO EMBUTIDO.** Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019.

SILVA, D. C. F. DA. **ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE ESTABILIDADE GLOBAL DE ARRIMO.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021.

SILVA, J.P.M.da. **Os Métodos de Equilíbrio Limite e dos Elementos Finitos na Análise de Estabilidade de Taludes.** Universidade do Porto, Porto, 2011.

SILVA FILHO, S.P.da. **A ESTABILIDADE DOS TALUDES E SUAS IMPLICAÇÕES SOCIOECONÔMICAS: ANÁLISE DO MAIOR DESASTRE NATURAL DO BRASIL** Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.

SILVA, V.C. **MÉTODOS ANALÍTICOS PARA AVALIAR A CONTRIBUIÇÃO DE ESTACAS PARA O FATOR DE SEGURANÇA DOS TALUDES.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SOCIEDADE INTERNACIONAL DE GEOSSINTÉTICOS (International Geosynthetics Society – IGS). Disponível em: <http://igsbrasil.org.br/>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

SOLOTRAT ENGENHARIA GEOTÉCNICA. **Manual Tirantes.** [São Paulo: 2015].
SOLOTRAT. **Cortinas atirantadas.** Disponível em: <https://www.solotrat.com.br/cortinas-atirantadas.php>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

SOUZA, G.de.O. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SPENCER, E. **A Method of Analysis of Embankments assuming Parallel Interslice Forces.** Geotechnique, 1967.

SPROVIERI, F.C; SILVA, M.E.da. **CORTINA ATIRANTADA: ESTUDO DE CASO.** Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2020.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. **Análise, projeto e execução de fundações rasas.** In: HACHICH. Fundações: teoria e prática. São Paulo, 1996.

TEIXEIRA, I. J. R. **Estudo comparativo de duas alternativas para contenção de taludes verticais: solo grampeado e cortina atirantada.** Universidade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

TONUS, B. P. A. **Estabilidade de taludes: avaliação dos métodos de equilíbrio limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da Serra do Mar paranaense.** 2009, 147 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

VALLIN, S.; GADDA, T.; LANGER, M. **Estudos dos efeitos do uso do solo, topografia e geologia em deslizamentos de terra, utilizando SIG – Estudo de caso no Morro do Boa Vista, Joinville, Santa Catarina, Brasil.** I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres: “Gestão Integrada em RRD no Brasil e o Marco de SENDAI para a Redução do Risco de Desastres 2015 – 2030”. Curitiba, Paraná, Brasil - 12 a 15 de outubro de 2016.

VERTEMATTI, J. C. **Manual brasileiro de geossintéticos.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 570p.

VILHETE, D.F. **RETROANÁLISE DA RUPTURA DO TALUDE DE MONTANTE DA BARRAGEM DO AÇU NO FINAL DO PERÍODO CONSTRUTIVO.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017

WATANABE, R. M. **O QUE É TALUDE.** 2015. Disponível em: <https://www.ebanataw.com.br/talude/oquee.htm>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

XANTHAKOS, P. P. **Ground anchors and anchored structures.** USA. 1991.

YASSUDA, C. T.; DIAS, P. H. V. **Tirantes.** Fundações: teoria e prática. 2ª. ed. São Paulo, 1998.

ANEXO A – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA GEOGRELHA STRATAGRID®

Especificações Técnicas

Microgrid SGI40 SGI60 SGI80 SGI100 SGI120 SGI150 SGI180 SGI200 SGI250 SGI300 SGI400

Propriedades Mecânicas														
Resistência característica, T_{char} (MARV)	ASTM D 6637	(kN/m)	30	40	60	80	100	120	150	180	200	250	300	400

Características de Projeto e Qualidade														
Fator de redução para fluência (120 anos), FR_{120}	ASTM D 5262 / ASTM D 6992	---	1,74	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
Fator de redução para danos de instalação (areia, silte e argila), FR_d	ASTM D 5818	---	1,20	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
Peso molecular / Grupos carboxílicos finais (CEG)	ASTM D 4603 / ASTM D 7409	(mmol/kg) (g/mol)	>25.000/<30											

ANEXO B – PLANILHA DE CÁLCULOS DO CASO 1

VIGA EQUIVALENTE SUPERIOR - CASO 1					
DADOS		PRESSÕES HORIZONTAIS (kN/m²)		EMPUXO RESULTANTE (kN/m)	
ESTADO ATIVO		PASSIVO		PRESSÃO RETIFICADA (kN/m²)	
γ (kN/m³)	17	(σp,φ) h,i	44,28	Er	1420,92
c (kPa)	7	(σp,c)h,i	0	PRESSÃO RETIFICADA (kN/m²)	
φ (°)	24	ATIVO			
q (kN)	20	(σa)h,i	138,60	σr	68,98
ka	0,422	SOBRECARGA		CARGA APLICADA (kN/m²)	
ESTADO PASSIVO		(σq)h,i	8,43		
γ (kN/m³)	20	EMPUXOS (kN/m)		q + σr	77,41
c (kPa)	0	PASSIVO		REAÇÕES (kN/m)	
φ (°)	35	Ep,φ,i	13,28	ENCONTRADAS NO FTOOL	
q (kN)	0	Ep,c,i	0	T1	369,6
kp	3,690	ATIVO		T2	855,2
ALTURAS DA ESTRUTURA		Ea,i	1427,56	Ri	369,9
H (m)	20	SOBRECARGA			
x (m)	0,6	Eq,i	173,75		
SISTEMAS DE ANCORAGEM					
t1 (m)	3				
t2 (m)	9				
DADOS DE PROJETO					
FS	2				

VIGA INFERIOR EQUIVALENTE - CASO 1																					
Ficha Mínima(m)	Pressões Horizontais (kN/m²)						Empuxos (kN/m)						Momentos (kN.m)						Resultados		
	Passivo		Ativo	Sobrecarga	Passivo		Ativo		Sobrecarga	Solicitante			Resistente			FS rotação	d (m)	R (kN)			
	(σp,φ)h	(σp,c)h	(σa)h	(σq)h	Ep,φ	Ep,φ,i	Ep,c	Ea	Ea,i	Eq	Ma	Ma,i	Mq	MR'	Mp,φ				Mp,φ,i	Mp,c	
0,61	89,30	0	138,67	8,43	0,23	0,44	0	0,00	1,39	0,08	0,00	0,01	0,00	3,699	0,00	0,00	0	0,001	0,732	-371,04	
0,7	95,94	0	139,32	8,43	2,58	4,43	0	0,04	13,86	0,84	0,00	0,69	0,04	36,99	0,09	0,22	0	0,008	0,84	-381,13	
0,8	103,32	0	140,03	8,43	5,90	8,86	0	0,14	27,72	1,69	0,01	2,77	0,17	73,98	0,39	0,89	0	0,017	0,96	-392,07	
0,9	110,71	0	140,75	8,43	9,96	13,28	0	0,32	41,58	2,53	0,03	6,24	0,38	110,97	1,00	1,99	0	0,025	1,08	-402,71	
1	118,09	0	141,47	8,43	14,76	17,71	0	0,57	55,44	3,37	0,08	11,09	0,67	147,96	1,97	3,54	0	0,034	1,2	-413,05	
1,1	125,47	0	142,18	8,43	20,30	22,14	0	0,90	69,30	4,22	0,15	17,32	1,05	184,95	3,38	5,54	0	0,044	1,32	-423,09	
1,2	132,85	0	142,90	8,43	26,57	26,57	0	1,29	83,16	5,06	0,26	24,95	1,52	221,94	5,31	7,97	0	0,053	1,44	-432,84	
1,3	140,23	0	143,62	8,43	33,58	31,00	0	1,76	97,02	5,90	0,41	33,96	2,07	258,93	7,84	10,85	0	0,063	1,56	-442,29	
1,4	147,61	0	144,33	8,43	41,33	35,43	0	2,29	110,88	6,75	0,61	44,35	2,70	295,92	11,02	14,17	0	0,073	1,68	-451,44	
1,5	154,99	0	145,05	8,43	49,82	39,85	0	2,90	124,74	7,59	0,87	56,13	3,42	332,91	14,95	17,93	0	0,084	1,8	-460,3	
1,6	162,37	0	145,77	8,43	59,04	44,28	0	3,58	138,60	8,43	1,19	69,30	4,22	369,9	19,68	22,14	0	0,094	1,92	-468,86	
1,7	169,75	0	146,48	8,43	69,01	48,71	0	4,34	152,46	9,28	1,59	83,85	5,10	406,89	25,30	26,79	0	0,105	2,04	-477,12	
1,8	177,13	0	147,20	8,43	79,71	53,14	0	5,16	166,32	10,12	2,06	99,79	6,07	443,88	31,88	31,88	0	0,116	2,16	-485,08	
1,9	184,51	0	147,92	8,43	91,15	57,57	0	6,06	180,18	10,96	2,63	117,12	7,13	480,87	39,50	37,42	0	0,127	2,28	-492,74	
2	191,89	0	148,64	8,43	103,32	61,99	0	7,03	194,04	11,81	3,28	135,83	8,27	517,86	48,22	43,40	0	0,138	2,4	-500,11	
2,1	199,27	0	149,35	8,43	116,24	66,42	0	8,07	207,90	12,65	4,03	155,92	9,49	554,85	58,12	49,82	0	0,149	2,52	-507,18	
2,2	206,65	0	150,07	8,43	129,89	70,85	0	9,18	221,76	13,50	4,89	177,41	10,80	591,84	69,28	56,68	0	0,160	2,64	-513,96	
2,3	214,03	0	150,79	8,43	144,29	75,28	0	10,36	235,62	14,34	5,87	200,27	12,19	628,83	81,76	63,99	0	0,172	2,76	-520,43	
2,4	221,41	0	151,50	8,43	159,42	79,71	0	11,61	249,48	15,18	6,97	224,53	13,66	665,82	95,65	71,74	0	0,184	2,88	-526,61	
2,5	228,79	0	152,22	8,43	175,28	84,14	0	12,94	263,34	16,03	8,20	250,17	15,22	702,81	111,01	79,93	0	0,196	3	-532,49	
2,6	236,17	0	152,94	8,43	191,89	88,56	0	14,34	277,20	16,87	9,56	277,20	16,87	739,8	127,93	88,56	0	0,207	3,12	-538,08	
2,7	243,55	0	153,65	8,43	209,23	92,99	0	15,81	291,06	17,71	11,07	305,61	18,60	776,79	146,46	97,64	0	0,220	3,24	-543,36	
2,8	250,93	0	154,37	8,43	227,31	97,42	0	17,35	304,92	18,56	12,72	335,41	20,41	813,78	166,70	107,16	0	0,232	3,36	-548,35	
2,9	258,31	0	155,09	8,43	246,13	101,85	0	18,96	318,78	19,40	14,54	366,59	22,31	850,77	188,70	117,13	0	0,244	3,48	-553,05	
3	265,69	0	155,80	8,43	265,69	106,28	0	20,65	332,64	20,24	16,52	399,16	24,29	887,76	212,55	127,53	0	0,256	3,6	-557,44	
3,1	273,07	0	156,52	8,43	285,99	110,71	0	22,40	346,50	21,09	18,67	433,12	26,36	924,75	238,32	138,38	0	0,269	3,72	-561,54	
3,2	280,45	0	157,24	8,43	307,02	115,13	0	24,23	360,36	21,93	21,00	468,46	28,51	961,74	266,09	149,67	0	0,281	3,84	-565,34	
3,3	287,83	0	157,96	8,43	328,79	119,56	0	26,13	374,22	22,77	23,52	505,19	30,74	998,73	295,91	161,41	0	0,293	3,96	-568,84	
3,4	295,21	0	158,67	8,43	351,30	123,99	0	28,10	388,08	23,62	26,23	543,31	33,06	1035,72	327,88	173,59	0	0,306	4,08	-572,05	

3.5	302,59	0	159,39	8,43	374,55	128,42	0	30,15	401,93	24,46	29,14	582,81	35,47	1072,71	362,07	186,21	0	0,319	4,2	-574,96
3.6	309,97	0	160,11	8,43	398,54	132,85	0	32,26	415,79	25,30	32,26	623,69	37,96	1109,7	398,54	199,27	0	0,331	4,32	-577,57
3.7	317,35	0	160,82	8,43	423,26	137,27	0	34,45	429,65	26,15	35,60	665,96	40,53	1146,69	437,37	212,78	0	0,344	4,44	-579,88
3.8	324,74	0	161,54	8,43	448,72	141,70	0	36,71	443,51	26,99	39,15	709,62	43,19	1183,68	478,64	226,72	0	0,357	4,56	-581,9
3.9	332,12	0	162,26	8,43	474,93	146,13	0	39,04	457,37	27,83	42,94	754,67	45,93	1220,67	522,42	241,12	0	0,370	4,68	-583,62
4	339,50	0	162,97	8,43	501,86	150,56	0	41,44	471,23	28,68	46,96	801,10	48,75	1257,66	568,78	255,95	0	0,383	4,8	-585,04
4.1	346,88	0	163,69	8,43	529,54	154,99	0	43,91	485,09	29,52	51,23	848,91	51,66	1294,65	617,80	271,23	0	0,396	4,92	-586,16
4.2	354,26	0	164,41	8,43	557,95	159,42	0	46,46	498,95	30,36	55,75	898,12	54,66	1331,64	669,54	286,95	0	0,409	5,04	-586,99
4.3	361,64	0	165,13	8,43	587,11	163,84	0	49,07	512,81	31,21	60,53	948,70	57,73	1368,63	724,10	303,11	0	0,422	5,16	-587,52
4.4	369,02	0	165,84	8,43	617,00	168,27	0	51,76	526,67	32,05	65,57	1000,68	60,90	1405,62	781,53	319,72	0	0,435	5,28	-587,75
4.5	376,40	0	166,56	8,43	647,63	172,70	0	54,52	540,53	32,89	70,88	1054,04	64,15	1442,61	841,91	336,77	0	0,448	5,4	-587,69
4.6	383,78	0	167,28	8,43	678,99	177,13	0	57,36	554,39	33,74	76,47	1108,79	67,48	1479,6	905,32	354,26	0	0,461	5,52	-587,33
4.7	391,16	0	167,99	8,43	711,10	181,56	0	60,26	568,25	34,58	82,35	1164,92	70,89	1516,59	971,83	372,19	0	0,474	5,64	-586,67
4.8	398,54	0	168,71	8,43	743,94	185,98	0	63,23	582,11	35,43	88,53	1222,44	74,39	1553,58	1041,51	390,57	0	0,487	5,76	-585,71
4.9	405,92	0	169,43	8,43	777,52	190,41	0	66,28	595,97	36,27	95,00	1281,34	77,98	1590,57	1114,44	409,39	0	0,500	5,88	-584,46
5	413,30	0	170,14	8,43	811,84	194,84	0	69,40	609,83	37,11	101,79	1341,63	81,65	1627,56	1190,70	428,65	0	0,514	6	-582,9
5.1	420,68	0	170,86	8,43	846,89	199,27	0	72,59	623,69	37,96	108,89	1403,31	85,40	1664,55	1270,34	448,36	0	0,527	6,12	-581,06
5.2	428,06	0	171,58	8,43	882,69	203,70	0	75,85	637,55	38,80	116,31	1466,37	89,24	1701,54	1353,46	468,50	0	0,540	6,24	-578,91
5.3	435,44	0	172,29	8,43	919,22	208,13	0	79,19	651,41	39,64	124,06	1530,82	93,16	1738,53	1440,11	489,10	0	0,553	6,36	-576,47
5.4	442,82	0	173,01	8,43	956,49	212,55	0	82,59	665,27	40,49	132,15	1596,65	97,17	1775,52	1530,39	510,13	0	0,567	6,48	-573,73
5.5	450,20	0	173,73	8,43	994,50	216,98	0	86,07	679,13	41,33	140,58	1663,87	101,26	1812,51	1624,35	531,61	0	0,580	6,6	-570,69
5.6	457,58	0	174,45	8,43	1033,25	221,41	0	89,62	692,99	42,17	149,36	1732,48	105,43	1849,5	1722,08	553,53	0	0,593	6,72	-567,35
5.7	464,96	0	175,16	8,43	1072,73	225,84	0	93,24	706,85	43,02	158,50	1802,47	109,69	1886,49	1823,65	575,89	0	0,606	6,84	-563,72
5.8	472,34	0	175,88	8,43	1112,96	230,27	0	96,93	720,71	43,86	168,01	1873,85	114,04	1923,48	1929,12	598,69	0	0,620	6,96	-559,79
5.9	479,72	0	176,60	8,43	1153,92	234,69	0	100,69	734,57	44,70	177,89	1946,61	118,46	1960,47	2038,59	621,94	0	0,633	7,08	-555,56
6	487,10	0	177,31	8,43	1195,62	239,12	0	104,53	748,43	45,55	188,15	2020,76	122,98	1997,46	2152,11	645,63	0	0,646	7,2	-551,04
6.1	494,48	0	178,03	8,43	1238,05	243,55	0	108,44	762,29	46,39	198,80	2096,30	127,57	2034,45	2269,76	669,77	0	0,660	7,32	-546,22
6.2	501,86	0	178,75	8,43	1281,23	247,98	0	112,42	776,15	47,23	209,84	2173,22	132,25	2071,44	2391,63	694,34	0	0,673	7,44	-541,1
6.3	509,24	0	179,46	8,43	1325,14	252,41	0	116,47	790,01	48,08	221,29	2251,53	137,02	2108,43	2517,77	719,36	0	0,686	7,56	-535,68
6.4	516,62	0	180,18	8,43	1369,79	256,84	0	120,59	803,87	48,92	233,14	2331,22	141,87	2145,42	2648,26	744,82	0	0,699	7,68	-529,97
6.5	524,00	0	180,90	8,43	1415,18	261,26	0	124,78	817,73	49,76	245,41	2412,30	146,80	2182,41	2783,19	770,73	0	0,713	7,8	-523,95
6.6	531,38	0	181,61	8,43	1461,31	265,69	0	129,05	831,59	50,61	258,10	2494,77	151,82	2219,4	2922,62	797,08	0	0,726	7,92	-517,65
6.7	538,77	0	182,33	8,43	1508,17	270,12	0	133,39	845,45	51,45	271,22	2578,62	156,93	2256,39	3066,62	823,87	0	0,739	8,04	-511,04
6.8	546,15	0	183,05	8,43	1555,78	274,55	0	137,80	859,31	52,29	284,78	2663,86	162,11	2293,38	3215,27	851,10	0	0,752	8,16	-504,14
6.9	553,53	0	183,77	8,43	1604,12	278,98	0	142,28	873,17	53,14	298,78	2750,48	167,38	2330,37	3368,65	878,78	0	0,766	8,28	-496,94
7	560,91	0	184,48	8,43	1653,20	283,41	0	146,83	887,03	53,98	313,24	2838,49	172,74	2367,36	3526,82	906,90	0	0,779	8,4	-489,44
7.1	568,29	0	185,20	8,43	1703,01	287,83	0	151,45	900,89	54,82	328,15	2927,89	178,18	2404,35	3689,86	935,46	0	0,792	8,52	-481,64
7.2	575,67	0	185,92	8,43	1753,57	292,26	0	156,15	914,75	55,67	343,53	3018,67	183,71	2441,34	3857,85	964,46	0	0,805	8,64	-473,55
7.3	583,05	0	186,63	8,43	1804,86	296,69	0	160,92	928,61	56,51	359,38	3110,84	189,31	2478,33	4030,86	993,91	0	0,819	8,76	-465,16
7.4	590,43	0	187,35	8,43	1856,89	301,12	0	165,76	942,47	57,36	375,72	3204,39	195,01	2515,32	4208,96	1023,80	0	0,832	8,88	-456,47
7.5	597,81	0	188,07	8,43	1909,66	305,55	0	170,67	956,33	58,20	392,54	3299,33	200,79	2552,31	4392,23	1054,13	0	0,845	9	-447,49
7.6	605,19	0	188,78	8,43	1963,17	309,97	0	175,65	970,19	59,04	409,85	3395,66	206,65	2589,3	4580,73	1084,91	0	0,858	9,12	-438,21
7.7	612,57	0	189,50	8,43	2017,42	314,40	0	180,71	984,05	59,89	427,67	3493,37	212,59	2626,29	4774,55	1116,13	0	0,871	9,24	-428,63
7.8	619,95	0	190,22	8,43	2072,40	318,83	0	185,83	997,91	60,73	445,99	3592,47	218,62	2663,28	4973,76	1147,79	0	0,885	9,36	-418,75
7.9	627,33	0	190,93	8,43	2128,12	323,26	0	191,03	1011,77	61,57	464,84	3692,95	224,74	2700,27	5178,43	1179,90	0	0,898	9,48	-408,58
8	634,71	0	191,65	8,43	2184,58	327,69	0	196,30	1025,63	62,42	484,20	3794,82	230,94	2737,26	5388,64	1212,44	0	0,911	9,6	-398,11
8.1	642,09	0	192,37	8,43	2241,78	332,12	0	201,64	1039,49	63,26	504,10	3898,07	237,22	2774,25	5604,45	1245,43	0	0,924	9,72	-387,34
8.2	649,47	0	193,09	8,43	2299,72	336,54	0	207,05	1053,35	64,10	524,53	4002,72	243,59	2811,24	5825,95	1278,87	0	0,937	9,84	-376,27
8.3	656,85	0	193,80	8,43	2358,39	340,97	0	212,54	1067,21	64,95	545,51	4108,74	250,04	2848,23	6053,20	1312,74	0	0,950	9,96	-364,91
8.4	664,23	0	194,52	8,43	2417,80	345,40	0	218,09	1081,07	65,79	567,04	4216,16	256,58	2885,22	6286,28	1347,06	0	0,963	10,08	-353,25
8.5	671,61	0	195,24	8,43	2477,95	349,83	0	223,72	1094,93	66,63	589,13	4324,96	263,20	2922,21	6525,27	1381,82	0	0,976	10,2	-341,29
8.6	678,99	0	195,95	8,43	2538,84	354,26	0	229,42	1108,79	67,48	611,79	4435,14	269,91	2959,2	6770,24	1417,03	0	0,989	10,32	-329,04
8.7	686,37	0	196,67	8,43	2600,46	358,68	0	235,19	1122,65	68,32	635,02	4546,71	276,70	2996,19	7021,25	1452,67	0	1,002	10,44	-316,48
8.8	693,75	0	197,39	8,43	2662,83	363,11	0	241,04	1136,51	69,16	658,83	4659,67	283,57	3033,18	7278,40	1488,76	0	1,015	10,56	-303,63
8.9	701,13	0	198,10	8,43	2725,93	367,54	0	246,95	1150,37	70,01	683,23	4774,02	290,53	3070,17	7541,74	1525,30	0	1,028	10,68	-290,49
9	708,51	0	198,82	8,43	2789,77	371,97	0	252,94	1164,23	70,85	708,22	4889,75	297,57	3107,16	7811,36	1562,27	0	1,041	10,8	-277,04
9.1	715,89	0	199,54	8,43	2854,35	376,40	0	259,00	1178,08	71,69	733,82	5006,86	304,70	3144,15	8087,32	1599,69	0	1,054	10,92	-263,3

9,2	723,27	0	200,26	8,43	2919,66	380,83	0	265,12	1191,94	72,54	760,02	5125,36	311,91	3181,14	8369,70	1637,55	0	1,067	11,04	-249,26
9,3	730,65	0	200,97	8,43	2985,72	385,25	0	271,33	1205,80	73,38	786,85	5245,25	319,21	3218,13	8658,58	1675,85	0	1,080	11,16	-234,93
9,4	738,03	0	201,69	8,43	3052,51	389,68	0	277,60	1219,66	74,22	814,29	5366,52	326,59	3255,12	8954,03	1714,60	0	1,093	11,28	-220,29
9,5	745,41	0	202,41	8,43	3120,04	394,11	0	283,94	1233,52	75,07	842,37	5489,18	334,05	3292,11	9256,12	1753,79	0	1,106	11,4	-205,36
9,6	752,80	0	203,12	8,43	3188,31	398,54	0	290,36	1247,38	75,91	871,08	5613,23	341,60	3329,1	9564,93	1793,42	0	1,118	11,52	-190,13
9,7	760,18	0	203,84	8,43	3257,32	402,97	0	296,85	1261,24	76,75	900,44	5738,66	349,23	3366,09	9880,52	1833,50	0	1,131	11,64	-174,61
9,8	767,56	0	204,56	8,43	3327,06	407,40	0	303,41	1275,10	77,60	930,46	5865,48	356,95	3403,08	10202,98	1874,02	0	1,144	11,76	-158,78
9,9	774,94	0	205,27	8,43	3397,54	411,82	0	310,04	1288,96	78,44	961,13	5993,68	364,75	3440,07	10532,38	1914,98	0	1,157	11,88	-142,66
10	782,32	0	205,99	8,43	3468,76	416,25	0	316,74	1302,82	79,29	992,47	6123,27	372,64	3477,06	10868,79	1956,38	0	1,170	12	-126,25
10,1	789,70	0	206,71	8,43	3540,72	420,68	0	323,52	1316,68	80,13	1024,48	6254,24	380,61	3514,05	11212,28	1998,23	0	1,182	12,12	-109,53
10,2	797,08	0	207,42	8,43	3613,42	425,11	0	330,37	1330,54	80,97	1057,17	6386,61	388,67	3551,04	11562,93	2040,52	0	1,195	12,24	-92,519
10,3	804,46	0	208,14	8,43	3686,85	429,54	0	337,29	1344,40	81,82	1090,56	6520,35	396,81	3588,03	11920,82	2083,25	0	1,208	12,36	-75,21
10,4	811,84	0	208,86	8,43	3761,02	433,96	0	344,28	1358,26	82,66	1124,63	6655,49	405,03	3625,02	12286,01	2126,42	0	1,220	12,48	-57,603
10,5	819,22	0	209,58	8,43	3835,93	438,39	0	351,34	1372,12	83,50	1159,41	6792,01	413,34	3662,01	12658,58	2170,04	0	1,233	12,6	-39,699
10,6	826,60	0	210,29	8,43	3911,58	442,82	0	358,47	1385,98	84,35	1194,90	6929,91	421,73	3699	13038,61	2214,10	0	1,246	12,72	-21,497
10,7	833,98	0	211,01	8,43	3987,97	447,25	0	365,68	1399,84	85,19	1231,11	7069,20	430,21	3735,99	13426,16	2258,61	0	1,258	12,84	-2,9984
10,8	841,36	0	211,73	8,43	4065,09	451,68	0	372,95	1413,70	86,03	1268,04	7209,88	438,77	3772,98	13821,32	2303,55	0	1,271	12,96	15,798
10,9	848,74	0	212,44	8,43	4142,96	456,11	0	380,30	1427,56	86,88	1305,70	7351,94	447,41	3809,97	14224,15	2348,94	0	1,283	13,08	34,891
11	856,12	0	213,16	8,43	4221,56	460,53	0	387,72	1441,42	87,72	1344,10	7495,39	456,14	3846,96	14634,73	2394,77	0	1,296	13,2	54,282
11,1	863,50	0	213,88	8,43	4300,90	464,96	0	395,21	1455,28	88,56	1383,25	7640,23	464,96	3883,95	15053,14	2441,05	0	1,308	13,32	73,97
11,2	870,88	0	214,59	8,43	4380,97	469,39	0	402,78	1469,14	89,41	1423,15	7786,45	473,86	3920,94	15479,44	2487,77	0	1,321	13,44	93,956
11,3	878,26	0	215,31	8,43	4461,79	473,82	0	410,41	1483,00	90,25	1463,81	7934,05	482,84	3957,93	15913,71	2534,93	0	1,333	13,56	114,24
11,4	885,64	0	216,03	8,43	4543,34	478,25	0	418,12	1496,86	91,09	1505,23	8083,05	491,91	3994,92	16356,02	2582,53	0	1,346	13,68	134,82
11,5	893,02	0	216,74	8,43	4625,63	482,67	0	425,90	1510,72	91,94	1547,43	8233,43	501,06	4031,91	16806,46	2630,58	0	1,358	13,8	155,7
11,6	900,40	0	217,46	8,43	4708,66	487,10	0	433,75	1524,58	92,78	1590,41	8385,19	510,29	4068,9	17265,09	2679,07	0	1,370	13,92	176,87
11,7	907,78	0	218,18	8,43	4792,43	491,53	0	441,67	1538,44	93,62	1634,19	8538,34	519,61	4105,89	17731,98	2728,00	0	1,383	14,04	198,34
11,8	915,16	0	218,90	8,43	4876,93	495,96	0	449,67	1552,30	94,47	1678,75	8692,88	529,02	4142,88	18207,21	2777,37	0	1,395	14,16	220,11
11,9	922,54	0	219,61	8,43	4962,17	500,39	0	457,73	1566,16	95,31	1724,12	8848,80	538,51	4179,87	18690,86	2827,19	0	1,407	14,28	242,18
12	929,92	0	220,33	8,43	5048,16	504,82	0	465,87	1580,02	96,15	1770,30	9006,11	548,08	4216,86	19182,99	2877,45	0	1,419	14,4	264,54
12,1	937,30	0	221,05	8,43	5134,87	509,24	0	474,08	1593,88	97,00	1817,30	9164,81	557,74	4253,85	19683,69	2928,15	0	1,432	14,52	287,2
12,2	944,68	0	221,76	8,43	5222,33	513,67	0	482,36	1607,74	97,84	1865,12	9324,89	567,48	4290,84	20193,02	2979,30	0	1,444	14,64	310,16
12,3	952,06	0	222,48	8,43	5310,53	518,10	0	490,71	1621,60	98,68	1913,77	9486,35	577,31	4327,83	20711,06	3030,89	0	1,456	14,76	333,42
12,4	959,44	0	223,20	8,43	5399,46	522,53	0	499,13	1635,46	99,53	1963,26	9649,21	587,22	4364,82	21237,88	3082,92	0	1,468	14,88	356,97
12,5	966,83	0	223,91	8,43	5489,13	526,96	0	507,63	1649,32	100,37	2013,60	9813,45	597,21	4401,81	21773,55	3135,39	0	1,480	15	380,82
12,6	974,21	0	224,63	8,43	5579,54	531,38	0	516,20	1663,18	101,22	2064,79	9979,07	607,29	4438,8	22318,16	3188,31	0	1,492	15,12	404,97
12,7	981,59	0	225,35	8,43	5670,69	535,81	0	524,84	1677,04	102,06	2116,84	10146,08	617,46	4475,79	22871,77	3241,67	0	1,505	15,24	429,42
12,8	988,97	0	226,07	8,43	5762,57	540,24	0	533,55	1690,90	102,90	2169,76	10314,48	627,70	4512,78	23434,46	3295,47	0	1,517	15,36	454,16
12,9	996,35	0	226,78	8,43	5855,20	544,67	0	542,33	1704,76	103,75	2223,55	10484,26	638,04	4549,77	24006,31	3349,72	0	1,529	15,48	479,2
13	1003,73	0	227,50	8,43	5948,56	549,10	0	551,18	1718,62	104,59	2278,23	10655,43	648,45	4586,76	24587,37	3404,41	0	1,541	15,6	504,54
13,1	1011,11	0	228,22	8,43	6042,66	553,53	0	560,11	1732,48	105,43	2333,79	10827,99	658,95	4623,75	25177,74	3459,54	0	1,553	15,72	530,17
13,2	1018,49	0	228,93	8,43	6137,49	557,95	0	569,11	1746,34	106,28	2390,25	11001,93	669,54	4660,74	25777,48	3515,11	0	1,565	15,84	556,1
13,3	1025,87	0	229,65	8,43	6233,07	562,38	0	578,18	1760,20	107,12	2447,62	11177,25	680,21	4697,73	26386,66	3571,13	0	1,576	15,96	582,33
13,4	1033,25	0	230,37	8,43	6329,38	566,81	0	587,32	1774,06	107,96	2505,89	11353,97	690,96	4734,72	27005,37	3627,59	0	1,588	16,08	608,86
13,5	1040,63	0	231,08	8,43	6426,44	571,24	0	596,53	1787,92	108,81	2565,08	11532,06	701,80	4771,71	27633,67	3684,49	0	1,600	16,2	635,68
13,6	1048,01	0	231,80	8,43	6524,22	575,67	0	605,82	1801,78	109,65	2625,20	11711,55	712,72	4808,7	28271,64	3741,83	0	1,612	16,32	662,8
13,7	1055,39	0	232,52	8,43	6622,75	580,10	0	615,17	1815,64	110,49	2686,25	11892,42	723,73	4845,69	28919,35	3799,62	0	1,624	16,44	690,22
13,8	1062,77	0	233,23	8,43	6722,02	584,52	0	624,60	1829,50	111,34	2748,24	12074,68	734,82	4882,68	29576,88	3857,85	0	1,636	16,56	717,94
13,9	1070,15	0	233,95	8,43	6822,02	588,95	0	634,10	1843,36	112,18	2811,17	12258,32	746,00	4919,67	30244,30	3916,53	0	1,647	16,68	745,95
14	1077,53	0	234,67	8,43	6922,76	593,38	0	643,67	1857,22	113,02	2875,06	12443,35	757,26	4956,66	30921,68	3975,64	0	1,659	16,8	774,26
14,1	1084,91	0	235,39	8,43	7024,24	597,81	0	653,31	1871,08	113,87	2939,91	12629,76	768,60	4993,65	31609,09	4035,20	0	1,671	16,92	802,87
14,2	1092,29	0	236,10	8,43	7126,46	602,24	0	663,03	1884,94	114,71	3005,72	12817,56	780,03	5030,64	32306,62	4095,21	0	1,683	17,04	831,77
14,3	1099,67	0	236,82	8,43	7229,42	606,66	0	672,81	1898,80	115,55	3072,52	13006,75	791,55	5067,63	33014,34	4155,65	0	1,694	17,16	860,98
14,4	1107,05	0	237,54	8,43	7333,11	611,09	0	682,67	1912,66	116,40	3140,29	13197,32	803,14	5104,62	33732,31	4216,54	0	1,706	17,28	890,48
14,5	1114,43	0	238,25	8,43	7437,54	615,52	0	692,60	1926,52	117,24	3209,05	13389,28	814,82	5141,61	34460,61	4277,87	0	1,718	17,4	920,27
14,6	1121,81	0	238,97	8,43	7542,71	619,95	0	702,60	1940,38	118,08	3278,81	13582,63	826,59	5178,6	35199,32	4339,64	0	1,729	17,52	950,37
14,7	1129,19	0	239,69	8,43	7648,62	624,38	0	712,68	1954,23	118,93	3349,58	13777,36	838,44	5215,59	35948,51	4401,86	0	1,741		

14,9	1143,95	0	241,12	8,43	7862,65	633,23	0	733,04	1981,95	120,61	3494,14	14170,97	862,40	5289,57	37478,63	4527,62	0	1,764	17,88	1042,4
15	1151,33	0	241,84	8,43	7970,77	637,66	0	743,32	1995,81	121,46	3567,96	14369,86	874,50	5326,56	38259,71	4591,16	0	1,775	18	1073,7
15,1	1158,71	0	242,55	8,43	8079,63	642,09	0	753,68	2009,67	122,30	3642,81	14570,14	886,69	5363,55	39051,56	4655,15	0	1,787	18,12	1105,3
15,2	1166,09	0	243,27	8,43	8189,23	646,52	0	764,12	2023,53	123,15	3718,70	14771,80	898,96	5400,54	39854,25	4719,58	0	1,798	18,24	1137,2
15,3	1173,47	0	243,99	8,43	8299,57	650,95	0	774,62	2037,39	123,99	3795,63	14974,84	911,32	5437,53	40667,88	4784,46	0	1,809	18,36	1169,4
15,4	1180,86	0	244,71	8,43	8410,64	655,37	0	785,19	2051,25	124,83	3873,62	15179,28	923,76	5474,52	41492,49	4849,77	0	1,821	18,48	1201,8
15,5	1188,24	0	245,42	8,43	8522,45	659,80	0	795,84	2065,11	125,68	3952,68	15385,10	936,28	5511,51	42328,18	4915,53	0	1,832	18,6	1234,6
15,6	1195,62	0	246,14	8,43	8635,00	664,23	0	806,56	2078,97	126,52	4032,80	15592,30	948,89	5548,5	43175,02	4981,73	0	1,843	18,72	1267,7
15,7	1203,00	0	246,86	8,43	8748,29	668,66	0	817,35	2092,83	127,36	4113,99	15800,89	961,59	5585,49	44033,07	5048,38	0	1,855	18,84	1301
15,8	1210,38	0	247,57	8,43	8862,32	673,09	0	828,21	2106,69	128,21	4196,27	16010,87	974,37	5622,48	44902,41	5115,46	0	1,866	18,96	1334,7
15,9	1217,76	0	248,29	8,43	8977,08	677,52	0	839,14	2120,55	129,05	4279,63	16222,23	987,23	5659,47	45783,12	5182,99	0	1,877	19,08	1368,7
16	1225,14	0	249,01	8,43	9092,58	681,94	0	850,15	2134,41	129,89	4364,10	16434,98	1000,18	5696,46	46675,27	5250,97	0	1,889	19,2	1402,9
16,1	1232,52	0	249,72	8,43	9208,83	686,37	0	861,23	2148,27	130,74	4449,67	16649,11	1013,21	5733,45	47578,93	5319,38	0	1,900	19,32	1437,5
16,2	1239,90	0	250,44	8,43	9325,80	690,80	0	872,37	2162,13	131,58	4536,35	16864,63	1026,32	5770,44	48494,18	5388,24	0	1,911	19,44	1472,3
16,3	1247,28	0	251,16	8,43	9443,52	695,23	0	883,59	2175,99	132,42	4624,14	17081,54	1039,52	5807,43	49421,09	5457,54	0	1,922	19,56	1507,5
16,4	1254,66	0	251,87	8,43	9561,97	699,66	0	894,89	2189,85	133,27	4713,07	17299,83	1052,81	5844,42	50359,73	5527,29	0	1,933	19,68	1542,9
16,5	1262,04	0	252,59	8,43	9681,17	704,08	0	906,25	2203,71	134,11	4803,12	17519,51	1066,18	5881,41	51310,19	5597,47	0	1,944	19,8	1578,7
16,6	1269,42	0	253,31	8,43	9801,10	708,51	0	917,68	2217,57	134,95	4894,32	17740,57	1079,63	5918,4	52272,52	5668,10	0	1,955	19,92	1614,7
16,7	1276,80	0	254,03	8,43	9921,77	712,94	0	929,19	2231,43	135,80	4986,66	17963,02	1093,17	5955,39	53246,81	5739,18	0	1,966	20,04	1651
16,8	1284,18	0	254,74	8,43	10043,17	717,37	0	940,77	2245,29	136,64	5080,16	18186,86	1106,79	5992,38	54233,13	5810,69	0	1,977	20,16	1687,7
16,9	1291,56	0	255,46	8,43	10165,32	721,80	0	952,42	2259,15	137,48	5174,82	18412,08	1120,50	6029,37	55231,56	5882,65	0	1,988	20,28	1724,6
17	1298,94	0	256,18	8,43	10288,20	726,23	0	964,14	2273,01	138,33	5270,65	18638,69	1134,29	6066,36	56242,16	5955,05	0	1,999	20,4	1761,8
17,1	1306,32	0	256,89	8,43	10411,82	730,65	0	975,94	2286,87	139,17	5367,65	18866,68	1148,16	6103,35	57265,02	6027,90	0	2,010	20,52	1799,4

ANEXO C- PLANILHA DE CÁLCULOS DO CASO 2

VIGA EQUIVALENTE SUPERIOR - CASO 2					
DADOS		PRESSÕES HORIZONTAIS (kN/m²)		EMPUXO RESULTANTE	
ESTADO ATIVO		PASSIVO		(kN/m)	
γ (kN/m³)	17	(σp,φ)h,i	44,28	Er	1420,92
c (kPa)	7	(σp,c)h,i	0	PRESSÃO RETIFICADA	
φ (°)	24	ATIVO		(kN/m²)	
q (kN)	20	(σa)h,i	138,60	σr	68,98
ka	0,422	SOBRECARGA		CARGA APLICADA (kN/m²)	
ESTADO PASSIVO		(σq)h,i	8,43		
γ (kN/m³)	20	EMPUXOS (kN/m)		q + σr	77,41
c (kPa)	0	PASSIVO		REAÇÕES (kN)	
φ (°)	35	Ep,φ,i	13,28	ENCONTRADAS NO FTOOL	
q (kN)	0	Ep,c,i	0	T1	623,2
kp	3,690	ATIVO		T2	363,5
ALTURAS DA ESTRUTURA		Ea,i	1427,56	T3	484
H (m)	20	SOBRECARGA		Ri	123,9
x (m)	0,6	Eq,i	173,7528515		
SISTEMAS DE ANCORAGEM					
t1 (m)	4				
t2 (m)	10				
t3 (m)	16				
DADOS DE PROJETO					
FS	2				

VIGA INFERIOR EQUIVALENTE - CASO 2																							
Ficha Mínima(m)	Pressões Horizontais (kN/m²)						Empuxos (kN/m)					Momentos (kN.m)						Resultados					
	Passivo			Ativo			Passivo			Ativo		Sobrecarga	Solicitante			Resistente			FS	rotação	d (m)	R (kN)	
	(σp,φ)h	(σp,c)h	0	(σa)h	(σq)h	0	Ep,φ	Ep,φ,i	Ep,c	0	Ea	Ea,i	Eq	0,08	Ma	Ma,i	0,01	Mq					MR'
0,61	89,30	0	138,67	8,43	0,23	0,44	0	0,00	1,39	0,08	0,00	1,239	0,00	0,00	0,01	0,00	1,239	0,00	0,00	0	0,002	0,732	-125,04
0,7	95,94	0	139,32	8,43	2,58	4,43	0	0,04	13,86	0,84	0,00	0,69	0,04	12,39	0,09	0,22	0	0,023	0,84	-135,13			
0,8	103,32	0	140,03	8,43	5,90	8,86	0	0,14	27,72	1,69	0,01	2,77	0,17	24,78	0,39	0,89	0	0,046	0,96	-146,07			
0,9	110,71	0	140,75	8,43	9,96	13,28	0	0,32	41,58	2,53	0,03	6,24	0,38	37,17	1,00	1,99	0	0,068	1,08	-156,71			
1	118,09	0	141,47	8,43	14,76	17,71	0	0,57	55,44	3,37	0,08	11,09	0,67	49,56	1,97	3,54	0	0,090	1,2	-167,05			
1,1	125,47	0	142,18	8,43	20,30	22,14	0	0,90	69,30	4,22	0,15	17,32	1,05	61,95	3,38	5,54	0	0,111	1,32	-177,09			
1,2	132,85	0	142,90	8,43	26,57	26,57	0	1,29	83,16	5,06	0,26	24,95	1,52	74,34	5,31	7,97	0	0,131	1,44	-186,84			
1,3	140,23	0	143,62	8,43	33,58	31,00	0	1,76	97,02	5,90	0,41	33,96	2,07	86,73	7,84	10,85	0	0,152	1,56	-196,29			
1,4	147,61	0	144,33	8,43	41,33	35,43	0	2,29	110,88	6,75	0,61	44,35	2,70	99,12	11,02	14,17	0	0,172	1,68	-205,44			
1,5	154,99	0	145,05	8,43	49,82	39,85	0	2,90	124,74	7,59	0,87	56,13	3,42	111,51	14,95	17,93	0	0,191	1,8	-214,3			
1,6	162,37	0	145,77	8,43	59,04	44,28	0	3,58	138,60	8,43	1,19	69,30	4,22	123,9	19,68	22,14	0	0,211	1,92	-222,86			
1,7	169,75	0	146,48	8,43	69,01	48,71	0	4,34	152,46	9,28	1,59	83,85	5,10	136,29	25,30	26,79	0	0,230	2,04	-231,12			
1,8	177,13	0	147,20	8,43	79,71	53,14	0	5,16	166,32	10,12	2,06	99,79	6,07	148,68	31,88	31,88	0	0,248	2,16	-239,08			
1,9	184,51	0	147,92	8,43	91,15	57,57	0	6,06	180,18	10,96	2,63	117,12	7,13	161,07	39,50	37,42	0	0,267	2,28	-246,74			
2	191,89	0	148,64	8,43	103,32	61,99	0	7,03	194,04	11,81	3,28	135,83	8,27	173,46	48,22	43,40	0	0,286	2,4	-254,11			
2,1	199,27	0	149,35	8,43	116,24	66,42	0	8,07	207,90	12,65	4,03	155,92	9,49	185,85	58,12	49,82	0	0,304	2,52	-261,18			
2,2	206,65	0	150,07	8,43	129,89	70,85	0	9,18	221,76	13,50	4,89	177,41	10,80	198,24	69,28	56,68	0	0,322	2,64	-267,96			
2,3	214,03	0	150,79	8,43	144,29	75,28	0	10,36	235,62	14,34	5,87	200,27	12,19	210,63	81,76	63,99	0	0,340	2,76	-274,43			
2,4	221,41	0	151,50	8,43	159,42	79,71	0	11,61	249,48	15,18	6,97	224,53	13,66	223,02	95,65	71,74	0	0,358	2,88	-280,61			
2,5	228,79	0	152,22	8,43	175,28	84,14	0	12,94	263,34	16,03	8,20	250,17	15,22	235,41	111,01	79,93	0	0,375	3	-286,49			
2,6	236,17	0	152,94	8,43	191,89	88,56	0	14,34	277,20	16,87	9,56	277,20	16,87	247,8	127,93	88,56	0	0,393	3,12	-292,08			
2,7	243,55	0	153,65	8,43	209,23	92,99	0	15,81	291,06	17,71	11,07	305,61	18,60	260,19	146,46	97,64	0	0,410	3,24	-297,36			
2,8	250,93	0	154,37	8,43	227,31	97,42	0	17,35	304,92	18,56	12,72	335,41	20,41	272,58	166,70	107,16	0	0,427	3,36	-302,35			
2,9	258,31	0	155,09	8,43	246,13	101,85	0	18,96	318,78	19,40	14,54	366,59	22,31	284,97	188,70	117,13	0	0,444	3,48	-307,05			
3	265,69	0	155,80	8,43	265,69	106,28	0	20,65	332,64	20,24	16,52	399,16	24,29	297,36	212,55	127,53	0	0,461	3,6	-311,44			
3,1	273,07	0	156,52	8,43	285,99	110,71	0	22,40	346,50	21,09	18,67	433,12	26,36	309,75	238,32	138,38	0	0,478	3,72	-315,54			
3,2	280,45	0	157,24	8,43	307,02	115,13	0	24,23	360,36	21,93	21,00	468,46	28,51	322,14	266,09	149,67	0	0,495	3,84	-319,34			
3,3	287,83	0	157,96	8,43	328,79	119,56	0	26,13	374,22	22,77	23,52	505,19	30,74	334,53	295,91	161,41	0	0,512	3,96	-322,84			

3.4	295,21	0	158,67	8,43	351,30	123,99	0	28,10	388,08	23,62	26,23	543,31	33,06	346,92	327,88	173,59	0	0,528	4,08	-326,05
3.5	302,59	0	159,39	8,43	374,55	128,42	0	30,15	401,93	24,46	29,14	582,81	35,47	359,31	362,07	186,21	0	0,545	4,2	-328,96
3.6	309,97	0	160,11	8,43	398,54	132,85	0	32,26	415,79	25,30	32,26	623,69	37,96	371,7	398,54	199,27	0	0,561	4,32	-331,57
3.7	317,35	0	160,82	8,43	423,26	137,27	0	34,45	429,65	26,15	35,60	665,96	40,53	384,09	437,37	212,78	0	0,577	4,44	-333,88
3.8	324,74	0	161,54	8,43	448,72	141,70	0	36,71	443,51	26,99	39,15	709,62	43,19	396,48	478,64	226,72	0	0,594	4,56	-335,9
3.9	332,12	0	162,26	8,43	474,93	146,13	0	39,04	457,37	27,83	42,94	754,67	45,93	408,87	522,42	241,12	0	0,610	4,68	-337,62
4	339,50	0	162,97	8,43	501,86	150,56	0	41,44	471,23	28,68	46,96	801,10	48,75	421,26	568,78	255,95	0	0,626	4,8	-339,04
4.1	346,88	0	163,69	8,43	529,54	154,99	0	43,91	485,09	29,52	51,23	848,91	51,66	433,65	617,80	271,23	0	0,642	4,92	-340,16
4.2	354,26	0	164,41	8,43	557,95	159,42	0	46,46	498,95	30,36	55,75	898,12	54,66	446,04	669,54	286,95	0	0,658	5,04	-340,99
4.3	361,64	0	165,13	8,43	587,11	163,84	0	49,07	512,81	31,21	60,53	948,70	57,73	458,43	724,10	303,11	0	0,673	5,16	-341,52
4.4	369,02	0	165,84	8,43	617,00	168,27	0	51,76	526,67	32,05	65,57	1000,68	60,90	470,82	781,53	319,72	0	0,689	5,28	-341,75
4.5	376,40	0	166,56	8,43	647,63	172,70	0	54,52	540,53	32,89	70,88	1054,04	64,15	483,21	841,91	336,77	0	0,705	5,4	-341,69
4.6	383,78	0	167,28	8,43	678,99	177,13	0	57,36	554,39	33,74	76,47	1108,79	67,48	495,6	905,32	354,26	0	0,720	5,52	-341,33
4.7	391,16	0	167,99	8,43	711,10	181,56	0	60,26	568,25	34,58	82,35	1164,92	70,89	507,99	971,83	372,19	0	0,736	5,64	-340,67
4.8	398,54	0	168,71	8,43	743,94	185,98	0	63,23	582,11	35,43	88,53	1222,44	74,39	520,38	1041,51	390,57	0	0,751	5,76	-339,71
4.9	405,92	0	169,43	8,43	777,52	190,41	0	66,28	595,97	36,27	95,00	1281,34	77,98	532,77	1114,44	409,39	0	0,767	5,88	-338,46
5	413,30	0	170,14	8,43	811,84	194,84	0	69,40	609,83	37,11	101,79	1341,63	81,65	545,16	1190,70	428,65	0	0,782	6	-336,9
5.1	420,68	0	170,86	8,43	846,89	199,27	0	72,59	623,69	37,96	108,89	1403,31	85,40	557,55	1270,34	448,36	0	0,797	6,12	-335,06
5.2	428,06	0	171,58	8,43	882,69	203,70	0	75,85	637,55	38,80	116,31	1466,37	89,24	569,94	1353,46	468,50	0	0,813	6,24	-332,91
5.3	435,44	0	172,29	8,43	919,22	208,13	0	79,19	651,41	39,64	124,06	1530,82	93,16	582,33	1440,11	489,10	0	0,828	6,36	-330,47
5.4	442,82	0	173,01	8,43	956,49	212,55	0	82,59	665,27	40,49	132,15	1596,65	97,17	594,72	1530,39	510,13	0	0,843	6,48	-327,73
5.5	450,20	0	173,73	8,43	994,50	216,98	0	86,07	679,13	41,33	140,58	1663,87	101,26	607,11	1624,35	531,61	0	0,858	6,6	-324,69
5.6	457,58	0	174,45	8,43	1033,25	221,41	0	89,62	692,99	42,17	149,36	1732,48	105,43	619,5	1722,08	553,53	0	0,873	6,72	-321,35
5.7	464,96	0	175,16	8,43	1072,73	225,84	0	93,24	706,85	43,02	158,50	1802,47	109,69	631,89	1823,65	575,89	0	0,888	6,84	-317,72
5.8	472,34	0	175,88	8,43	1112,96	230,27	0	96,93	720,71	43,86	168,01	1873,85	114,04	644,28	1929,12	598,69	0	0,903	6,96	-313,79
5.9	479,72	0	176,60	8,43	1153,92	234,69	0	100,69	734,57	44,70	177,89	1946,61	118,46	656,67	2038,59	621,94	0	0,918	7,08	-309,56
6	487,10	0	177,31	8,43	1195,62	239,12	0	104,53	748,43	45,55	188,15	2020,76	122,98	669,06	2152,11	645,63	0	0,932	7,2	-305,04
6.1	494,48	0	178,03	8,43	1238,05	243,55	0	108,44	762,29	46,39	199,80	2096,30	127,57	681,45	2269,76	669,77	0	0,947	7,32	-300,22
6.2	501,86	0	178,75	8,43	1281,23	247,98	0	112,42	776,15	47,23	208,84	2173,22	132,25	693,84	2391,63	694,34	0	0,962	7,44	-295,1
6.3	509,24	0	179,46	8,43	1325,14	252,41	0	116,47	790,01	48,08	221,29	2251,53	137,02	706,23	2517,77	719,36	0	0,976	7,56	-289,68
6.4	516,62	0	180,18	8,43	1369,79	256,84	0	120,59	803,87	48,92	233,14	2331,22	141,87	718,62	2648,26	744,82	0	0,991	7,68	-283,97
6.5	524,00	0	180,90	8,43	1415,18	261,26	0	124,78	817,73	49,76	245,41	2412,30	146,80	731,01	2783,19	770,73	0	1,005	7,8	-277,95
6.6	531,38	0	181,61	8,43	1461,31	265,69	0	129,05	831,59	50,61	258,10	2494,77	151,82	743,4	2922,62	797,08	0	1,020	7,92	-271,65
6.7	538,77	0	182,33	8,43	1508,17	270,12	0	133,39	845,45	51,45	271,22	2578,62	156,93	755,79	3066,62	823,87	0	1,034	8,04	-265,04
6.8	546,15	0	183,05	8,43	1555,78	274,55	0	137,80	859,31	52,29	284,78	2663,86	162,11	768,18	3215,27	851,10	0	1,048	8,16	-258,14
6.9	553,53	0	183,77	8,43	1604,12	278,98	0	142,28	873,17	53,14	298,78	2750,48	167,38	780,57	3368,65	878,78	0	1,063	8,28	-250,97
7	560,91	0	184,48	8,43	1653,20	283,41	0	146,83	887,03	53,98	313,24	2838,49	172,74	792,96	3526,82	906,90	0	1,077	8,4	-243,44
7.1	568,29	0	185,20	8,43	1703,01	287,83	0	151,45	900,89	54,82	328,15	2927,89	178,18	805,35	3689,86	935,46	0	1,091	8,52	-235,64
7.2	575,67	0	185,92	8,43	1753,57	292,26	0	156,15	914,75	55,67	343,53	3018,67	183,71	817,74	3857,85	964,46	0	1,105	8,64	-227,55
7.3	583,05	0	186,63	8,43	1804,86	296,69	0	160,92	928,61	56,51	359,38	3110,84	189,31	830,13	4030,86	993,91	0	1,119	8,76	-219,16
7.4	590,43	0	187,35	8,43	1856,89	301,12	0	165,76	942,47	57,36	375,72	3204,39	195,01	842,52	4208,96	1023,80	0	1,133	8,88	-210,47
7.5	597,81	0	188,07	8,43	1909,66	305,55	0	170,67	956,33	58,20	392,54	3299,33	200,79	854,91	4392,23	1054,13	0	1,147	9	-201,49
7.6	605,19	0	188,78	8,43	1963,17	309,97	0	175,65	970,19	59,04	409,85	3395,66	206,65	867,3	4580,73	1084,91	0	1,161	9,12	-192,21
7.7	612,57	0	189,50	8,43	2017,42	314,40	0	180,71	984,05	59,89	427,67	3493,37	212,59	879,69	4774,55	1116,13	0	1,175	9,24	-182,63
7.8	619,95	0	190,22	8,43	2072,40	318,83	0	185,83	997,91	60,73	445,99	3592,47	218,62	892,08	4973,76	1147,79	0	1,189	9,36	-172,75
7.9	627,33	0	190,93	8,43	2128,12	323,26	0	191,03	1011,77	61,57	464,84	3692,95	224,74	904,47	5178,43	1179,90	0	1,203	9,48	-162,58
8	634,71	0	191,65	8,43	2184,58	327,69	0	196,30	1025,63	62,42	484,20	3794,82	230,94	916,86	5388,64	1212,44	0	1,216	9,6	-152,11
8.1	642,09	0	192,37	8,43	2241,78	332,12	0	201,64	1039,49	63,26	504,10	3898,07	237,22	929,25	5604,45	1245,43	0	1,230	9,72	-141,34
8.2	649,47	0	193,09	8,43	2299,72	336,54	0	207,05	1053,35	64,10	524,53	4002,72	243,59	941,64	5825,95	1278,87	0	1,244	9,84	-130,27
8.3	656,85	0	193,80	8,43	2358,39	340,97	0	212,54	1067,21	64,95	545,51	4108,74	250,04	954,03	6053,20	1312,74	0	1,257	9,96	-118,91
8.4	664,23	0	194,52	8,43	2417,80	345,40	0	218,09	1081,07	65,79	567,04	4216,16	256,58	966,42	6286,28	1347,06	0	1,271	10,08	-107,25
8.5	671,61	0	195,24	8,43	2477,95	349,83	0	223,72	1094,93	66,63	589,13	4324,96	263,20	978,81	6525,27	1381,82	0	1,284	10,2	-95,291
8.6	678,99	0	195,95	8,43	2538,84	354,26	0	229,42	1108,79	67,48	611,79	4435,14	269,91	991,2	6770,24	1417,03	0	1,298	10,32	-83,036
8.7	686,37	0	196,67	8,43	2600,46	358,68	0	235,19	1122,65	68,32	635,02	4546,71	276,70	1003,59	7021,25	1452,67	0	1,311	10,44	-70,484
8.8	693,75	0	197,39	8,43	2662,83	363,11	0	241,04	1136,51	69,16	658,83	4659,67	283,57	1015,98	7278,40	1488,76	0	1,325	10,56	-57,634
8.9	701,13	0	198,10	8,43	2725,93	367,54	0	246,95	1150,37	70,01	683,23	4774,02	290,53	1028,37	7541,74	1525,30	0	1,338	10,68	-44,487
9	708,51	0	198,82	8,43	2789,77	371,97	0	252,94	1164,23	70,85	708,22	4889,75	297,57	1040,76	7811,36	1562,27	0	1,351	10,8	-31,043

9.1	715,89	0	199,54	8,43	2854,35	376,40	0	259,00	1178,08	71,69	733,82	5006,86	304,70	1053,15	8087,32	1599,69	0	1,365	10,92	-17,301
9.2	723,27	0	200,26	8,43	2919,66	380,83	0	265,12	1191,94	72,54	760,02	5125,36	311,91	1065,54	8369,70	1637,55	0	1,378	11,04	-3,2621
9.3	730,65	0	200,97	8,43	2985,72	385,25	0	271,33	1205,80	73,38	786,85	5245,25	319,21	1077,93	8658,58	1675,85	0	1,391	11,16	11,074
9.4	738,03	0	201,69	8,43	3052,51	389,68	0	277,60	1219,66	74,22	814,29	5366,52	326,59	1090,32	8954,03	1714,60	0	1,404	11,28	25,708
9.5	745,41	0	202,41	8,43	3120,04	394,11	0	283,94	1233,52	75,07	842,37	5489,18	334,05	1102,71	9256,12	1753,79	0	1,417	11,4	40,639
9.6	752,80	0	203,12	8,43	3188,31	398,54	0	290,36	1247,38	75,91	871,08	5613,23	341,60	1115,1	9564,93	1793,42	0	1,430	11,52	55,867
9.7	760,18	0	203,84	8,43	3257,32	402,97	0	296,85	1261,24	76,75	900,44	5738,66	349,23	1127,49	9880,52	1833,50	0	1,443	11,64	71,393
9.8	767,56	0	204,56	8,43	3327,06	407,40	0	303,41	1275,10	77,60	930,46	5865,48	356,95	1139,88	10202,98	1874,02	0	1,456	11,76	87,216
9.9	774,94	0	205,27	8,43	3397,54	411,82	0	310,04	1288,96	78,44	961,13	5993,68	364,75	1152,27	10532,38	1914,98	0	1,469	11,88	103,34
10	782,32	0	205,99	8,43	3468,76	416,25	0	316,74	1302,82	79,29	992,47	6123,27	372,64	1164,66	10868,79	1956,38	0	1,482	12	119,75
10.1	789,70	0	206,71	8,43	3540,72	420,68	0	323,52	1316,68	80,13	1024,48	6254,24	380,61	1177,05	11212,28	1998,23	0	1,495	12,12	136,47
10.2	797,08	0	207,42	8,43	3613,42	425,11	0	330,37	1330,54	80,97	1057,17	6386,61	388,67	1189,44	11562,93	2040,52	0	1,508	12,24	153,48
10.3	804,46	0	208,14	8,43	3686,85	429,54	0	337,29	1344,40	81,82	1090,56	6520,35	396,81	1201,83	11920,82	2083,25	0	1,521	12,36	170,79
10.4	811,84	0	208,86	8,43	3761,02	433,96	0	344,28	1358,26	82,66	1124,63	6655,49	405,03	1214,22	12286,01	2126,42	0	1,533	12,48	188,4
10.5	819,22	0	209,58	8,43	3835,93	438,39	0	351,34	1372,12	83,50	1159,41	6792,01	413,34	1226,61	12658,58	2170,04	0	1,546	12,6	206,3
10.6	826,60	0	210,29	8,43	3911,58	442,82	0	358,47	1385,98	84,35	1194,90	6929,91	421,73	1239	13038,61	2214,10	0	1,559	12,72	224,5
10.7	833,98	0	211,01	8,43	3987,97	447,25	0	365,68	1399,84	85,19	1231,11	7069,20	430,21	1251,39	13426,16	2258,61	0	1,571	12,84	243
10.8	841,36	0	211,73	8,43	4065,09	451,68	0	372,95	1413,70	86,03	1268,04	7209,88	438,77	1263,78	13821,32	2303,55	0	1,584	12,96	261,8
10.9	848,74	0	212,44	8,43	4142,96	456,11	0	380,30	1427,56	86,88	1305,70	7351,94	447,41	1276,17	14224,15	2348,94	0	1,596	13,08	280,89
11	856,12	0	213,16	8,43	4221,56	460,53	0	387,72	1441,42	87,72	1344,10	7495,39	456,14	1288,56	14634,73	2394,77	0	1,609	13,2	300,28
11.1	863,50	0	213,88	8,43	4300,90	464,96	0	395,21	1455,28	88,56	1383,25	7640,23	464,96	1300,95	15053,14	2441,05	0	1,621	13,32	319,97
11.2	870,88	0	214,59	8,43	4380,97	469,39	0	402,78	1469,14	89,41	1423,15	7786,45	473,86	1313,34	15479,44	2487,77	0	1,634	13,44	339,96
11.3	878,26	0	215,31	8,43	4461,79	473,82	0	410,41	1483,00	90,25	1463,81	7934,05	482,84	1325,73	15913,71	2534,93	0	1,646	13,56	360,24
11.4	885,64	0	216,03	8,43	4543,34	478,25	0	418,12	1496,86	91,09	1505,23	8083,05	491,91	1338,12	16356,02	2582,53	0	1,659	13,68	380,82
11.5	893,02	0	216,74	8,43	4625,63	482,67	0	425,90	1510,72	91,94	1547,43	8233,43	501,06	1350,51	16806,46	2630,58	0	1,671	13,8	401,7
11.6	900,40	0	217,46	8,43	4708,66	487,10	0	433,75	1524,58	92,78	1590,41	8385,19	510,29	1362,9	17265,09	2679,07	0	1,683	13,92	422,87
11.7	907,78	0	218,18	8,43	4792,43	491,53	0	441,67	1538,44	93,62	1634,19	8538,34	519,61	1375,29	17731,98	2728,00	0	1,695	14,04	444,34
11.8	915,16	0	218,90	8,43	4876,93	495,96	0	449,67	1552,30	94,47	1678,75	8692,88	529,02	1387,68	18207,21	2777,37	0	1,708	14,16	466,11
11.9	922,54	0	219,61	8,43	4962,17	500,39	0	457,73	1566,16	95,31	1724,12	8848,80	538,51	1400,07	18690,86	2827,19	0	1,720	14,28	488,18
12	929,92	0	220,33	8,43	5048,16	504,82	0	465,87	1580,02	96,15	1770,30	9006,11	548,08	1412,46	19182,99	2877,45	0	1,732	14,4	510,54
12.1	937,30	0	221,05	8,43	5134,87	509,24	0	474,08	1593,88	97,00	1817,30	9164,81	557,74	1424,85	19683,69	2928,15	0	1,744	14,52	533,2
12.2	944,68	0	221,76	8,43	5222,33	513,67	0	482,36	1607,74	97,84	1865,12	9324,89	567,48	1437,24	20193,02	2979,30	0	1,756	14,64	556,16
12.3	952,06	0	222,48	8,43	5310,53	518,10	0	490,71	1621,60	98,68	1913,77	9486,35	577,31	1449,63	20711,06	3030,89	0	1,768	14,76	579,42
12.4	959,44	0	223,20	8,43	5399,46	522,53	0	499,13	1635,46	99,53	1963,26	9649,21	587,22	1462,02	21237,88	3082,92	0	1,780	14,88	602,97
12.5	966,83	0	223,91	8,43	5489,13	526,96	0	507,63	1649,32	100,37	2013,60	9813,45	597,21	1474,41	21773,55	3135,39	0	1,792	15	626,82
12.6	974,21	0	224,63	8,43	5579,54	531,38	0	516,20	1663,18	101,22	2064,79	9979,07	607,29	1486,8	22318,16	3188,31	0	1,804	15,12	650,97
12.7	981,59	0	225,35	8,43	5670,69	535,81	0	524,84	1677,04	102,06	2116,84	10146,08	617,46	1499,19	22871,77	3241,67	0	1,816	15,24	675,42
12.8	988,97	0	226,07	8,43	5762,57	540,24	0	533,55	1690,90	102,90	2169,76	10314,48	627,70	1511,58	23434,46	3295,47	0	1,828	15,36	700,16
12.9	996,35	0	226,78	8,43	5855,20	544,67	0	542,33	1704,76	103,75	2223,55	10484,26	638,04	1523,97	24006,31	3349,72	0	1,840	15,48	725,2
13	1003,73	0	227,50	8,43	5948,56	549,10	0	551,18	1718,62	104,59	2278,23	10655,43	648,45	1536,36	24587,37	3404,41	0	1,851	15,6	750,54
13.1	1011,11	0	228,22	8,43	6042,66	553,53	0	560,11	1732,48	105,43	2333,79	10827,99	658,95	1548,75	25177,74	3459,54	0	1,863	15,72	776,17
13.2	1018,49	0	228,93	8,43	6137,49	557,95	0	569,11	1746,34	106,28	2390,25	11001,93	669,54	1561,14	25777,48	3515,11	0	1,875	15,84	802,1
13.3	1025,87	0	229,65	8,43	6233,07	562,38	0	578,18	1760,20	107,12	2447,62	11177,25	680,21	1573,53	26386,66	3571,13	0	1,887	15,96	828,33
13.4	1033,25	0	230,37	8,43	6329,38	566,81	0	587,32	1774,06	107,96	2505,89	11353,97	690,96	1585,92	27005,37	3627,59	0	1,898	16,08	854,86
13.5	1040,63	0	231,08	8,43	6426,44	571,24	0	596,53	1787,92	108,81	2565,08	11532,06	701,80	1598,31	27633,67	3684,49	0	1,910	16,2	881,68
13.6	1048,01	0	231,80	8,43	6524,22	575,67	0	605,82	1801,78	109,65	2625,20	11711,55	712,72	1610,7	28271,64	3741,83	0	1,922	16,32	908,8
13.7	1055,39	0	232,52	8,43	6622,75	580,10	0	615,17	1815,64	110,49	2686,25	11892,42	723,73	1623,09	28919,35	3799,62	0	1,933	16,44	936,22
13.8	1062,77	0	233,23	8,43	6722,02	584,52	0	624,60	1829,50	111,34	2748,24	12074,68	734,82	1635,48	29576,88	3857,85	0	1,945	16,56	963,94
13.9	1070,15	0	233,95	8,43	6822,02	588,95	0	634,10	1843,36	112,18	2811,17	12258,32	746,00	1647,87	30244,30	3916,53	0	1,956	16,68	991,95
14	1077,53	0	234,67	8,43	6922,76	593,38	0	643,67	1857,22	113,02	2875,06	12443,35	757,26	1660,26	30921,68	3975,64	0	1,968	16,8	1020,3
14.1	1084,91	0	235,39	8,43	7024,24	597,81	0	653,31	1871,08	113,87	2939,91	12629,76	768,60	1672,65	31609,09	4035,20	0	1,979	16,92	1048,9
14.2	1092,29	0	236,10	8,43	7126,46	602,24	0	663,03	1884,94	114,71	3005,72	12817,56	780,03	1685,04	32306,62	4095,21	0	1,990	17,04	1077,8
14.3	1099,67	0	236,82	8,43	7229,42	606,66	0	672,81	1898,80	115,55	3072,52	13006,75	791,55	1697,43	33014,34	4155,65	0	2,002	17,16	1107

ANEXO D – PLANILHA DE CÁLCULO DO CASO 3

VIGA EQUIVALENTE SUPERIOR - CASO 3					
DADOS		PRESSÕES HORIZONTAIS (kN/m²)		EMPUXO RESULTANTE (kN/m)	
ESTADO ATIVO		PASSIVO		PRESSÃO RETIFICADA (kN/m²)	
γ (kN/m³)	17	(σp,φ) h,i	44,28	Er	1420,92
c (kPa)	7	(σp,c)h,i	0	PRESSÃO RETIFICADA (kN/m²)	
φ (°)	24	ATIVO		σr	
q (kN)	20	(σa)h,i	138,60	68,98	
ka	0,422	SOBRECARGA		CARGA APLICADA (kN/m²)	
ESTADO PASSIVO		(σq)h,i		q + σr	
γ (kN/m³)	20	EMPUXOS (kN/m)		77,41	
c (kPa)	0	PASSIVO		REAÇÕES (kN)	
φ (°)	35	Ep,φ ,i	13,28	ENCONTRADAS NO FT00L	
q (kN)	0	Ep,c, i	0	T1	
kp	3,690	ATIVO		338,3	
ALTURAS DA ESTRUTURA		Ea,i	1427,56	T2	
H (m)	20	SOBRECARGA		433,4	
x (m)	0,6	Eq,i	173,7528515	T3	
SISTEMAS DE ANCORAGEM				T4	
t1 (m)	2			58,5	
t2 (m)	7				
t3 (m)	13				
t4 (m)	18				
DADOS DE PROJETO					
FS	2				

VIGA INFERIOR EQUIVALENTE - CASO 3																					
Ficha Mínima(m)	Pressões Horizontais (kN/m²)						Empuxos (kN/m)						Momentos (kN.m)						Resultados		
	Passivo		Ativo	Sobrecarga	Passivo			Ativo			Solicitante			Resistente			FS rotação	d (m)	R (kN)		
	(σp,φ)h	(σp,c)h	(σa)h	(σq)h	Ep,φ	Ep,φ,i	Ep,c	Ea	Ea,i	Eq	Ma	Ma,i	Mq	MR'	Mp,φ	Mp,φ,i				Mp,c	
0,61	89,30	0	138,67	8,43	0,23	0,44	0	0,00	1,39	0,08	0,00	0,00	0,585	0,00	0,00	0	0,005	0,732	-59,637		
0,7	95,94	0	139,32	8,43	2,58	4,43	0	0,04	13,86	0,84	0,00	0,69	0,04	5,85	0,09	0,22	0	0,047	0,84	-69,733	
0,8	103,32	0	140,03	8,43	5,90	8,86	0	0,14	27,72	1,69	0,01	2,77	0,17	11,7	0,39	0,89	0	0,087	0,96	-80,67	
0,9	110,71	0	140,75	8,43	9,96	13,28	0	0,32	41,58	2,53	0,03	6,24	0,38	17,55	1,00	1,99	0	0,124	1,08	-91,308	
1	118,09	0	141,47	8,43	14,76	17,71	0	0,57	55,44	3,37	0,08	11,09	0,67	23,4	1,97	3,54	0	0,156	1,2	-101,65	
1,1	125,47	0	142,18	8,43	20,30	22,14	0	0,90	69,30	4,22	0,15	17,32	1,05	29,25	3,38	5,54	0	0,187	1,32	-111,69	
1,2	132,85	0	142,90	8,43	26,57	26,57	0	1,29	83,16	5,06	0,26	24,95	1,52	35,1	5,31	7,97	0	0,215	1,44	-121,44	
1,3	140,23	0	143,62	8,43	33,58	31,00	0	1,76	97,02	5,90	0,41	33,96	2,07	40,95	7,84	10,85	0	0,241	1,56	-130,89	
1,4	147,61	0	144,33	8,43	41,33	35,43	0	2,29	110,88	6,75	0,61	44,35	2,70	46,8	11,02	14,17	0	0,267	1,68	-140,04	
1,5	154,99	0	145,05	8,43	49,82	39,85	0	2,90	124,74	7,59	0,87	56,13	3,42	52,65	14,95	17,93	0	0,291	1,8	-148,9	
1,6	162,37	0	145,77	8,43	59,04	44,28	0	3,58	138,60	8,43	1,19	69,30	4,22	58,5	19,68	22,14	0	0,314	1,92	-157,46	
1,7	169,75	0	146,48	8,43	69,01	48,71	0	4,34	152,46	9,28	1,59	83,85	5,10	64,35	25,30	26,79	0	0,336	2,04	-165,72	
1,8	177,13	0	147,20	8,43	79,71	53,14	0	5,16	166,32	10,12	2,06	99,79	6,07	70,2	31,88	31,88	0	0,358	2,16	-173,68	
1,9	184,51	0	147,92	8,43	91,15	57,57	0	6,06	180,18	10,96	2,63	117,12	7,13	76,05	39,50	37,42	0	0,379	2,28	-181,34	
2	191,89	0	148,64	8,43	103,32	61,99	0	7,03	194,04	11,81	3,28	135,83	8,27	81,9	48,22	43,40	0	0,400	2,4	-188,71	
2,1	199,27	0	149,35	8,43	116,24	66,42	0	8,07	207,90	12,65	4,03	155,92	9,49	87,75	58,12	49,82	0	0,420	2,52	-195,78	
2,2	206,65	0	150,07	8,43	129,89	70,85	0	9,18	221,76	13,50	4,89	177,41	10,80	93,6	69,28	56,68	0	0,439	2,64	-202,56	
2,3	214,03	0	150,79	8,43	144,29	75,28	0	10,36	235,62	14,34	5,87	200,27	12,19	99,45	81,76	63,99	0	0,459	2,76	-209,03	
2,4	221,41	0	151,50	8,43	159,42	79,71	0	11,61	249,48	15,18	6,97	224,53	13,66	105,3	95,65	71,74	0	0,478	2,88	-215,21	
2,5	228,79	0	152,22	8,43	175,28	84,14	0	12,94	263,34	16,03	8,20	250,17	15,22	111,15	111,01	79,93	0	0,496	3	-221,09	
2,6	236,17	0	152,94	8,43	191,89	88,56	0	14,34	277,20	16,87	9,56	277,20	16,87	117	127,93	88,56	0	0,515	3,12	-226,68	
2,7	243,55	0	153,65	8,43	209,23	92,99	0	15,81	291,06	17,71	11,07	305,61	18,60	122,85	146,46	97,64	0	0,533	3,24	-231,96	
2,8	250,93	0	154,37	8,43	227,31	97,42	0	17,35	304,92	18,56	12,72	335,41	20,41	128,7	166,70	107,16	0	0,551	3,36	-236,95	
2,9	258,31	0	155,09	8,43	246,13	101,85	0	18,96	318,78	19,40	14,54	366,59	22,31	134,55	188,70	117,13	0	0,568	3,48	-241,65	
3	265,69	0	155,80	8,43	265,69	106,28	0	20,65	332,64	20,24	16,52	399,16	24,29	140,4	212,55	127,53	0	0,586	3,6	-246,04	
3,1	273,07	0	156,52	8,43	285,99	110,71	0	22,40	346,50	21,09	18,67	433,12	26,36	146,25	238,32	138,38	0	0,603	3,72	-250,14	
3,2	280,45	0	157,24	8,43	307,02	115,13	0	24,23	360,36	21,93	21,00	468,46	28,51	152,1	266,09	149,67	0	0,620	3,84	-253,94	
3,3	287,83	0	157,96	8,43	328,79	119,56	0	26,13	374,22	22,77	23,52	505,19	30,74	157,95	295,91	161,41	0	0,637	3,96	-257,44	

3,4	295,21	0	158,67	8,43	351,30	123,99	0	28,10	388,08	23,62	26,23	543,31	33,06	163,8	327,88	173,59	0	0,654	4,08	-260,65
3,5	302,59	0	159,39	8,43	374,55	128,42	0	30,15	401,93	24,46	29,14	582,81	35,47	169,65	362,07	186,21	0	0,671	4,2	-263,56
3,6	309,97	0	160,11	8,43	398,54	132,85	0	32,26	415,79	25,30	32,26	623,69	37,96	175,5	398,54	199,27	0	0,688	4,32	-266,17
3,7	317,35	0	160,82	8,43	423,26	137,27	0	34,45	429,65	26,15	35,60	665,96	40,53	181,35	437,37	212,78	0	0,704	4,44	-268,48
3,8	324,74	0	161,54	8,43	448,72	141,70	0	36,71	443,51	26,99	39,15	709,62	43,19	187,2	478,64	226,72	0	0,720	4,56	-270,5
3,9	332,12	0	162,26	8,43	474,93	146,13	0	39,04	457,37	27,83	42,94	754,67	45,93	193,05	522,42	241,12	0	0,737	4,68	-272,22
4	339,50	0	162,97	8,43	501,86	150,56	0	41,44	471,23	28,68	46,96	801,10	48,75	198,9	568,78	255,95	0	0,753	4,8	-273,64
4,1	346,88	0	163,69	8,43	529,54	154,99	0	43,91	485,09	29,52	51,23	848,91	51,66	204,75	617,80	271,23	0	0,769	4,92	-274,76
4,2	354,26	0	164,41	8,43	557,95	159,42	0	46,46	498,95	30,36	55,75	898,12	54,66	210,6	669,54	286,95	0	0,785	5,04	-275,59
4,3	361,64	0	165,13	8,43	587,11	163,84	0	49,07	512,81	31,21	60,53	948,70	57,73	216,45	724,10	303,11	0	0,800	5,16	-276,12
4,4	369,02	0	165,84	8,43	617,00	168,27	0	51,76	526,67	32,05	65,57	1000,68	60,90	222,3	781,53	319,72	0	0,816	5,28	-276,35
4,5	376,40	0	166,56	8,43	647,63	172,70	0	54,52	540,53	32,89	70,88	1054,04	64,15	228,15	841,91	336,77	0	0,832	5,4	-276,29
4,6	383,78	0	167,28	8,43	678,99	177,13	0	57,36	554,39	33,74	76,47	1108,79	67,48	234	905,32	354,26	0	0,847	5,52	-275,93
4,7	391,16	0	167,99	8,43	711,10	181,56	0	60,26	568,25	34,58	82,35	1164,92	70,89	239,85	971,83	372,19	0	0,863	5,64	-275,27
4,8	398,54	0	168,71	8,43	743,94	185,98	0	63,23	582,11	35,43	88,53	1222,44	74,39	245,7	1041,51	390,57	0	0,878	5,76	-274,31
4,9	405,92	0	169,43	8,43	777,52	190,41	0	66,28	595,97	36,27	95,00	1281,34	77,98	251,55	1114,44	409,39	0	0,893	5,88	-273,06
5	413,30	0	170,14	8,43	811,84	194,84	0	69,40	609,83	37,11	101,79	1341,63	81,65	257,4	1190,70	428,65	0	0,908	6	-271,5
5,1	420,68	0	170,86	8,43	846,89	199,27	0	72,59	623,69	37,96	108,89	1403,31	85,40	263,25	1270,34	448,36	0	0,924	6,12	-269,66
5,2	428,06	0	171,58	8,43	882,69	203,70	0	75,85	637,55	38,80	116,31	1466,37	89,24	269,1	1353,46	468,50	0	0,939	6,24	-267,51
5,3	435,44	0	172,29	8,43	919,22	208,13	0	79,19	651,41	39,64	124,06	1530,82	93,16	274,95	1440,11	489,10	0	0,954	6,36	-265,07
5,4	442,82	0	173,01	8,43	956,49	212,55	0	82,59	665,27	40,49	132,15	1596,65	97,17	280,8	1530,39	510,13	0	0,969	6,48	-262,33
5,5	450,20	0	173,73	8,43	994,50	216,98	0	86,07	679,13	41,33	140,58	1663,87	101,26	286,65	1624,35	531,61	0	0,983	6,6	-259,29
5,6	457,58	0	174,45	8,43	1033,25	221,41	0	89,62	692,99	42,17	149,36	1732,48	105,43	292,5	1722,08	553,53	0	0,998	6,72	-255,95
5,7	464,96	0	175,16	8,43	1072,73	225,84	0	93,24	706,85	43,02	158,50	1802,47	109,69	298,35	1823,65	575,89	0	1,013	6,84	-252,32
5,8	472,34	0	175,88	8,43	1112,96	230,27	0	96,93	720,71	43,86	168,01	1873,85	114,04	304,2	1929,12	598,69	0	1,028	6,96	-248,39
5,9	479,72	0	176,60	8,43	1153,92	234,69	0	100,69	734,57	44,70	177,89	1946,61	118,46	310,05	2038,59	621,94	0	1,042	7,08	-244,16
6	487,10	0	177,31	8,43	1195,62	239,12	0	104,53	748,43	45,55	188,15	2020,76	122,98	315,9	2152,11	645,63	0	1,057	7,2	-239,64
6,1	494,48	0	178,03	8,43	1238,05	243,55	0	108,44	762,29	46,39	198,80	2096,30	127,57	321,75	2269,76	669,77	0	1,071	7,32	-234,82
6,2	501,86	0	178,75	8,43	1281,23	247,98	0	112,42	776,15	47,23	209,84	2173,22	132,25	327,6	2391,63	694,34	0	1,085	7,44	-229,7
6,3	509,24	0	179,46	8,43	1325,14	252,41	0	116,47	790,01	48,08	221,29	2251,53	137,02	333,45	2517,77	719,36	0	1,100	7,56	-224,28
6,4	516,62	0	180,18	8,43	1369,79	256,84	0	120,59	803,87	48,92	233,14	2331,22	141,87	339,3	2648,26	744,82	0	1,114	7,68	-218,57
6,5	524,00	0	180,90	8,43	1415,18	261,26	0	124,78	817,73	49,76	245,41	2412,30	146,80	345,15	2783,19	770,73	0	1,128	7,8	-212,55
6,6	531,38	0	181,61	8,43	1461,31	265,69	0	129,05	831,59	50,61	258,10	2494,77	151,82	351	2922,62	797,08	0	1,143	7,92	-206,25
6,7	538,77	0	182,33	8,43	1508,17	270,12	0	133,39	845,45	51,45	271,22	2578,62	156,93	356,85	3066,62	823,87	0	1,157	8,04	-199,64
6,8	546,15	0	183,05	8,43	1555,78	274,55	0	137,80	859,31	52,29	284,78	2663,86	162,11	362,7	3215,27	851,10	0	1,171	8,16	-192,74
6,9	553,53	0	183,77	8,43	1604,12	278,98	0	142,28	873,17	53,14	298,78	2750,48	167,38	368,55	3368,65	878,78	0	1,185	8,28	-185,54
7	560,91	0	184,48	8,43	1653,20	283,41	0	146,83	887,03	53,98	313,24	2838,49	172,74	374,4	3526,82	906,90	0	1,199	8,4	-178,04
7,1	568,29	0	185,20	8,43	1703,01	287,83	0	151,45	900,89	54,82	328,15	2927,89	178,18	380,25	3689,86	935,46	0	1,213	8,52	-170,24
7,2	575,67	0	185,92	8,43	1753,57	292,26	0	156,15	914,75	55,67	343,53	3018,67	183,71	386,1	3857,85	964,46	0	1,226	8,64	-162,15
7,3	583,05	0	186,63	8,43	1804,86	296,69	0	160,92	928,61	56,51	359,38	3110,84	189,31	391,95	4030,86	993,91	0	1,240	8,76	-153,76
7,4	590,43	0	187,35	8,43	1856,89	301,12	0	165,76	942,47	57,36	375,72	3204,39	195,01	397,8	4208,96	1023,80	0	1,254	8,88	-145,07
7,5	597,81	0	188,07	8,43	1909,66	305,55	0	170,67	956,33	58,20	392,54	3299,33	200,79	403,65	4392,23	1054,13	0	1,268	9	-136,09
7,6	605,19	0	188,78	8,43	1963,17	309,97	0	175,65	970,19	59,04	409,85	3395,66	206,65	409,5	4580,73	1084,91	0	1,281	9,12	-126,81
7,7	612,57	0	189,50	8,43	2017,42	314,40	0	180,71	984,05	59,89	427,67	3493,37	212,59	415,35	4774,55	1116,13	0	1,295	9,24	-117,23
7,8	619,95	0	190,22	8,43	2072,40	318,83	0	185,83	997,91	60,73	445,99	3592,47	218,62	421,2	4973,76	1147,79	0	1,309	9,36	-107,35
7,9	627,33	0	190,93	8,43	2128,12	323,26	0	191,03	1011,77	61,57	464,84	3692,95	224,74	427,05	5178,43	1179,90	0	1,322	9,48	-97,178
8	634,71	0	191,65	8,43	2184,58	327,69	0	196,30	1025,63	62,42	484,20	3794,82	230,94	432,9	5388,64	1212,44	0	1,335	9,6	-86,707
8,1	642,09	0	192,37	8,43	2241,78	332,12	0	201,64	1039,49	63,26	504,10	3898,07	237,22	438,75	5604,45	1245,43	0	1,349	9,72	-75,938
8,2	649,47	0	193,09	8,43	2299,72	336,54	0	207,05	1053,35	64,10	524,53	4002,72	243,59	444,6	5825,95	1278,87	0	1,362	9,84	-64,873
8,3	656,85	0	193,80	8,43	2358,39	340,97	0	212,54	1067,21	64,95	545,51	4108,74	250,04	450,45	6053,20	1312,74	0	1,376	9,96	-53,509
8,4	664,23	0	194,52	8,43	2417,80	345,40	0	218,09	1081,07	65,79	567,04	4216,16	256,58	456,3	6286,28	1347,06	0	1,389	10,08	-41,849
8,5	671,61	0	195,24	8,43	2477,95	349,83	0	223,72	1094,93	66,63	589,13	4324,96	263,20	462,15	6525,27	1381,82	0	1,402	10,2	-29,891
8,6	678,99	0	195,95	8,43	2538,84	354,26	0	229,42	1108,79	67,48	611,79	4435,14	269,91	468	6770,24	1417,03	0	1,415	10,32	-17,636
8,7	686,37	0	196,67	8,43	2600,46	358,68	0	235,19	1122,65	68,32	635,02	4546,71	276,70	473,85	7021,25	1452,67	0	1,428	10,44	-5,0839
8,8	693,75	0	197,39	8,43	2662,83	363,11	0	241,04	1136,51	69,16	658,83	4659,67	283,57	479,7	7278,40	1488,76	0	1,442	10,56	7,7658
8,9	701,13	0	198,10	8,43	2725,93	367,54	0	246,95	1150,37	70,01	683,23	4774,02	290,53	485,55	7541,74	1525,30	0	1,455	10,68	20,913
9	708,51	0	198,82	8,43	2789,77	371,97	0	252,94	1164,23	70,85	708,22	4889,75	297,57	491,4	7811,36	1562,27	0	1,468	10,8	34,357
9,1	715,89	0	199,54	8,43	2854,35	376,40	0	259,00	1178,08	71,69	733,82	5006,86	304,70	497,25	8087,32	1599,69	0	1,481	10,92	48,099

9,2	723,27	0	200,26	8,43	2919,66	380,83	0	265,12	1191,94	72,54	760,02	5125,36	311,91	503,1	8369,70	1637,55	0	1,494	11,04	62,138
9,3	730,65	0	200,97	8,43	2985,72	385,25	0	271,33	1205,80	73,38	786,85	5245,25	319,21	508,95	8658,58	1675,85	0	1,506	11,16	76,474
9,4	738,03	0	201,69	8,43	3052,51	389,68	0	277,60	1219,66	74,22	814,29	5366,52	326,59	514,8	8954,03	1714,60	0	1,519	11,28	91,108
9,5	745,41	0	202,41	8,43	3120,04	394,11	0	283,94	1233,52	75,07	842,37	5489,18	334,05	520,65	9256,12	1753,79	0	1,532	11,4	106,04
9,6	752,80	0	203,12	8,43	3188,31	398,54	0	290,36	1247,38	75,91	871,08	5613,23	341,60	526,5	9564,93	1793,42	0	1,545	11,52	121,27
9,7	760,18	0	203,84	8,43	3257,32	402,97	0	296,85	1261,24	76,75	900,44	5738,66	349,23	532,35	9880,52	1833,50	0	1,558	11,64	136,79
9,8	767,56	0	204,56	8,43	3327,06	407,40	0	303,41	1275,10	77,60	930,46	5865,48	356,95	538,2	10202,98	1874,02	0	1,570	11,76	152,62
9,9	774,94	0	205,27	8,43	3397,54	411,82	0	310,04	1288,96	78,44	961,13	5993,68	364,75	544,05	10532,38	1914,98	0	1,583	11,88	168,74
10	782,32	0	205,99	8,43	3468,76	416,25	0	316,74	1302,82	79,29	992,47	6123,27	372,64	549,9	10868,79	1956,38	0	1,596	12	185,15
10,1	789,70	0	206,71	8,43	3540,72	420,68	0	323,52	1316,68	80,13	1024,48	6254,24	380,61	555,75	11212,28	1998,23	0	1,608	12,12	201,87
10,2	797,08	0	207,42	8,43	3613,42	425,11	0	330,37	1330,54	80,97	1057,17	6386,61	388,67	561,6	11562,93	2040,52	0	1,621	12,24	218,88
10,3	804,46	0	208,14	8,43	3686,85	429,54	0	337,29	1344,40	81,82	1090,56	6520,35	396,81	567,45	11920,82	2083,25	0	1,633	12,36	236,19
10,4	811,84	0	208,86	8,43	3761,02	433,96	0	344,28	1358,26	82,66	1124,63	6655,49	405,03	573,3	12286,01	2126,42	0	1,646	12,48	253,8
10,5	819,22	0	209,58	8,43	3835,93	438,39	0	351,34	1372,12	83,50	1159,41	6792,01	413,34	579,15	12658,58	2170,04	0	1,658	12,6	271,7
10,6	826,60	0	210,29	8,43	3911,58	442,82	0	358,47	1385,98	84,35	1194,90	6929,91	421,73	585	13038,61	2214,10	0	1,670	12,72	289,9
10,7	833,98	0	211,01	8,43	3987,97	447,25	0	365,68	1399,84	85,19	1231,11	7069,20	430,21	590,85	13426,16	2258,61	0	1,683	12,84	308,4
10,8	841,36	0	211,73	8,43	4065,09	451,68	0	372,95	1413,70	86,03	1268,04	7209,88	438,77	596,7	13821,32	2303,55	0	1,695	12,96	327,2
10,9	848,74	0	212,44	8,43	4142,96	456,11	0	380,30	1427,56	86,88	1305,70	7351,94	447,41	602,55	14224,15	2348,94	0	1,707	13,08	346,29
11	856,12	0	213,16	8,43	4221,56	460,53	0	387,72	1441,42	87,72	1344,10	7495,39	456,14	608,4	14634,73	2394,77	0	1,719	13,2	365,68
11,1	863,50	0	213,88	8,43	4300,90	464,96	0	395,21	1455,28	88,56	1383,25	7640,23	464,96	614,25	15053,14	2441,05	0	1,732	13,32	385,37
11,2	870,88	0	214,59	8,43	4380,97	469,39	0	402,78	1469,14	89,41	1423,15	7786,45	473,86	620,1	15479,44	2487,77	0	1,744	13,44	405,36
11,3	878,26	0	215,31	8,43	4461,79	473,82	0	410,41	1483,00	90,25	1463,81	7934,05	482,84	625,95	15913,71	2534,93	0	1,756	13,56	425,64
11,4	885,64	0	216,03	8,43	4543,34	478,25	0	418,12	1496,86	91,09	1505,23	8083,05	491,91	631,8	16356,02	2582,53	0	1,768	13,68	446,22
11,5	893,02	0	216,74	8,43	4625,63	482,67	0	425,90	1510,72	91,94	1547,43	8233,43	501,06	637,65	16806,46	2630,58	0	1,780	13,8	467,1
11,6	900,40	0	217,46	8,43	4708,66	487,10	0	433,75	1524,58	92,78	1590,41	8385,19	510,29	643,5	17265,09	2679,07	0	1,792	13,92	488,27
11,7	907,78	0	218,18	8,43	4792,43	491,53	0	441,67	1538,44	93,62	1634,19	8538,34	519,61	649,35	17731,98	2728,00	0	1,804	14,04	509,74
11,8	915,16	0	218,90	8,43	4876,93	495,96	0	449,67	1552,30	94,47	1678,75	8692,88	529,02	655,2	18207,21	2777,37	0	1,816	14,16	531,51
11,9	922,54	0	219,61	8,43	4962,17	500,39	0	457,73	1566,16	95,31	1724,12	8848,80	538,51	661,05	18690,86	2827,19	0	1,828	14,28	553,58
12	929,92	0	220,33	8,43	5048,16	504,82	0	465,87	1580,02	96,15	1770,30	9006,11	548,08	666,9	19182,99	2877,45	0	1,840	14,4	575,94
12,1	937,30	0	221,05	8,43	5134,87	509,24	0	474,08	1593,88	97,00	1817,30	9164,81	557,74	672,75	19683,69	2928,15	0	1,852	14,52	598,6
12,2	944,68	0	221,76	8,43	5222,33	513,67	0	482,36	1607,74	97,84	1865,12	9324,89	567,48	678,6	20193,02	2979,30	0	1,863	14,64	621,56
12,3	952,06	0	222,48	8,43	5310,53	518,10	0	490,71	1621,60	98,68	1913,77	9486,35	577,31	684,45	20711,06	3030,89	0	1,875	14,76	644,82
12,4	959,44	0	223,20	8,43	5399,46	522,53	0	499,13	1635,46	99,53	1963,26	9649,21	587,22	690,3	21237,88	3082,92	0	1,887	14,88	668,37
12,5	966,83	0	223,91	8,43	5489,13	526,96	0	507,63	1649,32	100,37	2013,60	9813,45	597,21	696,15	21773,55	3135,39	0	1,898	15	692,22
12,6	974,21	0	224,63	8,43	5579,54	531,38	0	516,20	1663,18	101,22	2064,79	9979,07	607,29	702	22318,16	3188,31	0	1,910	15,12	716,37
12,7	981,59	0	225,35	8,43	5670,69	535,81	0	524,84	1677,04	102,06	2116,84	10146,08	617,46	707,85	22871,77	3241,67	0	1,922	15,24	740,82
12,8	988,97	0	226,07	8,43	5762,57	540,24	0	533,55	1690,90	102,90	2169,76	10314,48	627,70	713,7	23434,46	3295,47	0	1,933	15,36	765,56
12,9	996,35	0	226,78	8,43	5855,20	544,67	0	542,33	1704,76	103,75	2223,55	10484,26	638,04	719,55	24006,31	3349,72	0	1,945	15,48	790,6
13	1003,73	0	227,50	8,43	5948,56	549,10	0	551,18	1718,62	104,59	2278,23	10655,43	648,45	725,4	24587,37	3404,41	0	1,956	15,6	815,94
13,1	1011,11	0	228,22	8,43	6042,66	553,53	0	560,11	1732,48	105,43	2333,79	10827,99	658,95	731,25	25177,74	3459,54	0	1,968	15,72	841,57
13,2	1018,49	0	228,93	8,43	6137,49	557,95	0	569,11	1746,34	106,28	2390,25	11001,93	669,54	737,1	25777,48	3515,11	0	1,979	15,84	867,5
13,3	1025,87	0	229,65	8,43	6233,07	562,38	0	578,18	1760,20	107,12	2447,62	11177,25	680,21	742,95	26386,66	3571,13	0	1,991	15,96	893,73
13,4	1033,25	0	230,37	8,43	6329,38	566,81	0	587,32	1774,06	107,96	2505,89	11353,97	690,96	748,8	27005,37	3627,59	0	2,002	16,08	920,26