

REVISÕES							
Nº	DESCRIÇÃO	FIRMA	OS	DESENHADO	VERIFICADO	APROVADO	DATA
0	EMIÇÃO INICIAL	A1MC	-	A1MC	A1MC	A1MC	27/01/23

 Engenharia e Projetos contato@a1mcengenharia.com.br	ELABORADO	VERIFIC.	APROV.	AUT.	DATA
	-	-	-	-	27/01/2023
Nº PROJ: 21185.PJF.RT.INF.002					REVISÃO: 0

 Juiz de Fora Prefeitura		ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DA PREFEITURA DE JUIZ DE FORA, NÃO PODENDO SER COPIADO, REPRODUZIDO OU FORNECIDO A TERCEIROS SEM PRÉVIA E EXPRESSA AUTORIZAÇÃO.
--	---	--

Prefeitura Municipal de Juiz de Fora Relatório – Alberto Agapito Ferreira Estudo de concepção					PROJEÇÃO
CONTRATO		ORDEM DE SERVIÇO -			
PROJETADO -	DESENHADO -	ESPECIFICADO COLUMBIA	VERIFICADO COLUMBIA	APROVADO - DATA i m r i -	
FORMATO	ESCALA -- TOTAL DE FOLHAS	21185.PJF.RT.INF.002			REVISÃO 0

A 4	35		
------------	----	--	--

1.0	OBJETIVO	3
2.0	LOCALIZAÇÃO.....	3
3.0	REFERÊNCIAS	4
5.0	CRITÉRIOS DE CÁLCULO E DEFINIÇÕES GEOTÉCNICAS	5
6.0	SONDAGEM DO SOLO.....	9
7.0	ANÁLISE DA SONDAGEM E CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO	12
8.0	LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO CADASTRAL.....	12
9.0	CONCEITUAÇÃO DE ESTABILIDADE DE TALUDE	14
10.0	ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE	14
11.0	CONCLUSÃO	17
12.0	ESTABILIZAÇÃO DO TALUDE.....	18

1.0 OBJETIVO

O presente documento tem como objetivo apresentar o estudo de concepção da estabilização do talude situado na rua Alberto Agapito Ferreira, bairro Jardim de Alá do município de Juiz de Fora/MG.

2.0 LOCALIZAÇÃO

O talude analisado encontra-se na coordenada geográfica 21° 47' 46" S e 43° 20' 54" O. A Figura 1 extraída do documento Edital PE nº 185_2022 – Anexo_C_Locais_da_Obra de autoria da PMJF, apresenta a imagem atual do talude, após a erosão ocorrida.

Figura 1: Erosão no talude



A Figura 2 extraída do documento Edital PE nº 185_2022 – Anexo_C_Locais_da_Obra, também de autoria da PMJF, apresenta a erosão com mais detalhes.

[Digite aqui]

Figura 2: Área afetada antes da ruptura



3.0 REFERÊNCIAS

Foram utilizados as seguintes normas e documentos técnicos para o desenvolvimento do presente trabalho.

3.1 NORMAS

- NBR 1182 – 2009 – Estabilidade de Encostas;
- NBR 8681 – 2003 – Ações e Segurança nas Estruturas;
- NBR 6118 – 2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento;
- NBR 6122 – 2019 – Projeto e Execução nas Fundações;
- NBR 11862 – 2009 – Estabilidade de Encostas.

3.2 DOCUMENTOS TÉCNICOS

- 22185.PJF.DD.TOP.007 – Levantamento Planialtimétrico Cadastral;
- 22185.PJF.RT.GEO.007 – Investigação Geológica, Geotécnica e Ensaios Laboratoriais
- Edital PE nº 185_2022 – Anexo_C_Locais_da_Obra;

[Digite aqui]

4.0 CRITÉRIOS DE CÁLCULO E DEFINIÇÕES ESTRUTURAL

4.1 SOFTWARES UTILIZADOS

- SAP2000 – Análise estrutural em elementos finitos;
- Pcalc – Análise flexão normal composta.

4.2 CRITÉRIOS DE CÁLCULO ESTRUTURAL

- Cálculos estáticos no regime elástico;
- Dimensionamento no estado limite último.

4.3 AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Visando garantir a durabilidade da estrutura com adequada segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a vida útil da estrutura, foram adotados critérios em relação à classe de agressividade ambiental e valores de cobrimentos das armaduras, conforme apresentado a seguir:

- Classe II: Agressividade Moderada: Urbana;
- Abertura de fissuras: $w_k \leq 0,3 \text{ mm}$;
- Cobrimento nominal adotado: 4,0 cm para todas as peças.

4.4 CONCRETO

O concreto considerado neste projeto e que será empregado na construção deve atender as características a seguir.

- Resistência característica a compressão $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- Peso específico $\gamma_c = 2,5 \text{ tf/m}^3$;
- Fator água/cimento: $A/C \leq 0,60$;
- Módulo de elasticidade: $E_{cs} = 24,0 \text{ GPa}$.

4.5 AÇO

O aço considerado neste projeto para dimensionamento das peças em concreto armado e que será empregado na construção deve atender as características da tabela a seguir:

- Categoria: CA-50;
- Peso específico: $\gamma_{st} = 7,8 \text{ tf/m}^3$;
- Módulo de elasticidade: $E = 21000000 \text{ tf/m}^2$;
- Limite de escoamento: $f_{yk} = 50000 \text{ tf/m}^2$.

5.0 CRITÉRIOS DE CÁLCULO E DEFINIÇÕES GEOTÉCNICAS

5.1 SOFTWARES UTILIZADOS

[Digite aqui]

Foi empregado o software Slide para análise de estabilidade por equilíbrio limite e Phase para a análise de tensão-deformação, ambos desenvolvidos pela empresa canadense Rocscience.

5.2 PREMISSAS

Os horizontes de solo foram considerados como homogêneos, não sendo considerada qualquer anisotropia devido a insuficiência de dados para esta hipótese.

Foram inferidos parâmetros de resistência aos materiais que constituí o talude baseado em contexto teórico e conceitual, correlações com resultados de sondagem SPT, bem como na caracterização tátil-visual realizada.

5.3 MÉTODOS DE CÁLCULO

Foi adotado o método de cálculo de GLE/Morgenstern-Price que leva em consideração o equilíbrio de forças e momentos na análise de estabilidade por equilíbrio limite, por mais se assemelhar as condições observadas no talude.

Por se tratar de maciço terroso, foi adotado o critério de ruptura de Mohr-Coulomb em todas as análises.

5.4 ANÁLISE DE PROBABILIDADE

Foram adotadas como variáveis aleatórias a coesão, ângulo de atrito e fator de pressão neutra (R_u) por serem aquelas com maior relevância na resistência ao cisalhamento do solo. Desta maneira, foi adotada curva de distribuição probabilística Gamma já que a variação foi somente regressiva para os parâmetros de resistência e progressiva para a pressão neutra.

Foi utilizada a simulação de Monte Carlo, com 10.0000 interações, pelo método do valor mínimo global.

5.5 SOBRECARGA

Para análise de estabilidade da ruptura ocorrida não foi considerada nenhuma sobrecarga atuante na crista do talude.

Na conceituação do sistema de estabilização, foi adotada a sobrecarga normativa atuante na crista do talude correspondente a 20,0 KPa.

5.6 PRESSÃO NEUTRA

Foi considerado em solo saturado, o fator $R_u=0,2$, baseado em conceitos teóricos e experiência em materiais com características semelhantes. Nas camadas de solo superficiais, foi considerado, com umidade natural, o fator $R_u=0,05$. Portanto, as variações de pressão neutra ocorreram progressivamente entre $R_u=0,05$ e $R_u=0,2$.

5.7 FATOR DE SEGURANÇA

Na análise de estabilidade do talude e dos sistema de contenção atual foi realizada a comparação com os Fatores de Segurança prescritos pela norma da ABNT, *NBR 11682/2009 – Estabilidade de Encostas*.

[Digite aqui]

As tabelas adiante extraídas da referida norma, apresentam as referências e os critérios para determinação do Fator de Segurança.

A Tabela 1 apresenta os critérios associados a vidas humanas com seus respectivos níveis de segurança requeridos. Por se tratar de uma área com ocupação de moradias, foi adotado nível de segurança Alto.

Tabela 1 - Critérios associados a vidas humanas

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

A Tabela 2 apresenta os critérios associados a bens materiais e seus respectivos níveis de segurança requeridos. O rompimento do talude compromete as edificações vizinhas. Logo, foi adotado nível de segurança Alto por estar próximo a propriedades de alto valor social.

Tabela 2 - Critérios materiais e ambientais

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

A Tabela 3 apresenta a matriz que associa os critérios de danos a vidas humanas e danos materiais e ambientais. Nesta matriz, foi determinado o Fator de Segurança mínimo de $FS=1,5$ para a estabilidade global do talude e do sistema de contenção, dentro dos preceitos da norma técnica de referência.

[Digite aqui]

Tabela 3 - Matriz de determinação do Fator de Segurança de referência

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

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico indicado no Anexo D.
 NOTA 2 No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , ϕ , c , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.
 NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

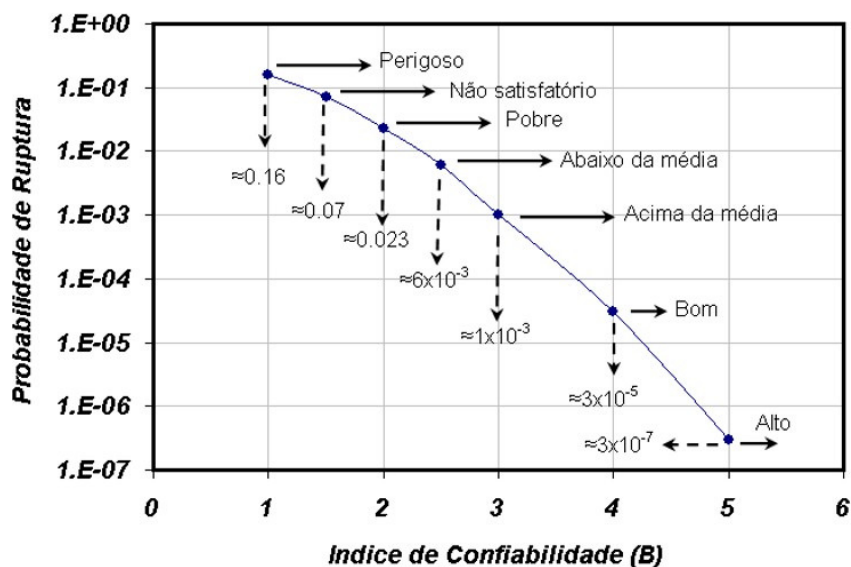
Portanto, no dimensionamento da estrutura de contenção o Fator de Segurança mínimo a ser alcançado foi FS=1,5.

5.8 PROBABILIDADE DE RUPTURA

Na análise de probabilidade de ruptura, foi adotado o critério proposto pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, *US Army Corps of Engineers*.

Foi classificado o índice de confiabilidade $\beta > 4$ com probabilidade igual a $3,0 \times 10^{-5}$ para taludes críticos, conforme proposta de *US Army Corps of Engineers* e $\beta > 3$ com probabilidade igual a $1,0 \times 10^{-3}$ para taludes não críticos, conforme apresentado na Figura 2 adiante.

Figura 2 - Critérios probabilísticos



Classificam-se como taludes críticos aqueles construídos pelo homem cuja ruptura causa impactos socioambientais irreparáveis e que, portanto, necessitam de nível de segurança muito acima da média, no caso na ordem de 3×10^{-7} e índice de confiabilidade acima $\beta = 5$. Enquadram os taludes de barramento

[Digite aqui]

de água e rejeitos com mancha de inundação de impactos irreparáveis, conforme proposta por *US Army Corps of Engineers*.

Taludes sob influência de edificações de ocupação permanente e equipamentos de alto valor patrimonial são comumente classificados como taludes não críticos, sendo adotado o valor mínimo de $\beta > 3$ com probabilidade de ruptura equivalente a $1,0 \times 10^{-3}$. Este parâmetro é admitido em obras geotécnicas convencionais, em ambiente urbano tidas como obras seguras.

6.0 SONDAGEM DO SOLO

A Figura 3 apresenta a localização da sondagem e mais adiante são apresentados os boletins de sondagem realizados no local do talude. Estas informações foram extraídas do documento 22185.PJF.RT.GEO.007.

Figura 3 - Localização da sondagem

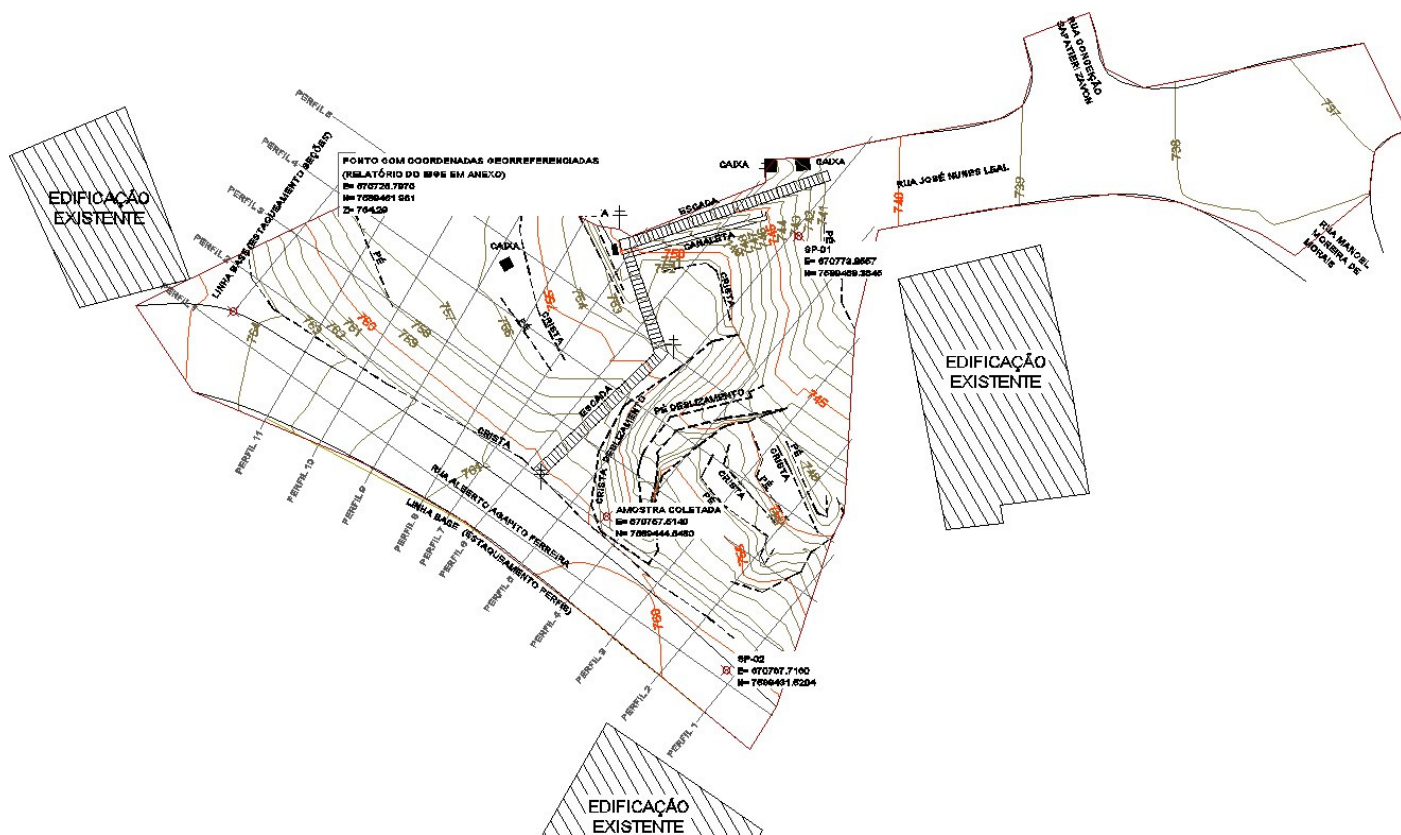
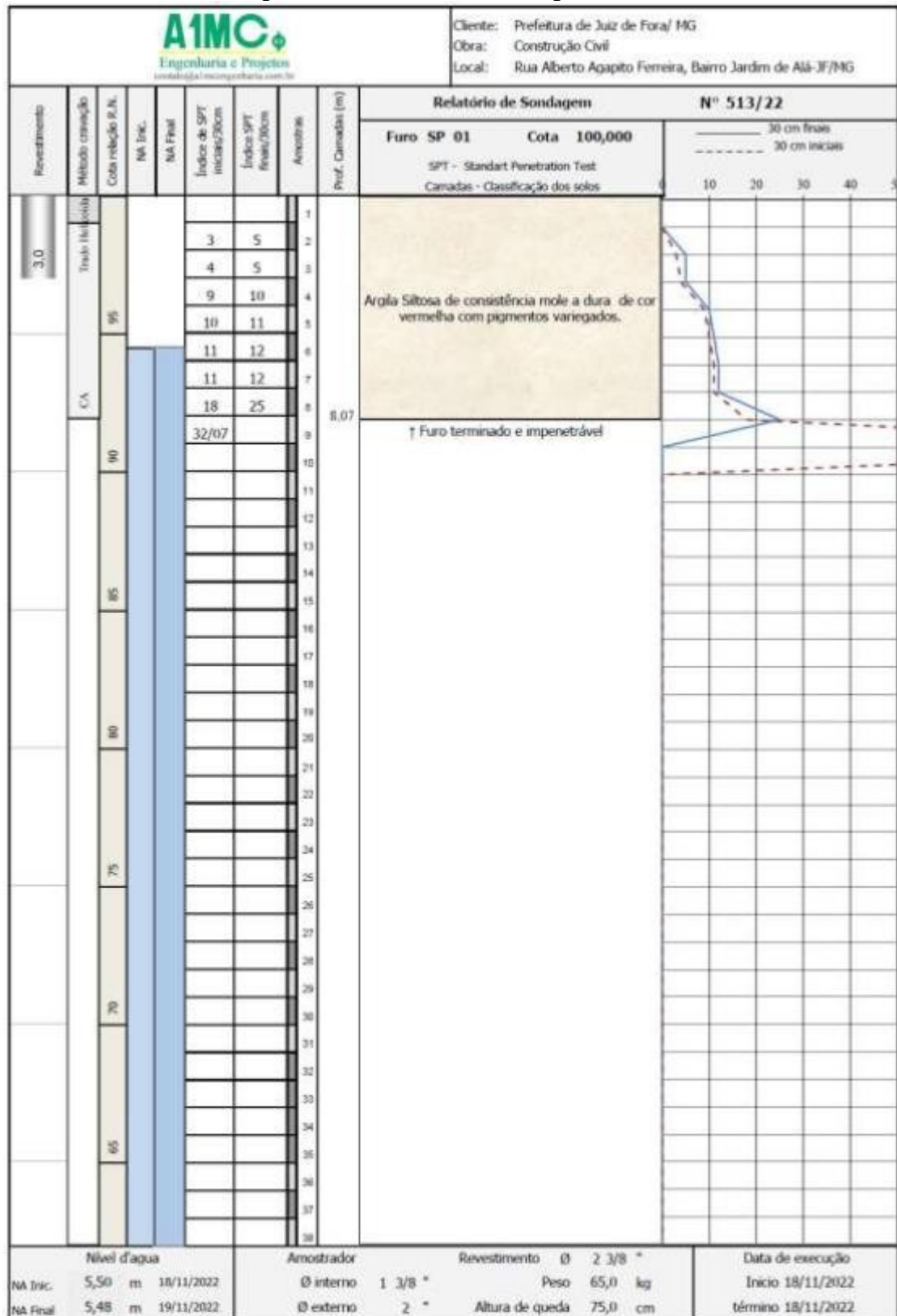




Figura 4 - Relatório de Sondagem SP-01



 <div> <p>Engenharia e Projetos</p> <p>contato@1mcengenharia.com.br</p> </div>										<div> <p>Cliente: Prefeitura de Juiz de Fora/ MG</p> <p>Obra: Construção Civil</p> <p>Local: Rua Alberto Agapito Ferreira, Bairro Jardim de Alá-JF/MG</p> </div>									
Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	NA Inic.	NA Final	Índice de SPT Iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		Nº 513/22								
									Furo SP 02	Cota 100,000									
								SPT - Standart Penetration Test		<div> <p>30 cm finais</p> <p>30 cm iniciais</p> </div>									
								Camadas - Classificação dos solos		<div> <p>10 20 30 40 50</p> </div>									
3,0	Trado Helicoidal	95			2 3		1		<div> <p>Argila Siltsosa de consistência muito mole a dura de cor vermelha com pigmentos variegados.</p> </div>										
				3 4		2													
				4 5		3													
				5 6		4													
				7 8		5													
				11 12		6													
				16 20		7													
				22 27		8													
				26 30		9													
				34 43		10													
				18/04		11	11,04												
						12		<div> <p>↑ Furo terminado e impenetrável</p> </div>											
						13													
						14													
						15													
						16													
						17													
						18													
						19													
						20													
						21													
						22													
						23													
						24													
						25													
						26													
						27													
						28													
						29													
						30													
						31													
						32													
						33													
						34													
						35													
						36													
						37													
						38													

Nível d'água		Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data de execução	
NA Inic.	m 18/11/2022	Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0 kg	Início 18/11/2022	
NA Final	m 19/11/2022	Ø externo	2 "	Altura de queda	75,0 cm	término 18/11/2022	

[Digite aqui]

7.0 ANÁLISE DA SONDAGEM E CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO

De acordo com a sondagem realizada no local, o solo que compõe o talude é constituído por uma camada de argila siltosa de consistência mole a rija até a profundidade investigada de 11,0 m. No furo SP-02 realizado na crista do talude da rua Alberto Agapito Ferreira, não foi encontrado o nível d'água no interior do maciço.

Com base nos resultados da sondagem SPT, foram obtidos os seguintes parâmetros geotécnicos para a análise de estabilidade do talude e conceituação dos sistemas de contenção.

Tabela 4 - Parâmetros geotécnicos obtidos na sondagem SP-02

SP-02

Elevação	Prof. (m)	Caracterização	N-SPT	N-SPT med	C' (kPa)	C' med (kPa)	ϕ'	ϕ' med (kPa)	γ (KN/m ³)
760	1	Argila Siltosa mole	3	4	8	11	21	22	15
759	2		4		11		23		
758	3		5		13		23		
757	4	Argila siltosa media	6	7	15	18	24	25	16
756	5		8		20		26		
755	6	Argila soltoasa rija	12	16	29	38	28	29	17
754	7		20		46		30		
753	8	Argila siltosa dura	27	33	60	72	32	33	19
752	9		30		66		33		
751	10		43		90		35		

8.0 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO CADASTRAL

A Figura 8 apresenta o levantamento planialtimétrico realizado e as figuras mais adiante apresentam os perfis extraídos deste levantamento. Estas informações foram extraídas do documento 22185.PJF.DD.TOP.01.

[Digite aqui]

Figura 5 – Levantamento planialtimétrico cadastral

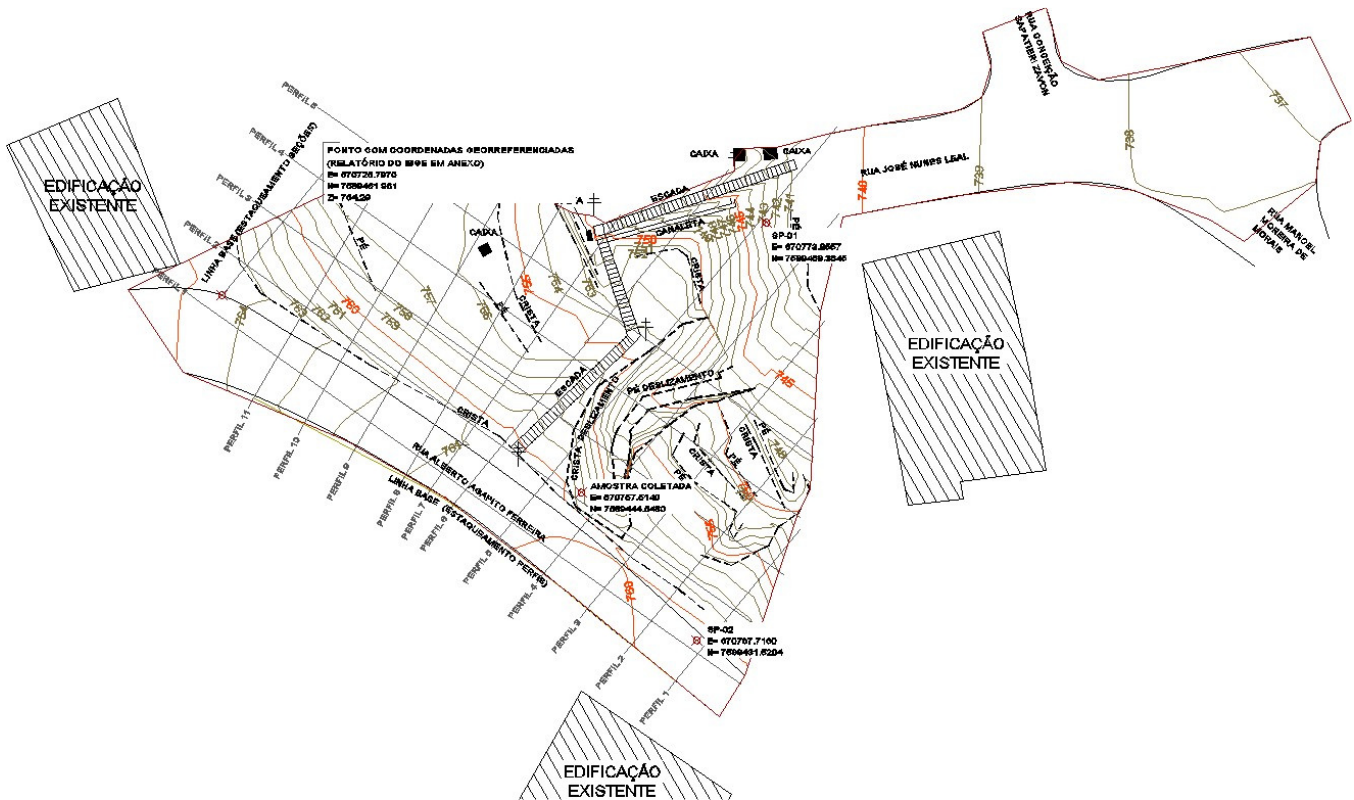
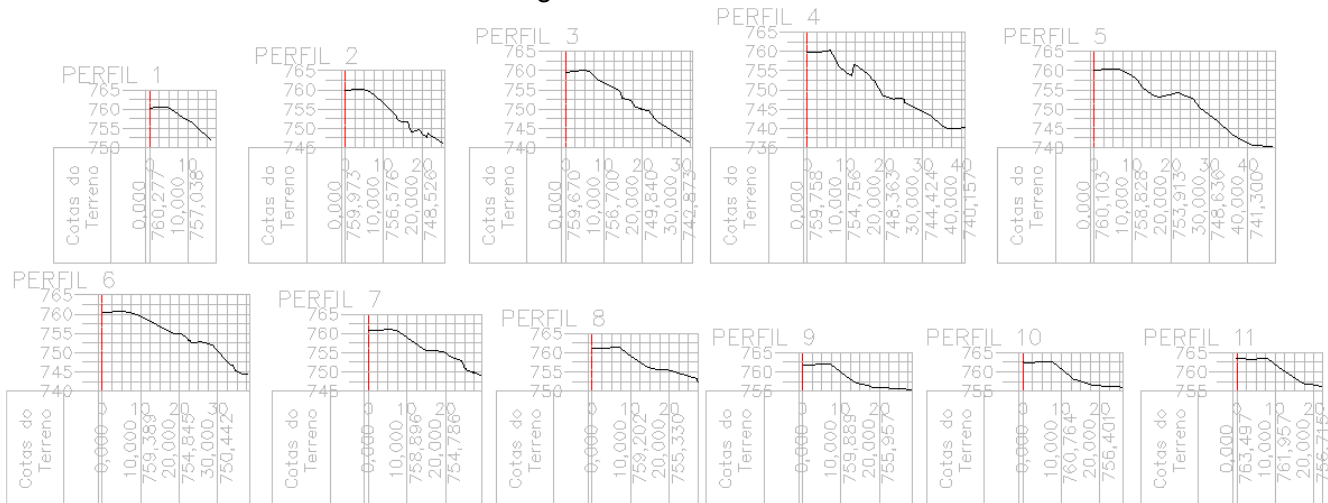


Figura 6 – Perfis do talude



[Digite aqui]

9.0 CONCEITUAÇÃO DE ESTABILIDADE DE TALUDE

A estabilidade dos taludes construídos, das encostas naturais e dos sistemas de contenção, é prescrita pela norma técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) *NBR 11862 – 2009 – Estabilidade de Encostas*. Esta norma estabelece o Fator de Segurança em que estas estruturas devem estar submetidas, para obter uma obra geotécnica admitida como segura.

Para simples compreensão, o Fator de Segurança é a relação entre os esforços estabilizantes e desestabilizantes presentes no maciço, onde o $FS=1,0$ representa o colapso da estrutura de terra ou contenção. Portanto, o Fator de Segurança deve ser sempre superior a $FS=1,0$. Para obter margem de segurança a fim de cobrir todas as incertezas contidas nas análises, o Fator de Segurança deve ser superior ao valor mínimo estabelecido na norma técnica de referência, que para o presente estudo é $FS=1,5$.

O solo é um material natural, anisotrópico e susceptível a variação nas propriedades dos materiais que o constitui, sobretudo no que diz respeito ao estado de umidade. Desta maneira, entende-se como prudente, que as análises de estabilidade e dimensionamento de sistemas de contenção, devam ser realizadas utilizando considerações sobre os efeitos causados pela possibilidade de ocorrência de variação nas propriedades dos materiais, devido ao aumento de umidade.

Portanto, nas análises de estabilidades apresentadas mais adiante, os Fatores de Segurança foram obtidos considerando a variação nas propriedades dos materiais específicas do local de análise, e comparados ao Fator de Segurança mínimo prescrito pela norma técnica de referência.

Desta maneira, os resultados obtidos inferiores ao mínimo prescrito e sem margem de segurança para cobrir a variação nas propriedades dos materiais, justifica a necessidade de um sistema de reforço para aumento no nível de segurança do talude, em um patamar de obra de engenharia tecnicamente adequada e segura.

10.0 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Além de apresentar resultado para a ordem de grandeza do Fator de Segurança para o talude, as análises de estabilidade realizadas possuem também o objetivo de avaliar o risco atual, bem como a previsão do comportamento do talude.

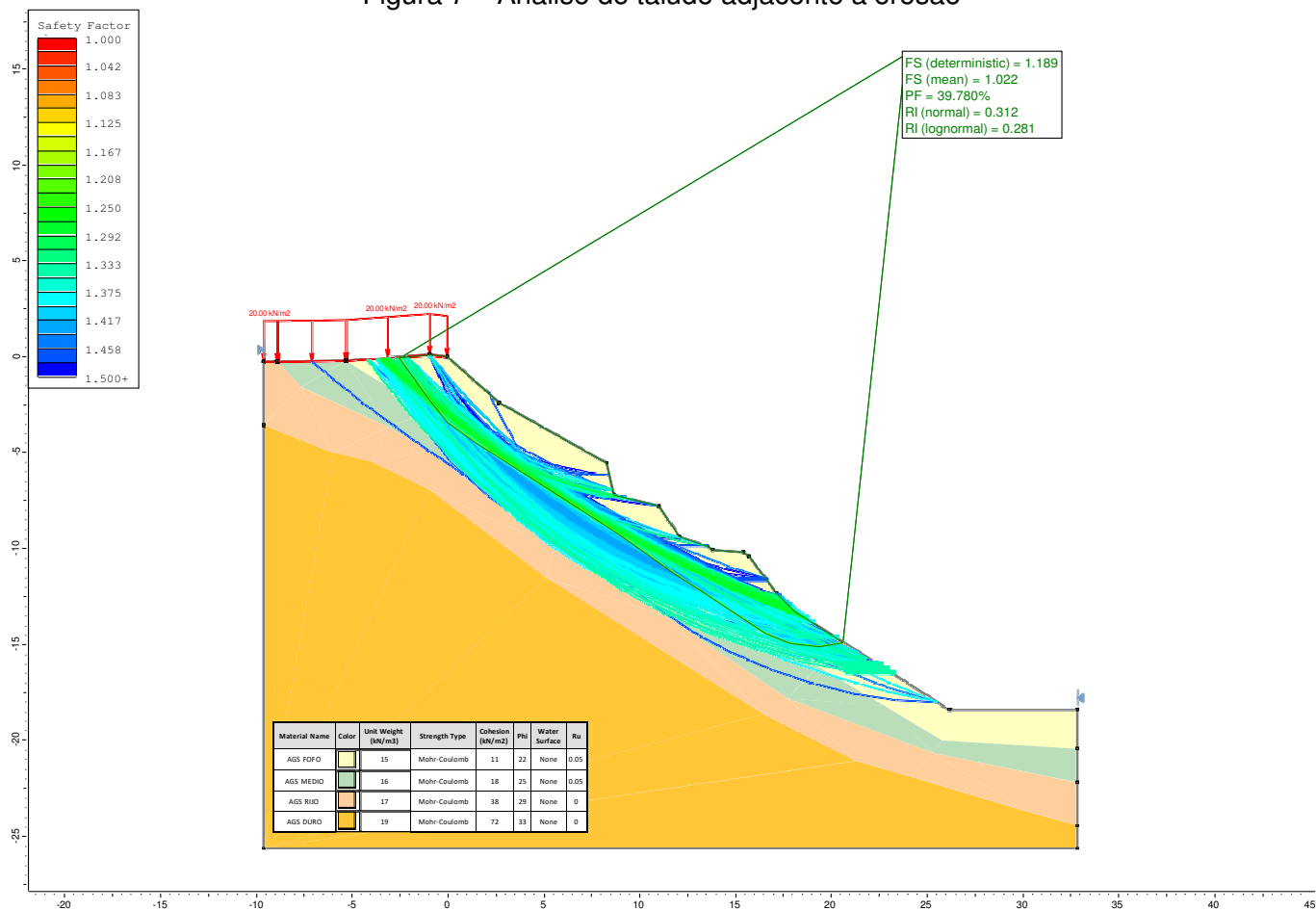
Com base na geometria obtida no levantamento planialtimétrico cadastral, sondagem geotécnica e visita ao local, foi realizada a modelagem numérica do perfil do talude para realização das análises de estabilidade.

O talude da rua Alberto Agapito Ferreira possui uma erosão supostamente ocasionada por um rompimento na rede de água da rua, comprometendo parte do talude. Desta forma, para realizar a concepção da abrangência do projeto de intervenção, foi realizada a análise de estabilidade do talude adjacente a erosão de modo a conhecer, seu nível de segurança atual.

Nesta análise foi obtido o resultado de Fator de Segurança $FS=1,189$ (Referência $FS>1,500$). Ao realizar a variação dos parâmetros dos materiais simulando o efeito de aumento de umidade na camada superficial do solo, o resultado reduziu para $FS=1,022$ com probabilidade de ocorrência de ruptura de 39,780% (Referência probabilidade $< 10^{-3}\%$) e índice de confiabilidade para condição estável de $\beta=0,312$ (Referência $\beta > 3,0$). A Figura 7 apresenta o resultado obtido.

[Digite aqui]

Figura 7 – Análise do talude adjacente a erosão

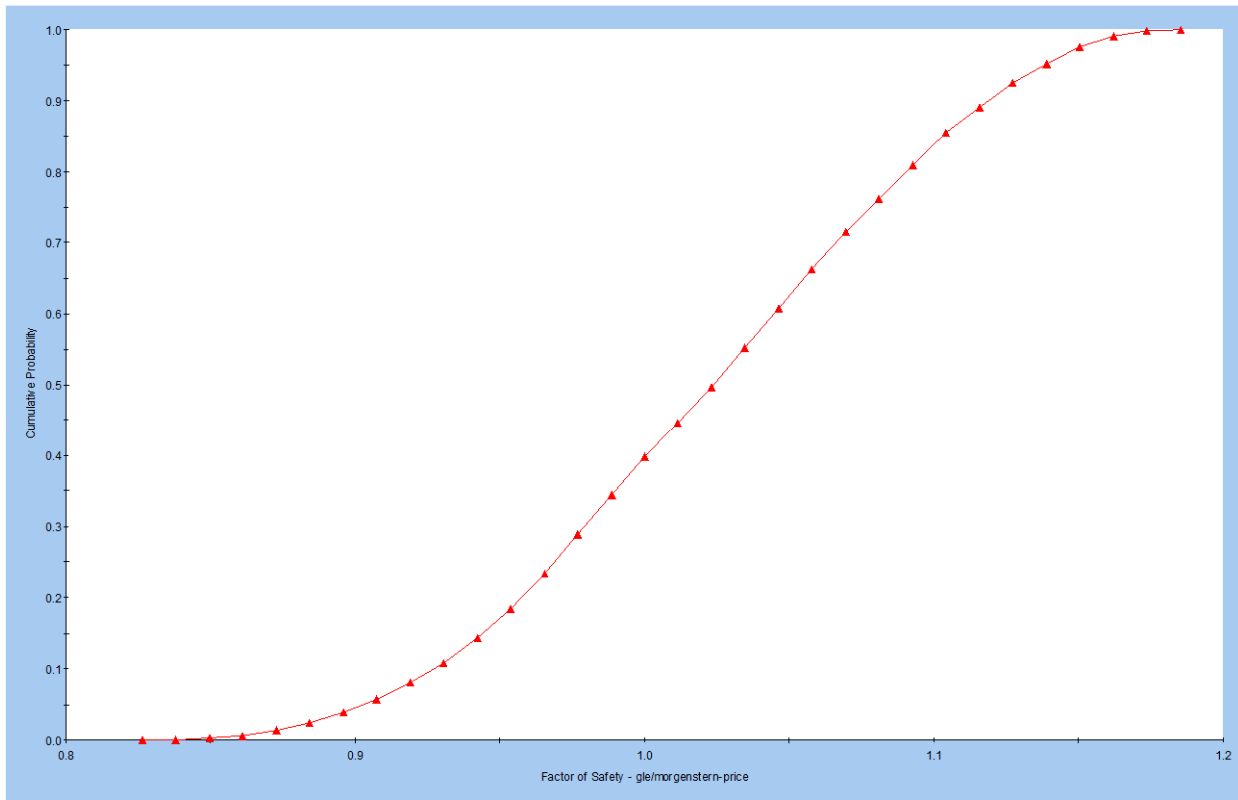


Em todas as interações realizadas pelo modelo numérico, a quantidade de resultados encontrados com Fator de Segurança inferior a FS=1,0 foi tamanha, que representou a probabilidade de ocorrência de ruptura de 39,780% (Referência probabilidade < 10⁻³%) e Fator de Segurança baseado nesta probabilidade de FS=1,022.

A Figura 8 ilustra a acumulação de resultados obtidos na determinação da probabilidade de ruptura.

[Digite aqui]

Figura 8: Probabilidade de ocorrência de ruptura

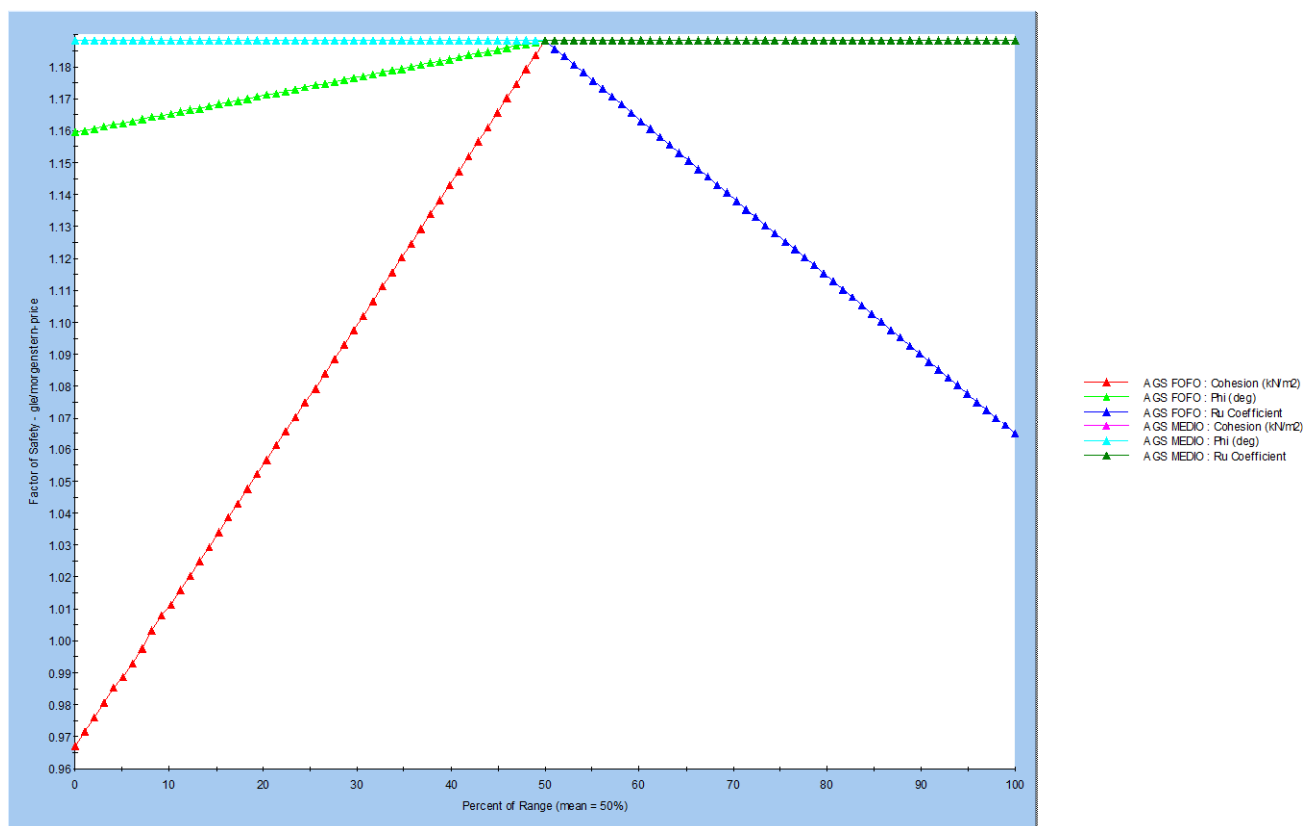


SAMPLED: mean=1.022 s.d.=0.07155 min=0.8349 max=1.182 (PF=39.780% RI=0.31187, best fit=Beta distribution)

Logo, concluiu-se que o resultado de $FS=1,189$ não é suficiente para cobrir os cenários de aumento de umidade do solo e por consequência, a variação nas propriedades dos materiais e de pressão neutra, apresentando o risco de ocorrência de ruptura do talude. A Figura 9 ilustra a relação da variação dos parâmetros geotécnicos com os resultados de Fator de Segurança obtidos.

[Digite aqui]

Figura 9: Relação da variação dos parâmetros geotécnicos com os resultados de FS



11.0 CONCLUSÃO

De acordo com as análises realizadas, concluiu-se que o aumento de umidade nas camadas superficiais do maciço, pode provocar a ruptura do talude da rua Alberto Agapito Ferreira. Desta forma, além de recuperar a região da erosão, a solução geotécnica deve também promover incremento de resistência no talude adjacente.

[Digite aqui]

12.0 ESTABILIZAÇÃO DO TALUDE

12.1 TRECHO ADJACENTE A EROSÃO

As soluções para estabilização do talude analisado, associadas a recuperação da área degradada pela erosão ocorrida, que melhor se enquadram a situação em questão, são:

- Aterro da erosão e muro de concreto em balanço com fundação em estacas;
- Aterro da erosão e solo grampeado em todo o talude.

Optou-se pela solução de solo grampeado, por esta ser uma solução mais rápida e menos custosa do que o muro de concreto armado com fundação em estacas, que necessita maior movimentação de terra e operação de máquinas maior porte na região de acesso restrito.

No dimensionamento da solução em solo grampeado, foram considerados os seguintes parâmetros:

Sobrecarga sobre o talude: 20,0 kN/m²

Material da barra: CA-50

Diâmetro da barra: 16 mm

Abertura do furo: 76,5 mm

Comprimentos dos grampos:

- Fileira 1 a 5 (superior): 8,0 m

- Fileira 6 a 9: 6,0 m

Carga admissível nos grampos: $500000/1,15 \times 3,14 \times (0,016)^2/4 = 87,0$ kN

Espaçamento vertical e horizontal entre os grampos:

- Vertical: 1,5 m

- Horizontal: 2,0 m

Força de adesão do grampo com o solo: 26 kN/m

Coefficiente de minoração na adesão solo-grampo: 2,0.

A Tabela 6 apresenta a determinação da força de adesão solo-grampo baseado nos resultados das sondagens SPT.

Tabela 6 – Determinação da força de adesão

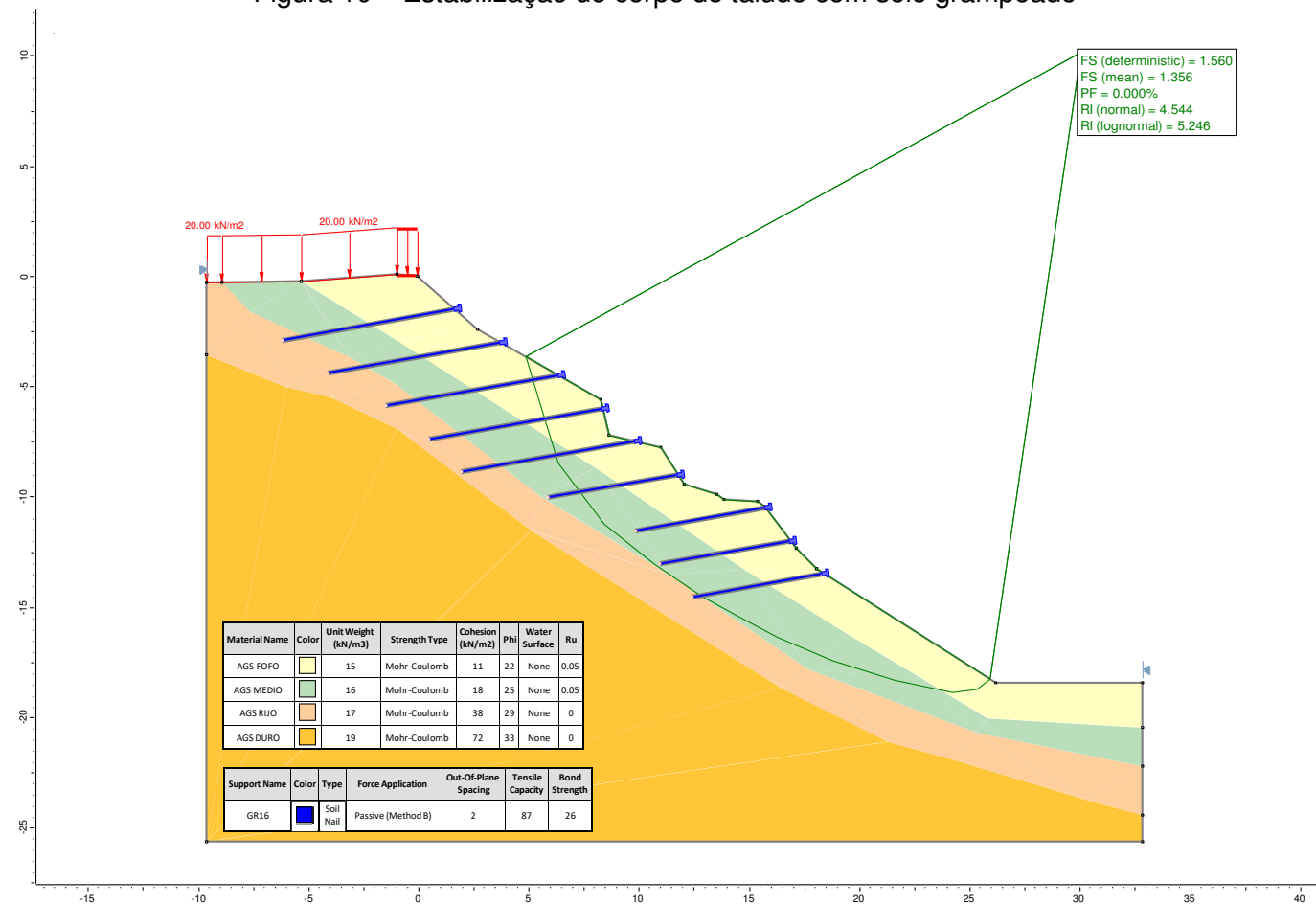
N	N med	desvp.a N	qs (kPa)	t (kN/m)	t (kN/m) med	t desvp.a (kN/m)	t adm(kN/m)
4	6	2,1	150	47	52	7,46	26
7			184	58			

A Figura 10 apresenta a análise da estabilidade, com a inclusão do reforço em solo grampeado. O resultado obtido foi Fator de Segurança FS=1,560 (Referência FS>1,5).

[Digite aqui]

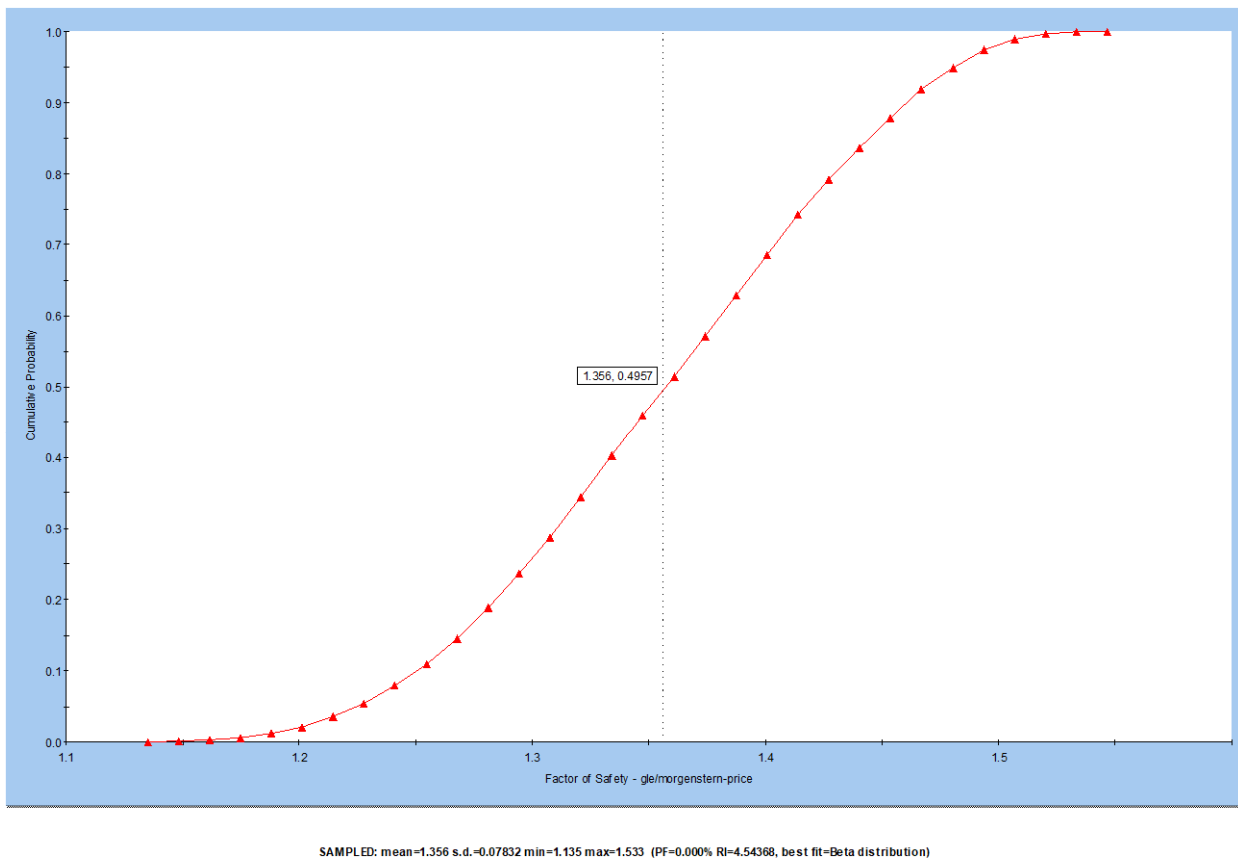
Ao realizar a variação dos parâmetros dos materiais simulando o efeito de aumento de umidade no solo, o resultado reduziu para FS=1,356 com probabilidade de ocorrência de ruptura de 0,000% (Referência probabilidade < 10⁻³%) e índice de confiabilidade para condição estável de β=4,544 (Referência β > 3,0).

Figura 10 – Estabilização do corpo do talude com solo grampeado



A Figura 11 apresenta a probabilidade de ocorrência de ruptura. Pelos resultados obtidos, o Fator de Segurança encontrado é suficiente para cobrir os cenários de aumento de umidade no corpo do talude, proporcionando uma probabilidade de ruptura abaixo da referência para a referência de obra segura.

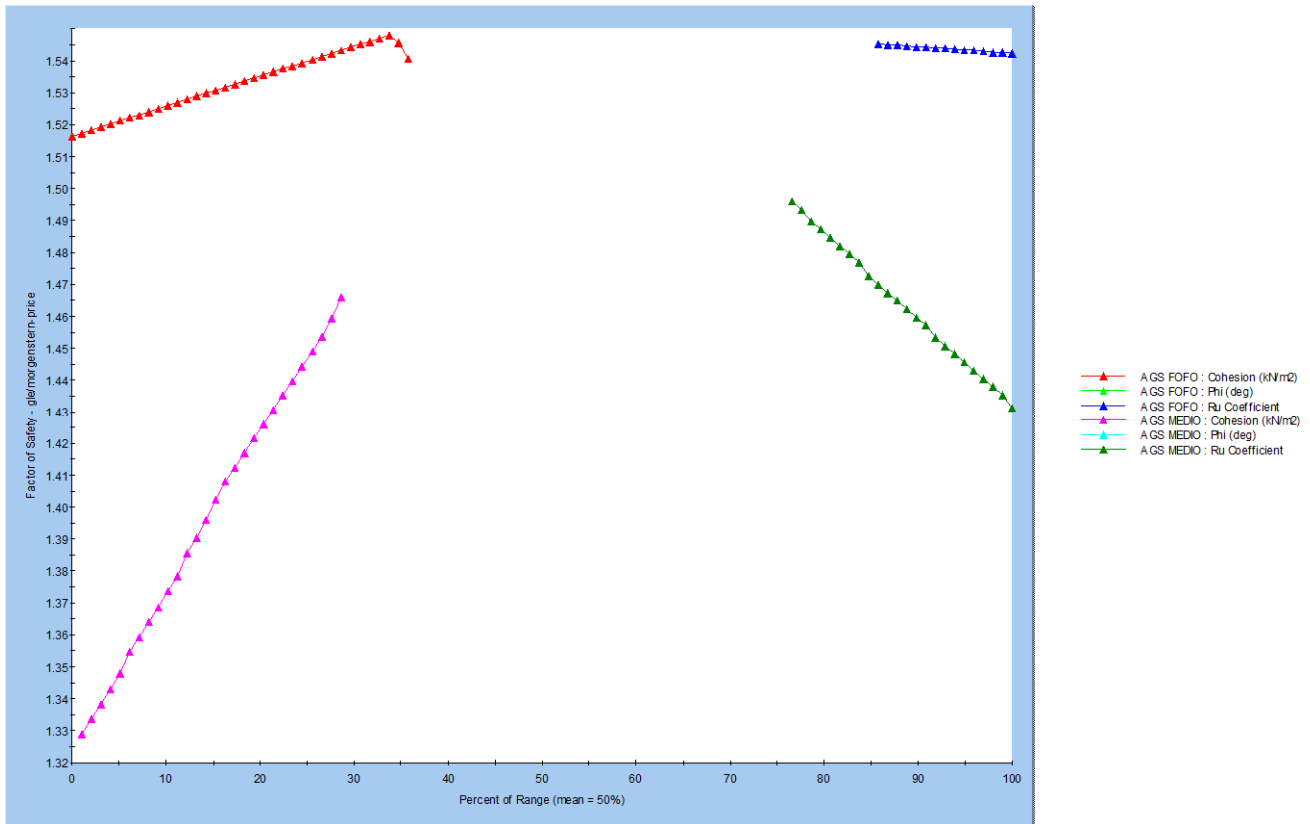
Figura 11: Probabilidade de ocorrência de ruptura



A Figura 12 apresenta a relação entre a variação nas propriedades dos materiais e resultados de Fator de Segurança para o talude estabilizado com Solo Grampeado.

[Digite aqui]

Figura 12: Relação da variação dos parâmetros geotécnicos com os resultados de FS



12.2 TRECHO COM TALUDE ERODIDO

A solução para recomposição da erosão é o aterro. Entretanto é necessário que este aterro esteja apoiado em uma estrutura rígida, para não ficar vulnerável a um escorregamento, já que a região não permite a construção de um aterro sobre encosta nos moldes que a boa prática preconiza.

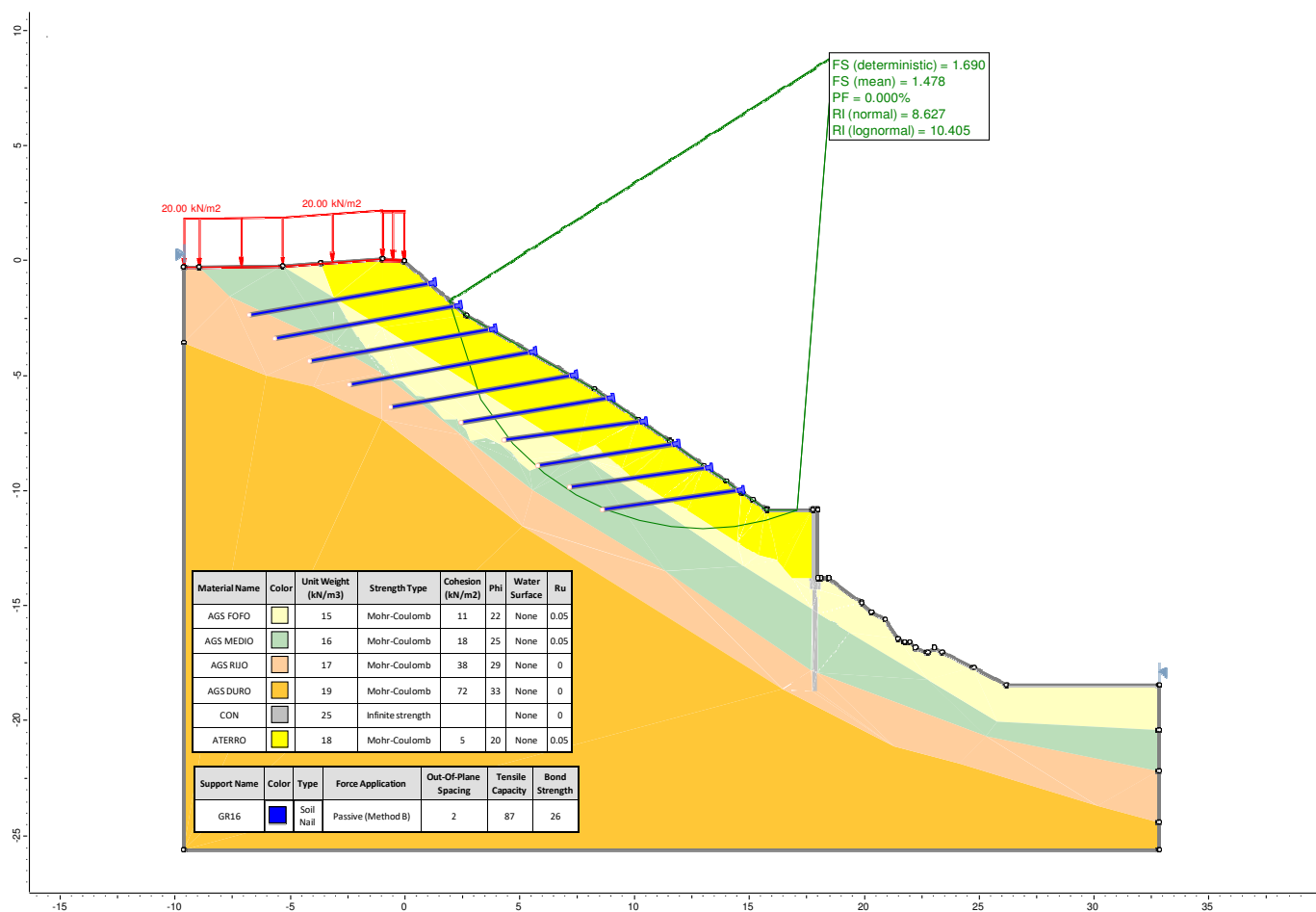
Desta forma, foi concebido muro de contenção em balanço, apoiado sobre estacas escavadas a trado manual.

12.2.1 ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL

Para esta situação, foi realizada a análise de estabilidade global para o aterro de preenchimento da erosão, contido pelo muro de concreto, cujo o resultado encontrado para o Fator de Segurança foi FS=1,690.

[Digite aqui]

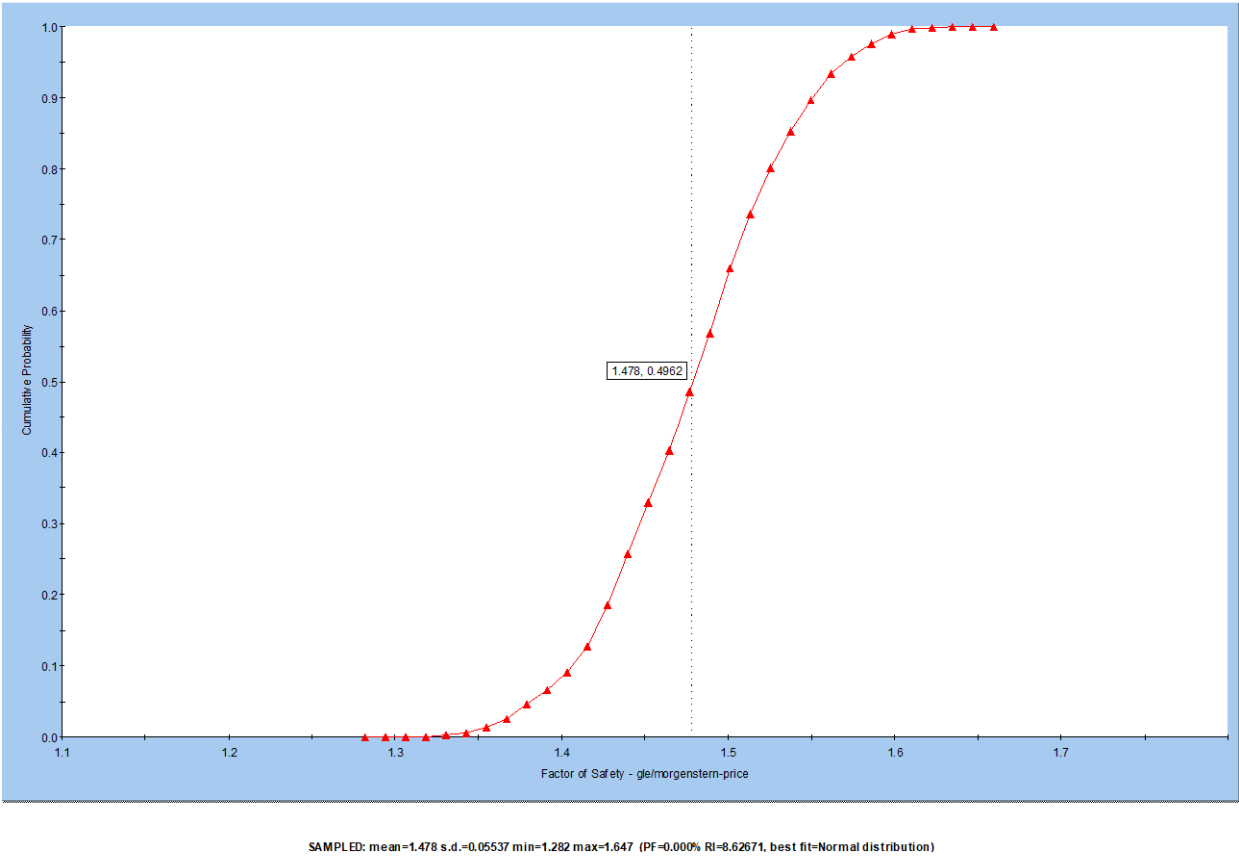
Figura 13 – Estabilização do corpo do aterro com solo grampeado e muro de contenção



A Figura 14 apresenta a probabilidade de ocorrência de ruptura acumulada. Pelos resultados obtidos o Fator de Segurança encontrado, é suficiente para cobrir os cenários de aumento de umidade no corpo do talude, com resultado de probabilidade de ruptura, adequado ao nível de segurança requerido para a obra em questão.

[Digite aqui]

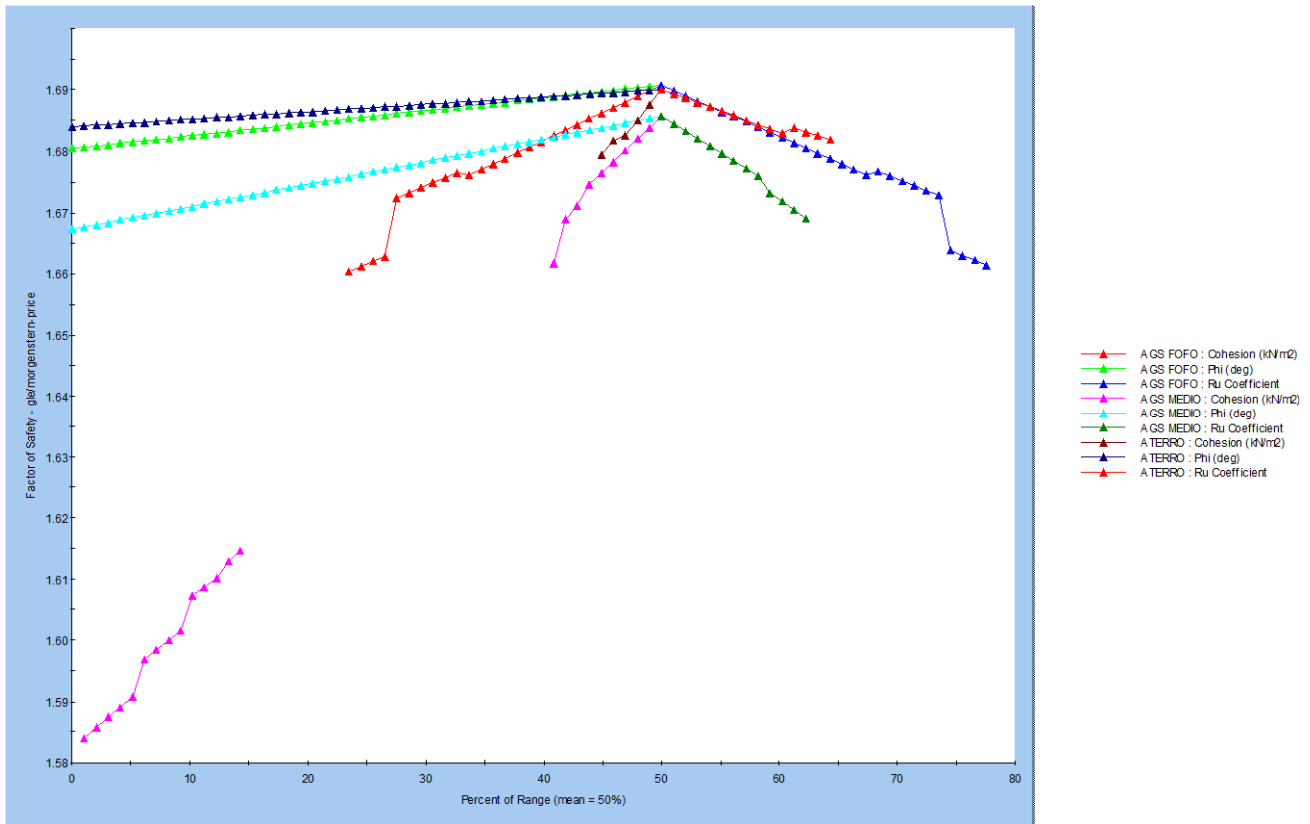
Figura 11: Probabilidade de ocorrência de ruptura



A Figura 15 apresenta a relação entre a variação nas propriedades dos materiais e resultados de Fator de Segurança, considerando o efeito de aumento de umidade no solo.

[Digite aqui]

Figura 18: Relação da variação dos parâmetros geotécnicos com os resultados de FS



12.2.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE LOCAL

O dimensionamento geotécnico foi realizado para determinação da ficha do muro de contenção, determinando assim o comprimento das estacas a serem utilizadas no dimensionamento estrutural, bem como verificar a estabilidade local de tombamento.

A verificação de deslizamento é dispensada, por se tratar de solução com fundação profunda em estacas. O mesmo é válido para a verificação da tensão transmitida ao solo.

O modelo de cálculo adotado é o de escoramento em balanço. Neste modelo o esforço de empuxo ativo é equilibrado pelo empuxo passivo com incremento de um fator de segurança quanto ao tombamento de $FS=1,5$.

Parâmetros adotados:

Altura do muro: 3,0 m

Coesão: 10,0 kPa

Ângulo de atrito: 24°

[Digite aqui]

Sobrecarga: 20 kN/m³

Peso específico: 17 kN/m³

Coeficiente de empuxo ativo: $\tan^2 (45-24/2) = 0,42$

Coeficiente de empuxo passivo: $\tan^2 (45+24/2) = 2,37$

Esforços atuante:

- Pressões ativas

Profundidade Pressão

0 m $P_a = 0$

-3,0 m $P_a = 17,0 \times 0,42 \times 3,0 - 2 \times 10 \sqrt{0,42} + 20 \times 0,42 = 16,86 \text{ kPa}$

-(3,0 m + Z) $P_a = 16,86 + 17,0 \times 0,42 \times Z = (16,86 + 7,14Z) \text{ kPa}$

- Pressões passivas

Profundidade Pressão

-3,0 m $P_p = 0$

-(3,0 m + Z) $P_p = 17 \times 2,37Z = 40,29Z \text{ kPa}$

Diagrama resultante

Profundidade Pressão

-3,0 m $\Delta P = 0 - 16,86 = -16,86 \text{ kPa}$

-(3,0 m + Z) $\Delta P = 40,29Z - 16,86 - 7,14Z = (33,15Z - 16,86) \text{ kPa}$

Ponto em que o diagrama de pressões se anula ($\Delta P = 0$)

$$33,15Z - 16,86 = 0 \quad Z = \frac{16,86}{33,15} = 0,51 \text{ m}$$

$$X = Z - 0,51 \quad Z = X + 0,51$$

Resultantes

$$R_a = 16,86 \times \left(\frac{3}{2}\right) = 25,29 \text{ kN/m}$$

$$R_b = 16,86 \times \left(\frac{0,51}{2}\right) = 4,29 \text{ kN/m}$$

$$R_c = 40,29Z \cdot \frac{X}{2} = 40,29 \cdot (X + 0,51) \cdot \frac{X}{2} = \frac{(40,29X + 20,55)X}{2} = 20,14X^2 + 10,27X$$

[Digite aqui]

Como o escoramento abaixo da contenção é descontínuo, as pressões passivas foram calculadas considerando a largura de influência em cada estaca de duas vezes a largura das estacas.

Diâmetro da estaca: 0,25 m

Largura de influência das estacas: $2 \times 0,25 = 0,5$ m

$$R_c = (20,14X^2 + 10,27X) \times 0,5 = 10,07X^2 + 5,14X$$

No ponto de equilíbrio o somatório de momento é igual a zero, assim:

$$25,29x \left(3x \left(\frac{1}{3} \right) + 0,51 + X \right) + 4,29x \left(0,51x \left(\frac{2}{3} \right) + X \right) - (10,07X^2 + 5,14X) \left(\frac{X}{3} \right) = 0$$

$$38,19 + 25,29X + 1,46 + 4,29X - 3,35X^3 + 1,71X^2 = 0$$

$$4,03X^3 + 2,05X^2 - 29,58X - 39,65 = 0$$

$$X = 3,00 \text{ m}$$

$$Z = 3,49 + 0,51 = 4,0 \text{ m}$$

A ficha necessária com o incremento de fator de segurança encontrado foi:

$$f = 1,5 \times 3 = 4,5 \text{ m}$$

12.2.3 MODELO ESTRUTURAL

O dimensionamento estrutural foi realizado para determinar as dimensões e armaduras dos elementos em concreto armado. Para isso foi elaborado um modelo estrutural em elementos finitos através do software SAP2000.

O modelo estrutural foi constituído por elementos de placa medindo (25,0x25,0) cm representando a parede do muro, apoiados sobre as estacas através de elementos de barra com segmentos de 50,0 cm.

Na extremidade de cada segmento de barra das estacas foi considerado molas com constante elástica vertical de 1600 tf/m³ e horizontal de 670 tf/m³. As Figuras 19 e 20 apresentam o modelo estrutural elaborado.

[Digite aqui]

Figura 19 - Modelo estrutural

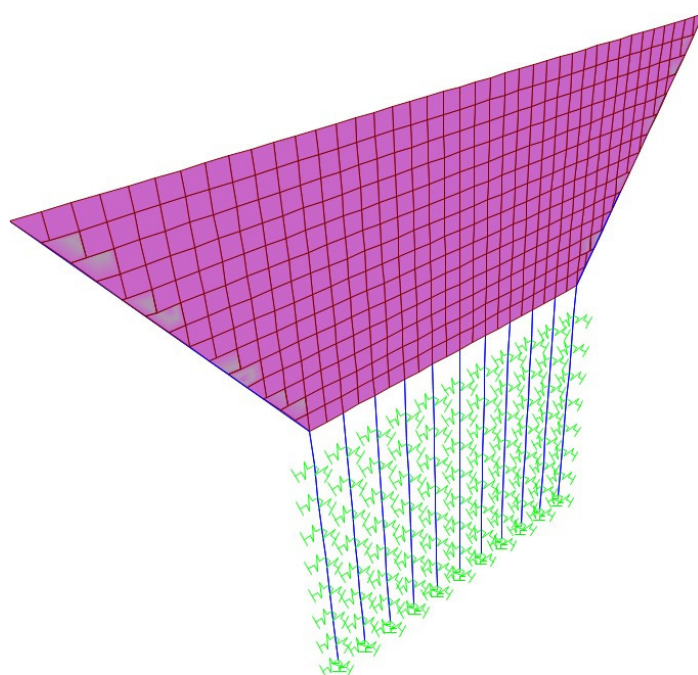
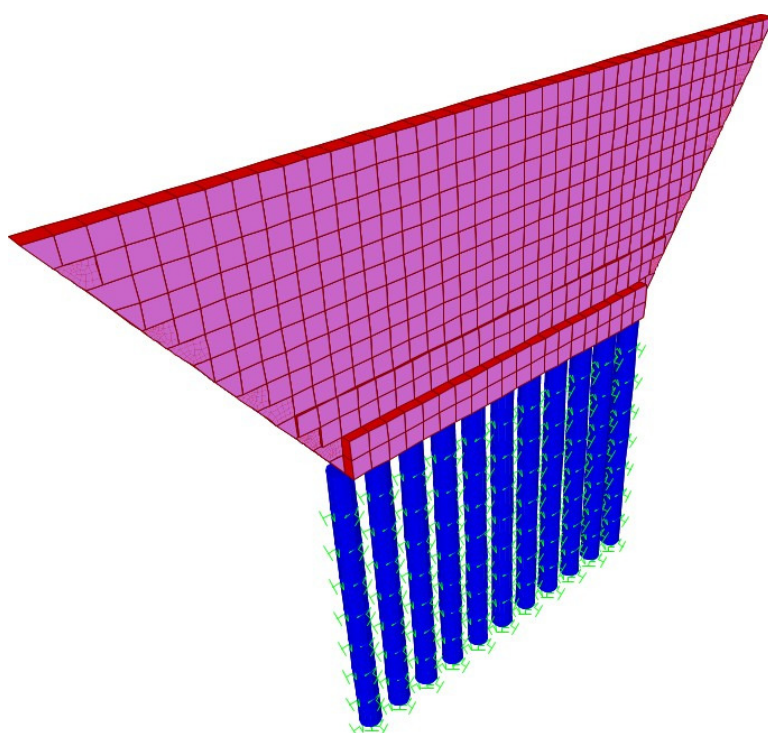


Figura 20 - Modelo estrutural



[Digite aqui]

12.2.4 CARREGAMENTO

As cargas consideradas no dimensionamento estrutural do muro foram:

- Carga 1: Peso próprio da estrutura
Adotado concreto com peso específico $\gamma_c = 2,5 \text{ tf/m}^3$
- Carga 2: Empuxo do solo
Peso específico $\gamma_s = 1,7 \text{ tf/m}^3$
Coesão $c=10,0 \text{ kPa}$
Ângulo de atrito $\phi=24^\circ$
Coeficiente de empuxo ativo $k=0,42$
Altura dos elementos de placa: 2,55
 $E_{\max} = 1,7 \times 0,42 \times 3,0 = 2,14 \text{ tf.m}$
- Carga 2: Sobrecarga sobre o solo contido.
Adotado sobrecarga $q = 1,0 \text{ tf/m}^2$
 $E = 0,42 \times 1,0 = 0,42 \text{ tf/m}^2$

12.2.5 COMBINAÇÕES DE CARGA

A combinação de cargas considerada no dimensionamento estrutural do muro foi:

- Combinação 1: carga 1 + carga 2 + carga 3

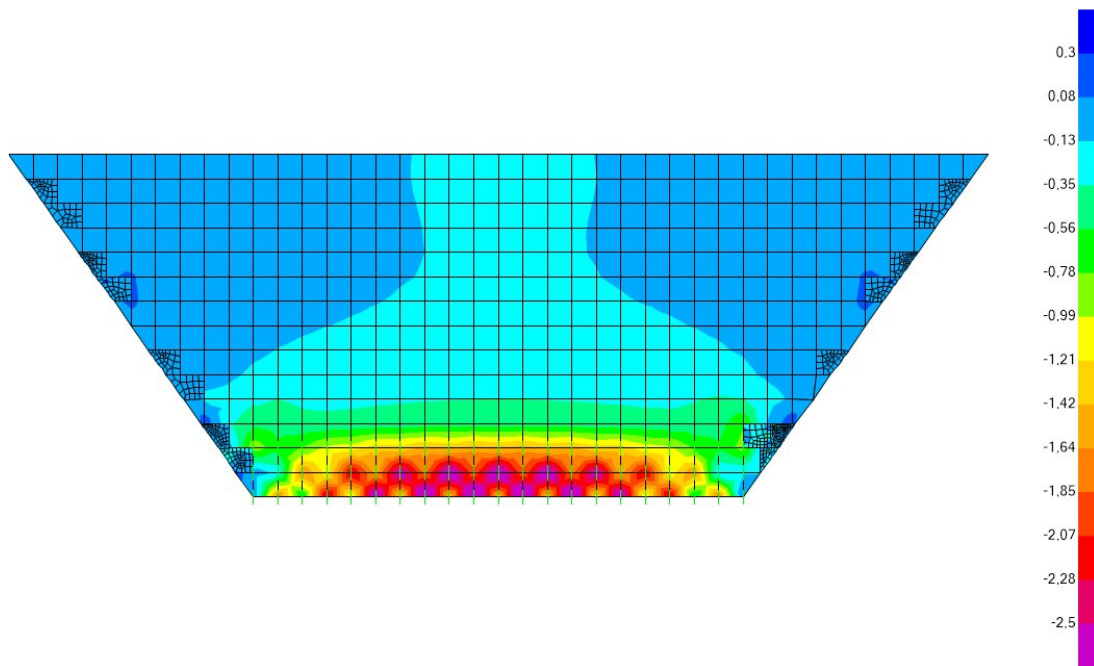
12.2.6 RESULTADOS E DIMENSIONAMENTO DA PAREDE

Adiante são apresentados os esforços solicitantes obtidos nas análises. O dimensionamento do muro foi realizado como elemento de laje em balanço, engastada na viga de coroamento das estacas.

A Figura 21 apresenta a flexão em torno do eixo longitudinal do muro.

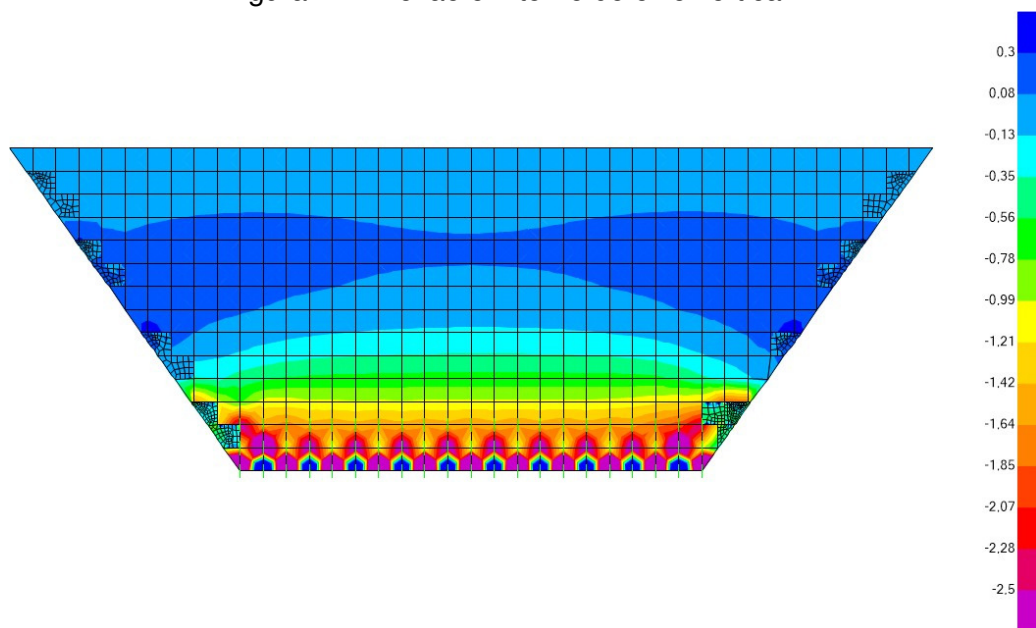
Figura 21 - Flexão em torno do eixo longitudinal

[Digite aqui]



A Figura 22 apresenta a flexão em torno do eixo vertical o muro.

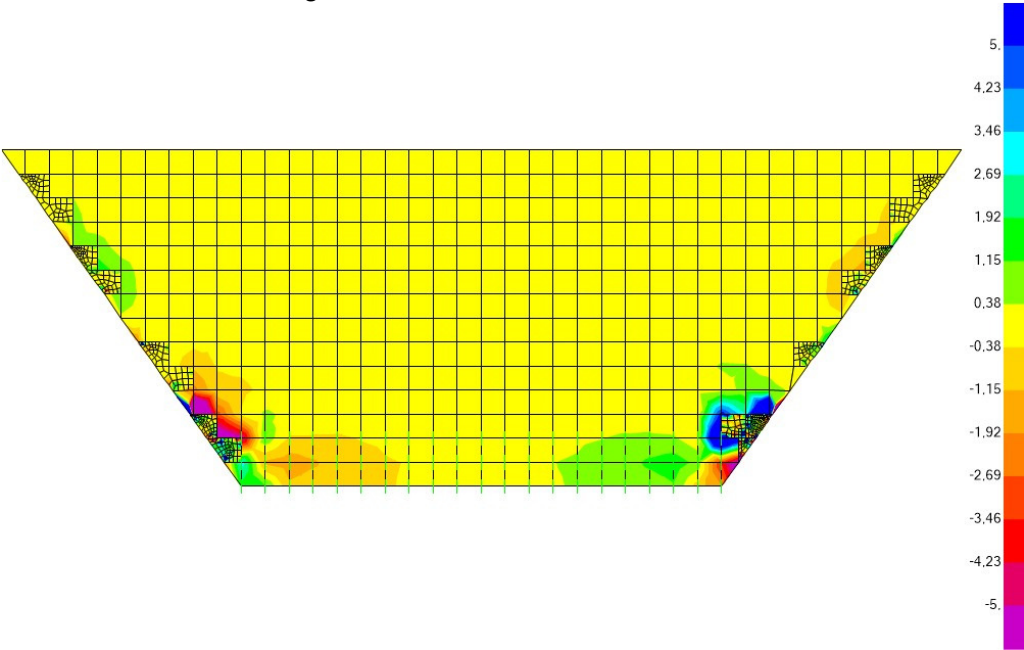
Figura 22 - Flexão em torno do eixo vertical



A Figura 23 apresenta o esforço principal de cisalhamento na seção do plano longitudinal do muro.

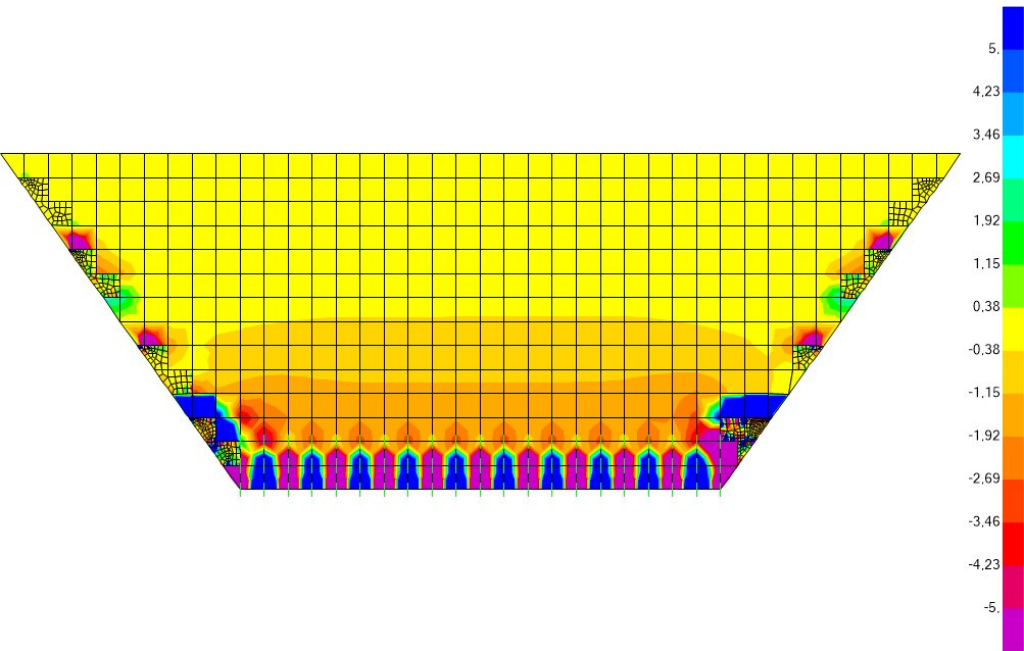
[Digite aqui]

Figura 23: Cisalhamento atuante



A Figura 24 apresenta o esforço principal de cisalhamento na seção do plano transversal do muro.

Figura 24: Cisalhamento atuante



Os esforços obtidos para o dimensionamento da parede do muro foram.

[Digite aqui]

Seção 20 cm – 0,5 m a 3,5 m

- $M_x = 3,16 \text{ tf.m/m}$

- $M_y = 0,60 \text{ tf.m}$

- $Q = 3,18 \text{ tf/m}$

Seção 50 cm – 0 a 0,5 m

- $M_x = 8,16 \text{ tf.m/m}$

- $M_y = 3,20 \text{ tf.m}$

- $Q = 31,0 \text{ tf/m}$

A Figura 25 apresenta o dimensionamento estrutural da parede do muro com seção de 20 cm.

Figura 25. Dimensionamento estrutural da parede do muro

DIMENSIONAMENTO DE LAJES PLANAS													
DADOS DE ENTRADA													
Dados da seção transversal:													
h =	20 cm	d' =	4,5 cm										
Dados dos materiais:													
fck =	300 kgf/cm ²	fcd =	214 kgf/cm ²	fctm =	28,96 kgf/cm ²								
fyk =	5000 kgf/cm ²	fyd =	4348 kgf/cm ²	fctk,inf =	20,28 kgf/cm ²								
Es =	2100000 kgf/cm ²	Ecs =	260716 kgf/cm ²										
Esforços solicitantes:													
Majoração dos esforços = 1,4													
Mx _{máx} =	3160 kgf.m	Mx _d =	4424 kgf.m										
My _{máx} =	600 kgf.m	My _d =	840 kgf.m										
Vx =	3180 kgf	Vxd =	4452 kgf										
Vy =	500 Kgf	Vy _d =	700 kgf										
DIMENSIONAMENTO													
Dimensionamento à Flexão:													
		Asmin =	3,46 cm ²	ø10 c/ 23cm									
Mx:				My:									
klim =	0,32	k =	0,101	klim =	0,32	k =	0,019						
ka =	0,101			ka =	0,019								
As ₁ =	6,93			As ₁ =	1,26								
As ₂ =	0,00			As ₂ =	0,00								
As =	6,93 cm ²			As =	1,26 cm ²								
		ø12,5 c/ 18cm				ø6,3 c/ 25cm							
Verificação da Fissuração:													
Mx:				My:									
As =	6,93 cm ²			As =	3,5 cm ²								
Diametro =	12,5 mm			Diametro =	10,0 mm								
S =	18 cm			S =	23 cm								
a _w =	0,0022			a _w =	0,0018								
Bcr =	93,75 cm			Bcr =	60,00 cm								
Hcr =	13,88 cm			Hcr =	12,00 cm								
Acr =	1301 cm ²			Acr =	720 cm ²								
P _{rcal} =	0,0053			P _{rcal} =	0,0048								
Coef. 1 =	0,839			Coef. 1 =	0,751								
Coef. 2 =	1,332			Coef. 2 =	1,248								
Coef. =	0,839			Coef. =	0,751								
As _{fiss} =	6,93 cm ²			As _{fiss} =	3,46 cm ²								
Adotado ø12,5 c/ 15cm				Adotado ø10 c/ 15cm									

[Digite aqui]

Momento de fissuração:

$$M_r = 2896 \text{ kgf.m}$$

$$M_{x_{serv}} = 3160 \text{ kgf.m} \quad \text{Estádio II}$$

$$M_{y_{serv}} = 600 \text{ kgf.m} \quad \text{Estádio I}$$

Cálculo da Abertura de Fissura (Estádio I):**Mx:**

$$A_{s_e} = 8,59 \text{ cm}^2$$

$$B_{cr} = 100,00 \text{ cm}$$

$$H_{cr} = 13,88 \text{ cm}$$

$$A_{cr} = 1388 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{rcal} = 0,0050$$

$$\rho_r = 0,0062$$

$$\sigma_{si} = 2507 \text{ kgf/cm}^2$$

$$w_{k1} = 0,14 \text{ mm}$$

$$w_{k2} = 0,37 \text{ mm}$$

My:

$$A_{s_e} = 5,50 \text{ cm}^2$$

$$B_{cr} = 90,00 \text{ cm}$$

$$H_{cr} = 12,00 \text{ cm}$$

$$A_{cr} = 1080 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{rcal} = 0,0032$$

$$\rho_r = 0,0051$$

$$\sigma_{si} = 1954 \text{ kgf/cm}^2$$

$$w_{k1} = 0,07 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

$$w_{k2} = 0,27 \text{ mm}$$

Cálculo da Abertura de Fissura (Estádio II):**Mx:**

$$A_{s_e} = 8,59 \text{ cm}^2$$

$$B_{cr} = 100,00 \text{ cm}$$

$$H_{cr} = 13,88 \text{ cm}$$

$$A_{cr} = 1388 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_e = 8,05$$

$$A = 0,69$$

$$B = 21,45$$

$$X_{II} = 3,99 \text{ cm}$$

$$I_{II} = 11284 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} = 2596 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\rho_r = 0,0062$$

$$w_{k1} = 0,15 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

$$w_{k2} = 0,38 \text{ mm}$$

My:

$$A_{s_e} = 5,50 \text{ cm}^2$$

$$B_{cr} = 90,00 \text{ cm}$$

$$H_{cr} = 12,00 \text{ cm}$$

$$A_{cr} = 1080 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_e = 8,05$$

$$A = 0,44$$

$$B = 13,73$$

$$X_{II} = 3,29 \text{ cm}$$

$$I_{II} = 7789 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} = 758 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\rho_r = 0,0051$$

$$w_{k1} = 0,01 \text{ mm}$$

$$w_{k2} = 0,11 \text{ mm}$$

Necessidade de armadura pra força cortante:

$$f_{ctd} = 14,48 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{rd} = 3,62 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\rho_1 = 0,004474$$

$$N_{sd1} = 2680 \text{ kgf} \quad \text{carregamento SC}$$

$$N_{sd2} = 500 \text{ kgf} \quad \text{carregamento PP}$$

$$\sigma_{cp} = 2,44 \text{ kgf/cm}^2$$

$$k = 1,45$$

$$V_{Rd1} = 11751 \text{ kgf}$$

$$V_{sd} = 4452 < 11751 \quad \text{OK!}$$

$$f_{ctd} = 14,48 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{rd} = 3,62 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\rho_1 = 0,000812$$

$$N_{sd1} = 0 \text{ kgf} \quad \text{carregamento SC}$$

$$N_{sd2} = 500 \text{ kgf} \quad \text{carregamento PP}$$

$$\sigma_{cp} = 0,69 \text{ kgf/cm}^2$$

$$k = 1,45$$

$$V_{Rd1} = 10156 \text{ kgf}$$

$$V_{sd} = 700 < 10156 \quad \text{OK!}$$

A Figura 26 apresenta o dimensionamento estrutural da parede do muro com seção de 50 cm.

[Digite aqui]

Figura 26. Dimensionamento estrutural da parede do muro

DIMENSIONAMENTO DE LAJES PLANAS									
DADOS DE ENTRADA									
Dados da seção transversal:									
h =	50	cm	d' =	4,5	cm				
Dados dos materiais:									
fck =	300	kgf/cm ²	fcd =	214	kgf/cm ²	fctm=	28,96	kgf/cm ²	
fyk =	5000	kgf/cm ²	fyd =	4348	kgf/cm ²	fctk,inf =	20,28	kgf/cm ²	
Es =	2100000	kgf/cm ²	Ecs =	260716	kgf/cm ²				
Esforços solicitantes:									
Majoração dos esforços = 1,4									
Mx _{máx} =	8160	kgf.m	Mx _d =	11424	kgf.m				
My _{máx} =	3200	kgf.m	My _d =	4480	kgf.m				
Vx =	31000	kgf	Vxd =	43400	kgf				
Vy =	1000	Kgf	Vy _d =	1400	kgf				
DIMENSIONAMENTO									
Dimensionamento à Flexão:									
			Asmin =	8,65	cm ²	ø10 c/ 9cm			
Mx:			My:						
klim =	0,32		klim =	0,32					
ka =	0,030	k = 0,030	ka =	0,012		k = 0,012			
As ₁ =	5,87		As ₁ =	2,28					
As ₂ =	0,00		As ₂ =	0,00					
As =	5,87	cm ²	ø12,5 c/ 21cm			As = 2,28	cm ²	ø6,3 c/ 14cm	
Verificação da Fissuração:									
Mx:			My:						
As =	8,65	cm ²	As =			8,7	cm ²		
Diametro =	10,0	mm	Diametro =			10,0	mm		
S =	9	cm	S =			9	cm		
a _w =	0,0018		a _w =			0,0018			
Bcr =	100,00	cm	Bcr =			100,00	cm		
Hcr =	12,00	cm	Hcr =			12,00	cm		
Acr =	1200	cm ²	Acr =			1200	cm ²		
ρ _{rcal} =	0,0072		ρ _{rcal} =			0,0072			
Coef. 1 =	0,751		Coef. 1 =			0,751			
Coef. 2 =	1,026		Coef. 2 =			1,026			
Coef. =	0,751		Coef. =			0,751			
As _{fiss} =	8,65	cm ²	As _{fiss} =			8,65	cm ²		
			Adotado ø10 c/ 9cm			Adotado ø10 c/ 9cm			

Cálculo da Abertura de Fissura (Estadio I):

Mx:

$AS_e =$	9,42	cm ²
$B_{cr} =$	100,00	cm
$H_{cr} =$	12,00	cm
$A_{cr} =$	1200	cm ²
$\rho_{rcal} =$	0,0072	
$\rho_r =$	0,0079	
$\sigma_{si} =$	2850	kgf/cm ²
$w_{k1} =$	0,14	mm OK!
$w_{k2} =$	0,27	mm

My:

$AS_e =$	9,42	cm ²
$B_{cr} =$	100,00	cm
$H_{cr} =$	12,00	cm
$A_{cr} =$	1200	cm ²
$\rho_{rcal} =$	0,0072	
$\rho_r =$	0,0079	
$\sigma_{si} =$	2850	kgf/cm ²
$w_{k1} =$	0,14	mm OK!
$w_{k2} =$	0,27	mm

Necessidade de armadura pra força cortante:

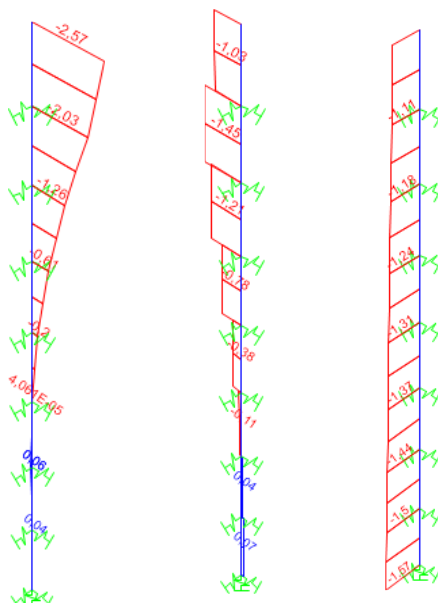
$f_{ctd} =$	14,48	kgf/cm ²
$\tau_{rd} =$	3,62	kgf/cm ²
$\rho_1 =$	0,001289	
$N_{sd1} =$	29750	kgf carregamento SC
$N_{sd2} =$	1250	kgf carregamento PP
$\sigma_{cp} =$	25,83	kgf/cm ²
$k =$	1,15	
$V_{Rd1} =$	41239	kgf
$V_{sd} =$	43400	> 41239 Não OK!

$f_{ctd} =$	14,48	kgf/cm ²
$\tau_{rd} =$	3,62	kgf/cm ²
$\rho_1 =$	0,000501	
$N_{sd1} =$	-250	kgf carregamento SC
$N_{sd2} =$	1250	kgf carregamento PP
$\sigma_{cp} =$	0,83	kgf/cm ²
$k =$	1,15	
$V_{Rd1} =$	23581	kgf
$V_{sd} =$	1400	< 23581 OK!

12.2.7 RESULTADOS E DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS

A diâmetro da estaca foi determinado de modo a obter a maior área de atuação do empuxo passivo possível em função método construtivo aplicável para a situação. Neste caso adotou-se diâmetro de 25,0 cm. A Figura 27 apresenta respectivamente o esforço de flexão, cisalhamento e compressão atuante na estaca, decorrente do empuxo na parede do muro.

Figura 27. Flexão, cisalhamento e compressão nas estacas



[Digite aqui]

A Figura 28 apresenta o dimensionamento das estacas para a flexão normal composta.

Figura 28. Verificação da estaca para Flexão Normal Composta

