

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Roger Simon da Silva

**PROJETO DE RECOMPOSIÇÃO GEOMÉTRICA E GEOTÉCNICA DE  
BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE  
PORTO ALEGRE**

Porto Alegre

2021

ROGER SIMON DA SILVA

**PROJETO DE RECOMPOSIÇÃO GEOMÉTRICA E GEOTÉCNICA DE  
BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE  
PORTO ALEGRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Cesar Alberto Ruver**

Porto Alegre

2021

ROGER SIMON DA SILVA

**PROJETO DE RECOMPOSIÇÃO GEOMÉTRICA E GEOTÉCNICA DE  
BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE  
PORTO ALEGRE**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Porto Alegre, maio de 2021**

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Cesar Alberto Ruver (UFRGS)**

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

**Profa. Wai Ying Yuk Gehling (UFRGS)**

Dra. pela Universitat Politècnica de Catalunya

**Eng. Civil Tennison Freire de Souza Junior (UFRGS)**

Me. pela Universidade Federal do Paraná

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo e Regina, e aos meus irmãos Diego e Daniel que sempre me apoiaram e, especialmente durante o período do meu Curso de Graduação, estiveram ao meu lado.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Cesar Ruver pela disponibilidade de horários, pelo empenho durante a elaboração do trabalho e pelas sugestões e críticas. Fico grato pelas palavras durante esta trajetória e pela disponibilidade de ajuda, principalmente neste ano atípico.

Agradeço aos meus pais Paulo e Regina por serem a minha base sólida na vida, fornecendo todo incentivo e força necessários em momentos obscuros e difíceis. Sou grato por estarem sempre presentes com conselhos, apoio emocional sempre que precisei e acreditarem que meus sonhos poderiam ser alcançados.

Agradeço aos meu irmãos Diego e Daniel por fazerem parte da formação do meu caráter e personalidade. Agradeço pelas longas conversas e risadas ao longo destes anos.

Por fim agradeço a todos os professores e colegas de curso pelos momentos e experiências vividas na UFRGS.

Sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo.

*Winston Churchill*

## RESUMO

Este trabalho trata de um projeto de recomposição geotécnico e geométrico de uma barragem de terra homogênea existente na região metropolitana de Porto Alegre. Serão considerados ensaios locais obtidos juntamente com informações de seções transversais e o projeto original da barragem para a elaboração da nova geometria. Para os parâmetros geotécnicos faltantes serão consideradas fontes bibliográficas com ensaios que tentam aproximar os materiais de solo de fundação e barramento encontrados. Serão utilizados métodos atuais para elaboração da nova geometria que será modelada, em *software*, para avaliação da estabilidade de seus taludes pelo método de Morgenstern-Price em regime permanente de fluxo. Serão calculados os recalques instantâneos e por adensamento relacionados com a nova geometria adotada e também o fluxo de água percolante pelo maciço do novo aterro de barramento. Por fim serão apresentadas as pranchas de projeto e os quantitativos relacionados com a nova geometria.

**Palavras-chave:** Barragem de terra homogênea. Dimensionamento de barragem. Bermas de equilíbrio.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – imagem de satélite do reservatório.	19
Figura 2 – problema de infiltração no maciço do barramento.	20
Figura 3 – vazamento das comportas de irrigação.	21
Figura 4 – área de aterro superior à altura crítica na seção 1+000.	31
Figura 5 – área de aterro superior à altura crítica na seção 1+500.	31
Figura 6 – linha freática superior e variação do gradiente hidráulico na seção 0+500.	34
Figura 7 – linha freática superior e variação da poro-pressão na seção 0+500.	35
Figura 8 – linha freática superior e variação do gradiente hidráulico na seção 1+500.	35
Figura 9 – linha freática superior e variação da poro-pressão na seção 1+500.	36
Figura 10 – linha freática superior e variação do gradiente hidráulico na seção 5+500.	36
Figura 11 – linha freática superior e variação da poro-pressão na seção 5+500.	37
Figura 12 – fator de segurança e estabilidade do talude de montante na seção 0+500.	38
Figura 13 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante na seção 0+500.	38
Figura 14 – fator de segurança e estabilidade do talude de montante na seção 1+500.	39
Figura 15 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante superior na seção 1+500.	40
Figura 16 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante inferior na seção 1+500.	40
Figura 17 – fator de segurança e estabilidade do global na seção 1+500.	40
Figura 18 – fator de segurança e estabilidade do talude de montante na seção 5+500.	41



Figura 19 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante na seção 5+500.	41
Figura 20 – linha freática superior e variação do gradiente hidráulico na seção 5+500 com nova berma dimensionada.	42
Figura 21 – linha freática superior e variação da poro-pressão na seção 5+500 com nova berma dimensionada.	42
Figura 22 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante superior na seção 5+500 com nova berma dimensionada	42
Figura 23 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante inferior na seção 5+500 com nova berma dimensionada	43
Figura 24 – fator de segurança e estabilidade global na seção 5+500 com nova berma dimensionada.	43
Figura 25 – parâmetros geométricos para o cálculo de recalques instantâneos.	46
Figura 26 – parâmetros geométricos e cargas simplificadas para o cálculo de recalques instantâneos.	46
Figura 27 – bulbo de deformações do solo de fundação na seção 1+500.	48
Figura 28 – linhas de fluxo e vazão na seção 0+500.	50
Figura 29 – linhas de fluxo e vazão na seção 1+500.	50
Figura 30 – linhas de fluxo e vazão na seção 5+500.	51
Figura A1 – geometria do reservatório e distâncias consideradas para cálculo do <i>fetch</i> efetivo.	57
Figura A2 – isopletas da velocidade básica $V_0$ em m/s.	59
Figura A3 – parâmetros geométricos para o cálculo pelos ábacos de Jakobson.	62
Figura A4 – ábaco de Jakobson para o caso 1.	64
Figura A5 – altura e extensão da berma de equilíbrio calculada.	65
Figura A6 – parâmetros geométricos e carga de aterro.	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – relação do $S_u$ com o nSPT do solo de fundação segundo SCHNAID, 2012.	23
Tabela 2 – quadro resumo dos parâmetros dos solos e material do filtro.	25
Tabela 3 – Fatores de segurança mínimos para barragens de mineração e reservação de água.	27
Tabela 4 – fatores de segurança mínimos para barragens.	28
Tabela 5 – Fator de segurança por Morgenstern-Price, Bishop e Spencer.	44
Tabela 6 – parâmetros estimados de $E$ e $\mu$ para diferentes tipos de solos.	47
Tabela 7 – valores utilizados no <i>software</i> SIGMA/W para modelagem do solo de fundação.	47
Tabela 8 – vazões estimadas, distâncias de atuação e vazão total.	51
Tabela 9 – dimensionamento da proteção do talude de montante recomendada pelo <i>U. S. Army Corps of Engineers</i> .	52
Tabela A1 – distâncias e ângulos considerados para o cálculo do <i>fetch</i> efetivo.	58
Tabela A2 – borda livre mínima recomendada para valores de <i>fetch</i> .	60
Tabela A3 – parâmetros utilizados para o método dos ábacos de Jakobson.	62
Tabela A4 – valor do peso da berma de equilíbrio.	62
Tabela A5 – comparação da resistência admissível com o peso do aterro.	63
Tabela A6 – parâmetros para utilização do ábaco de Jakobson.	63
Tabela A7 – resultado obtido pelo ábaco de Jakobson.	65
Tabela A8 – fator Tempo em função da Porcentagem de Recalque para adensamento pela Teoria de Terzaghi.	69
Tabela B1 – volumes de corte.	71
Tabela B2 – volumes de aterro.	71
Tabela B3 – volumes de material do filtro.	72
Tabela B4 – volumes de enrocamento a montante.	73

Tabela B5 – volumes de pedrisco para composição do dreno de pé.	73
Tabela B6 – volumes de pedra irregular para composição do dreno de pé.	74
Tabela B7 – áreas de enleivamento do talude de jusante e berma.	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

SPT - *Standart Penetration Test*

nSPT – resistência a penetração do amostrador SPT

nSPT<sub>,60</sub> - nSPT corrigido para 60% da energia teórica de queda livre

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\gamma_n$  – peso específico médio (kN/m<sup>3</sup>)

$\phi'$  – ângulo de atrito (graus)

$c'$  – intercepto coesivo (kPa)

$c_v$  – coeficiente de adensamento (m<sup>2</sup>/s)

$C_c$  – índice de compressão

$C_{cr}$  – índice de recompressão

$\sigma'_{vm}$  – tensão de pré-adensamento (kN/m<sup>2</sup>)

$k$  – coeficiente de condutividade hidráulica (cm/s)

$S_u$  – resistência ao cisalhamento não drenada (kPa)

$E$  – módulo de elasticidade (kPa)

$\nu$  – coeficiente de Poisson

$e_0$  – índice de vazios

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2. DIRETRIZES DE PROJETO</b> .....	17
2.1 OBJETIVOS.....	17
2.1.1 <i>Objetivo principal</i> .....	17
2.1.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	17
2.2 PRESSUPOSTOS.....	17
2.3 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES.....	17
<b>3. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM ORIGINAL E INFORMAÇÕES UTILIZADAS</b> .....	19
3.1. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM ORIGINAL.....	19
3.2. INFORMAÇÕES UTILIZADAS.....	21
4.1. SOLO DE FUNDAÇÃO.....	22
4.2. SOLO DE BARRAMENTO.....	24
4.3. MATERIAL DO FILTRO.....	24
4.4. OUTROS MATERIAIS.....	25
<b>5. FATORES PRELIMINARES</b> .....	26
5.1. FATOR DE SEGURANÇA.....	26
5.2. ALTURA CRÍTICA DE ATERRO.....	28
<b>6. DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA</b> .....	29
6.1. NÍVEL D'ÁGUA E COTA DA CRISTA.....	29
6.2. INCLINAÇÃO DOS TALUDES.....	30
6.3. BERMAS DE EQUILÍBRIO.....	30
6.4. GEOMETRIA DO FILTRO.....	31
<b>7. ESTABILIDADE DOS TALUDES</b> .....	33
7.1 COMPORTAMENTO DO FLUXO DE ÁGUA PELO BARRAMENTO.....	33
7.1.1. <i>Fluxo na seção 0+500</i> .....	34
7.1.2. <i>Fluxo na seção 1+500</i> .....	35
7.1.3. <i>Fluxo na seção 5+500</i> .....	36
7.2. ESTABILIDADE DOS TALUDES.....	37
7.2.1. <i>Estabilidade na seção 0+500</i> .....	38
7.2.2. <i>Estabilidade na seção 1+500</i> .....	39
7.2.3. <i>Estabilidade na seção 5+500</i> .....	40
<b>8 DETERMINAÇÃO DE RECALQUES</b> .....	45
8.1 RECALQUES INSTANTÂNEOS.....	45
8.2. RECALQUES POR ADENSAMENTO.....	49

<b>9 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO POR PERCOLAÇÃO</b> .....	50
<b>10. PROTEÇÃO DOS TALUDES</b> .....	52
<b>11. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	53
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	55
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO .....	57
APÊNDICE B – QUANTITATIVOS .....	71
APÊNDICE C – PRANCHAS DE PROJETO .....	76
ANEXO A – INFORMAÇÕES DE CAMPO.....	93

## 1. INTRODUÇÃO

A estrutura estudada se trata de uma barragem de terra homogênea construída na década de 80 e serve como reservatório de água para irrigação de plantações de arroz na região metropolitana de Porto Alegre. O avanço tecnológico e desenvolvimento da informática permitiu que o comportamento do fluxo de água no barramento e sua influência na estabilidade de taludes fossem calculados por meio do método de elementos finitos facilitando assim a elaboração de projetos de estruturas de armazenamento de água.

A estrutura de barramento original encontra-se em estado precário de conservação em decorrência da falta de acompanhamento técnico e por falta de manutenção na barragem. Elementos estruturais fundamentais do barramento estão comprometidos, implicando assim, em um decréscimo no nível de água do reservatório previsto no projeto original e o possível colapso da estrutura em decorrência da falta de informações sobre as condições de fluxo de água e a filtragem existente no barramento. O projeto original levou em conta relações empíricas e de práticas passadas para a estrutura geométrica do barramento por falta de tecnologia computacional e bibliografia especializada no assunto.

Este trabalho consiste em um projeto geométrico para recomposição deste barramento existente na região metropolitana de Porto Alegre. Para que este projeto tenha caráter prático serão utilizados diversos módulos do *software* GeoStudio 2012 versão estudantil para análise de regimes de fluxo permanente de água, estabilidade de taludes e cálculo de recalques instantâneos. As informações utilizadas referentes ao barramento original estão apresentadas no Anexo A.

Para a completa utilização de métodos atuais de construção na área de barragens de terra é necessário um extenso estudo sobre os materiais envolvidos nesta construção e no entorno da estrutura. Por falta de informações detalhadas sobre estes materiais serão utilizados materiais análogos com extenso estudo e bibliografia relacionada. O memorial descritivo foi dividido em 11 capítulos, sendo este primeiro a introdução e o capítulo 2 as diretrizes de projeto utilizadas. O capítulo 3 descreve a barragem original e as informações de campo utilizadas para composição do projeto. O capítulo 4 descreve os materiais utilizados no projeto e suas propriedades físicas e parâmetros de resistência do ponto de vista geotécnico.



O capítulo 5 versa sobre os fatores preliminares necessários para o início do projeto, já o capítulo 6 descreve a solução adotada para a nova geometria da barragem e geometria do filtro. O capítulo 7 apresenta o comportamento do fluxo de água pelo barramento no regime permanente em seções consideradas críticas e a análise da estabilidade dos taludes nestas seções, relacionados com a nova geometria adotada.

O capítulo 8 apresenta o cálculo, via *software*, do recalque instantâneo na seção mais crítica encontrada considerando a nova geometria do barramento, o bulbo de tensões formado pela carga atuante e a previsão, para a mesma seção crítica, dos recalques por adensamento sofridos durante o tempo. O capítulo 9 contém o cálculo da vazão de percolação de água, aproximada, pelo barramento. O capítulo 10 aborda critérios de proteção dos taludes de montante e jusante e as soluções adotadas para tal. Por fim o capítulo 11 apresenta as considerações finais do trabalho.

## 2. DIRETRIZES DE PROJETO

### 2.1 OBJETIVOS

#### 2.1.1 *Objetivo principal*

Desenvolver um projeto de recomposição via aterramento de uma barragem de terra homogênea existente na região metropolitana de Porto Alegre.

#### 2.1.2. *Objetivos específicos*

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Interpretação de ensaios geotécnicos disponíveis e análise da topografia.
- b) Busca de parâmetros geotécnicos compatíveis com os materiais de fundação e corpo da barragem.
- c) Análise de estabilidade dos taludes de montante e jusante da nova geometria.
- d) Análise do fluxo de água.
- e) Elaboração de projeto geométrico e geotécnico da barragem.

### 2.2 PRESSUPOSTOS

Como pressuposto do trabalho admitiu-se que:

- a) A estrutura do barramento original é composta pelo mesmo material de aterro que será utilizado para o novo barramento.
- b) O material de barramento será considerado como adequadamente compactado.
- c) O filtro existente no barramento original se encontra assoreado por completo (ou não foi executado), sendo assim do mesmo material de aterro do barramento.

### 2.3 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES

- a) Não será abordada a construção de um novo vertedouro para o barramento.

b) Não será abordado o projeto de um novo sistema de comportas para a retirada de água para irrigação.

c) Não serão considerados os recalques atuantes no corpo do barramento em função do peso próprio.

d) Não é escopo deste trabalho o método construtivo utilizado e o projeto de material de empréstimo.

e) Serão consideradas apenas análises para regime permanente de operação do reservatório.

f) Os parâmetros geotécnicos e tipo de solo do corpo da barragem são hipotéticos, obtidos junto a literatura de solo com características adequadas para construção de barragens, não necessariamente com as características do solo original utilizado.

g) Os parâmetros geotécnicos para o subsolo de fundação foram estimados a partir da interpretação de ensaios de SPT.

### 3. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM ORIGINAL E INFORMAÇÕES UTILIZADAS

#### 3.1. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM ORIGINAL

Construído em 1986 o barramento original prevê a construção de um aterro de terra homogêneo para composição do corpo do barramento e foi projetado um filtro do tipo tapete com 30 cm de espessura. Para os taludes de montante e jusante foram utilizadas as inclinações de 1:3 e 1:2 respectivamente e a cota da crista foi projetada para ser 1,45 m acima da cota máxima do reservatório. Foi previsto para o revestimento do talude de montante a colocação de pedras irregulares na espessura de 35 cm e para o talude de jusante foi previsto enleivamento.

O desenvolvimento do barramento original se estende por 7.120 metros, tem como principal função a irrigação de 1600 hectares de plantações de arroz orgânico semeados por 376 famílias e tem capacidade de 9.490.880 m<sup>3</sup> de água com profundidade máxima de 3 metros.



Figura 1 – imagem de satélite do reservatório.  
Fonte: GOOGLE, 2021

Sem contar a função econômica e social, a barragem também tem um papel ambiental, sendo responsável por manter úmida a região dos banhados em que está localizada propiciando assim um refúgio para espécies locais de fauna.

Foi realizada uma inspeção no local que constatou diversos problemas de infiltração, erosão e surgência de água no maciço, além de problemas de assoreamento e erosão do vertedor as comportas utilizadas para a irrigação apresentaram problemas de vazamento causando erosão do maciço em seu entorno.



Figura 2 – problema de infiltração no maciço do barramento.  
Fonte: acervo pessoal Cesar Alberto Ruver

A figura 2 apresenta os problemas de erosão causada por infiltração no maciço, já a figura 3 apresenta o vazamento das comportas de irrigação que causou a erosão no maciço no local.



Figura 3 – vazamento das comportas de irrigação.  
Fonte: acervo pessoal Cesar Alberto Ruver

### 3.2. INFORMAÇÕES UTILIZADAS

Para este trabalho foram utilizadas informações coletadas em campo referentes ao barramento original além do projeto original do barramento. Foi utilizado um teste SPT realizado no local que corresponde ao material que compõe o solo de fundação em que está assentado o barramento original, além de seções transversais do barramento geradas no local com espaçamento de 500 em 500 metros. Idealmente a topografia local apresentada na forma das seções transversais deveria ser realizada com menor espaçamento, gerando seções de 20 em 20 metros ao longo do barramento, propiciando um melhor entendimento da situação local e consequentemente refinando projetos que venham a ser feitos posteriormente. As informações utilizadas estão presentes no Anexo A.

#### 4. PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Um dos maiores desafios deste projeto foi a obtenção de informações sobre os solos que compõem tanto o corpo do barramento quanto o solo de fundação em que está assentado. Para um projeto de grande magnitude, idealmente, necessitam-se de diversos ensaios de SPT com suas localizações, para maior precisão no delineamento do solo de fundação. A única informação local obtida sobre o solo de fundação é um ensaio SPT apresentado no Anexo A em que se pode observar a presença de solo em argila mole até a profundidade de 7,8 metros, um misto de areias que varia de grossa a fina e de pouco compacta á compacta de 7,8 a 11,8 metros, uma nova camada de argila que varia de mole á rija de 11,8 a 14,6 metros e a última camada composta de uma areia pouco á muito compacta de 14,6 a 33,2 metros. Para poder completar o estudo dos materiais do barramento e da composição do solo de fundação foram usadas referências bibliográficas que tentam aproximar as características dos materiais e suas propriedades que só poderiam ser determinados por ensaios de campo e laboratório.

##### 4.1. SOLO DE FUNDAÇÃO

A fim de obter-se uma caracterização completa do solo de fundação, foi utilizado como base o estudo do solo compressível presente no local da ampliação da pista de taxiamento delta do Aeroporto Internacional Salgado Filho apresentados no trabalho de MELLO et al. (2012). O solo mole estudado no caso do aeroporto se assemelha ao solo mole da primeira camada perfurada pelo SPT e foi ensaiado em laboratório para caracterização completa e determinação dos parâmetros de:

- Peso específico médio do solo,  $\gamma_n = 17,4 \text{ kN/m}^3$ ;
- Ângulo de atrito,  $\varphi' = 0^\circ$ ;
- Intercepto coesivo,  $c' = 18,63 \text{ kPa}$ ;
- Coeficiente de adensamento,  $c_v = 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ;
- Índice de compressão,  $C_c = 0,65$ ;
- Índice de recompressão,  $C_{cr} = 0,07$ ;
- Índice de vazios inicial,  $e_0 = 2,25$ ;

- A equação da tensão de pré-adensamento,  $\sigma'_{vm}$ , pela profundidade utilizada foi:

$$\sigma'_{vm} = 30 + 7z \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$z$  = Profundidade da camada (m).

O coeficiente de condutividade hidráulica,  $k$ , foi aproximado em  $k = 10^{-9}$  cm/s valor comum à argilas moles saturadas. Na camada superior de argila mole foi utilizada, para a resistência ao cisalhamento não-drenada ( $S_u$ ), a relação empírica de SCHNAID (2012) que relaciona a resistência à penetração do amostrador SPT corrigido para 60% da energia teórica de queda livre com a resistência ao cisalhamento não drenada para argilas na região de Porto Alegre. Os valores de nSPT correspondem aos valores encontrados em campo apresentados no Anexo A.

$$S_u = 4,5 * nSPT_{,60} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

$nSPT_{,60}$  = nSPT corrigido para 60% da energia teórica de queda livre.

nSPT	nSPT <sub>,60</sub>	$S_u$
2	2,4	10,8
2	2,4	10,8
2	2,4	10,8
4	4,8	21,6
6	7,2	32,4
6	7,2	32,4
Mínimo = 10,8 kPa		
Máximo = 32,4 kPa		
Médio = 21,6 kPa		

Tabela 1 – relação do  $S_u$  com o nSPT do solo de fundação segundo SCHNAID, 2012.  
Fonte: elaborado pelo autor

Observamos a variação da resistência ao cisalhamento,  $S_u$ , pela profundidade aproximada pela equação:



$$S_u = 10,8 + 2,7z \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$z$  = Profundidade na camada (m).

#### 4.2. SOLO DE BARRAMENTO

Como não há informações sobre o solo de barramento utilizado no projeto original, todas as informações e parâmetros do solo utilizados para compor o novo barramento vêm da literatura. As características e propriedades geotécnicas foram obtidas do trabalho de BASTOS et al. (2008) que reúne resultados de pesquisas realizadas para a determinação de propriedades geotécnicas de um solo arenoso fino costeiro encontrado no litoral do Rio Grande do Sul apresenta um solo com bom comportamento para obras de terra e será utilizado como o solo de aterro que compõe o corpo do barramento.

Os parâmetros utilizados foram:

- Peso específico,  $\gamma_n = 18,4 \text{ kN/m}^3$ ;
- Ângulo de atrito,  $\varphi' = 37,4^\circ$ ;
- Intercepto coesivo,  $c' = 9,8 \text{ kPa}$ ;
- Coeficiente de condutividade hidráulica,  $k = 10^{-5} \text{ cm/s}$ .

#### 4.3. MATERIAL DO FILTRO

Por falta de informações sobre o material que compõe o filtro, será utilizado um material genérico de uso comum para filtros de barragens de terra homogênea. O filtro será feito em areia média com as seguintes propriedades:

- Peso específico,  $\gamma_n = 18 \text{ kN/m}^3$ ;
- Ângulo de atrito,  $\varphi' = 36^\circ$ ;
- Intercepto coesivo,  $c' = 0 \text{ kPa}$ ;
- Coeficiente de condutividade hidráulica,  $k = 10^{-2} \text{ cm/s}$ .

#### 4.4. OUTROS MATERIAIS

O dreno de pé da barragem será composto por pedrisco seguido por uma camada de enrocamento. CRUZ (1983) recomenda que o dreno de saída ou de pé deva ter altura, no mínimo, igual a duas vezes a espessura do dreno horizontal, e largura de crista mínima de 4,0 metros. O detalhamento se encontra nas pranchas do Apêndice C. A tabela 2 apresenta o resumo dos parâmetros utilizados para o solo de fundação, solo do barramento e material do filtro utilizados.

Solo de Fundação		
Parâmetro	Valor	Unidade
$\gamma_n$	17,4	kN/m <sup>3</sup>
$\varphi'$	0	°
$c'$	18,63	kPa
$c_v$	10 <sup>-7</sup>	m <sup>2</sup> /s
$C_c$	0,65	
$C_{cr}$	0,07	
$e_0$	2,25	
$\sigma'_{vm}$	30 a 84,6	kN/m <sup>2</sup>
$k$	10 <sup>-9</sup>	cm/s
$S_u$	10,8 a 32,4	kPa

Solo do Barramento		
Parâmetro	Valor	Unidade
$\gamma_n$	18,4	kN/m <sup>3</sup>
$\varphi'$	37,4	°
$c'$	9,8	kPa
$k$	10 <sup>-5</sup>	cm/s

Material do Filtro		
Parâmetro	Valor	Unidade
$\gamma_n$	18	kN/m <sup>3</sup>
$\varphi'$	36	°
$c'$	9,8	kPa
$k$	10 <sup>-2</sup>	cm/s

Tabela 2 – quadro resumo dos parâmetros dos solos e material do filtro  
Fonte: elaborado pelo autor

## **5. FATORES PRELIMINARES**

Antes de se iniciar o projeto é preciso avaliar fatores que serão pertinentes ao longo dos cálculos a serem desenvolvidos. O fator de segurança deste projeto se baseia na condição atual de utilização e no dano material e humano que o rompimento desta barragem causaria. Obtendo o fator de segurança é possível calcular a altura crítica de aterro sobre o solo de fundação, fator que é determinante no caso presente pois a fundação apresenta solo mole com baixa capacidade de suporte.

### **5.1. FATOR DE SEGURANÇA**

A NBR 13028 (ABNT, 2017) estabelece o fator de segurança mínimo em operação com rede de fluxo em condição normal de operação para o nível máximo do reservatório em 1,5 para talude de jusante em barragens de mineração. Podemos adotar este parâmetro para a barragem estudada, pois sua principal função é a reservação de água, também prevista na NBR 13028.

<b>Fase</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Talude</b>	<b>Fator de segurança mínimo</b>
Final de construção <sup>a</sup>	Maciço e fundações	Montante e jusante	1,3
Operação com rede de fluxo em condição normal de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Jusante	1,5
Operação com rede de fluxo em condição extrema, nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Jusante	1,3
Operação com rebaixamento rápido do nível d'água do reservatório	Maciço	Montante	1,1
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Jusante	1,5
		Entre bermas	1,3
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Montante e jusante	1,1
<sup>a</sup> Etapas sucessivas de barragens alteadas com rejeitos não podem ser analisadas como "final de construção", devendo atender aos fatores de segurança mínimos estabelecidos para as condições de operação.			

Tabela 3 – fatores de segurança mínimos para barragens de mineração e reservação de água.  
Fonte: NBR 13028, 2017

Este projeto levou em consideração a condição de operação atual em que se encontra o barramento para adoção dos fatores de segurança subsequentes. O fato de a barragem ter sido considerada de "alto risco" e "alto dano potencial associado" levou à adoção do fator de segurança mínimo de 1,5 para todos os cálculos de estabilidade de taludes de jusante e montante em regime de operação permanente presentes neste projeto. CRUZ (1996) também propõe que o coeficiente de segurança mínimo para barragens de terra homogêneas seja de 1,5 em taludes de montante e jusante para regime permanente de operação.

Condição de solicitação	Talude	FS mínimos	
		Seção homogênea	Seção terra-enrocamento
Final de construção	Montante	1,3	1,2
	Jusante	1,3	1,2
Regime permanente de operação	Montante	1,5	1,3
	Jusante	1,5	1,3
Rebaixamento de reservatório	▪ NA máx- NA mín	1,1	1,0
	▪ NA máx- sol.vertedouro	1,0	1,0
Qualquer condição para verificação da estabilidade para resistência residual	Montante	1,2	-
	Jusante	1,2	-

Tabela 4 – fatores de segurança mínimos para barragens.  
Fonte: CRUZ, 1996

## 5.2. ALTURA CRÍTICA DE ATERRO

A altura crítica de aterro corresponde à altura de aterro máxima suportada pela camada de solo compressivo de fundação. Este parâmetro deve ser tomado como fundamental para o projeto, visto que uma vez calculado determinará a geometria ditando a inclinação dos taludes e a presença de bermas de equilíbrio em seções que fiquem com altura de aterro acima da altura crítica estipulada. Este cálculo será feito seguindo a teoria de Fellenius (1936) para tensão homogênea que resulta na equação (MASSAD, 2003):

$$H_{c,projeto} = \frac{5,5 \cdot S_u}{\gamma_{aterro} \cdot FS} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

$H_{c,projeto}$  = Altura crítica de projeto (m);

$S_u$  = Resistência ao cisalhamento não drenada do solo de fundação (kPa);

$\gamma_{aterro}$  = Peso específico do aterro (kN/m<sup>3</sup>)

FS = Fator de segurança.

Podemos observar que a equação indica o uso de apenas um valor constante de  $S_u$  para se encontrar a altura crítica do projeto, porém este valor varia com a

profundidade da camada. O valor utilizado para  $S_u$  neste caso foi a média entre o valor mínimo (10,8 kPa) e o valor médio da camada (21,6 kPa) resultando em um  $S_u$  de 16,2 kPa, uma simplificação a favor da segurança. A equação (4) segue:

$$H_{C,projeto} = \frac{5,5 \cdot 16,2}{18,4 \cdot 1,5} = 3,23 \text{ m}$$

Resultando em uma altura crítica de aterro de 3,23 metros.

## 6. DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA

A determinação da nova geometria teve como parâmetro principal a redução da nova área de aterro em que a altura fosse superior à altura crítica de 3,23 m. Foi utilizada a mesma largura da crista do projeto original de 6,5 m para que o aterro se mantivesse regular acima do aterro existente. O ponto de partida da base do novo talude de montante é o ponto de coordenada horizontal 0 que também é o ponto de partida do talude de montante no barramento original nas seções transversais geradas em campo presentes no Anexo A.

### 6.1. NÍVEL D'ÁGUA E COTA DA CRISTA

O nível d'água do reservatório será mantido o mesmo do projeto original e foi estimado como 1,45 metros abaixo do ponto mais alto encontrado nas seções geradas em campo. A nova crista terá uma cota de 26 cm acima do ponto mais alto na crista do barramento existente encontrado na seção 0+020 a fim de cobrir todas as seções subsequentes com o novo aterro compactado e aumentar a segurança contra a ação de ondas. A nova cota da crista e a cota do reservatório serão 15,70 m e 13,99 m, respectivamente, obtendo assim a borda livre de 1,71 m que é 0,26 m acima da borda livre do projeto original.

Definido o nível de água máximo é necessário avaliar a ação das ondas criadas pelo vento no reservatório para conferir se a borda livre está dentro de parâmetros aceitáveis para que não haja o fenômeno de galgamento, que pode levar ao rompimento da estrutura. A altura de onda que atinge o barramento é função da

velocidade do vento, além da profundidade da barragem e forma geométrica do reservatório. O *fetch* efetivo representa o comprimento máximo do reservatório perpendicular ao eixo da barragem levando em conta as diversas direções em que o vento pode incidir sobre o lago (SENTÜRK, 1994). A determinação do *fetch* efetivo e sua relação com a nova borda livre adotada se encontram no Apêndice A.

## 6.2. INCLINAÇÃO DOS TALUDES

A inclinação do talude de montante será a mesma do projeto original de 1:3 a fim de reduzir ao máximo as áreas de intervenção neste talude por conta das dificuldades construtivas atribuídas a impossibilidade de esvaziamento do reservatório. Já a inclinação do talude de jusante será abatida de 1:2 do projeto original para 1:3 neste novo projeto visando a maior estabilidade nesta nova configuração. Segundo ELÉTROBRÁS (2002) a inclinação dos taludes de montante e jusante para aterros de solo arenoso com altura entre 5 e 10 metros são 1:3 e 1:2,25, respectivamente, para fundações com boa capacidade de suporte, entretanto a presença de solo compressível na fundação exige um maior abatimento do talude de jusante, visto que o maciço principal de aterro de recomposição se encontra a jusante do barramento original.

## 6.3. BERMAS DE EQUILÍBRIO

Utilizando os critérios geométricos adotados, foi encontrada a necessidade de bermas de equilíbrio inicialmente entre as seções 1+000 e 1+500, visto que a altura de aterro nessas seções é superior à altura crítica de 3,23 metros. As figuras 4 e 5 mostram as áreas de aterro com altura superior a 3,23 metros hachuradas nas seções 1+000 e 1+500, respectivamente. A linha em marrom representa o barramento original e a linha verde o novo barramento projetado.

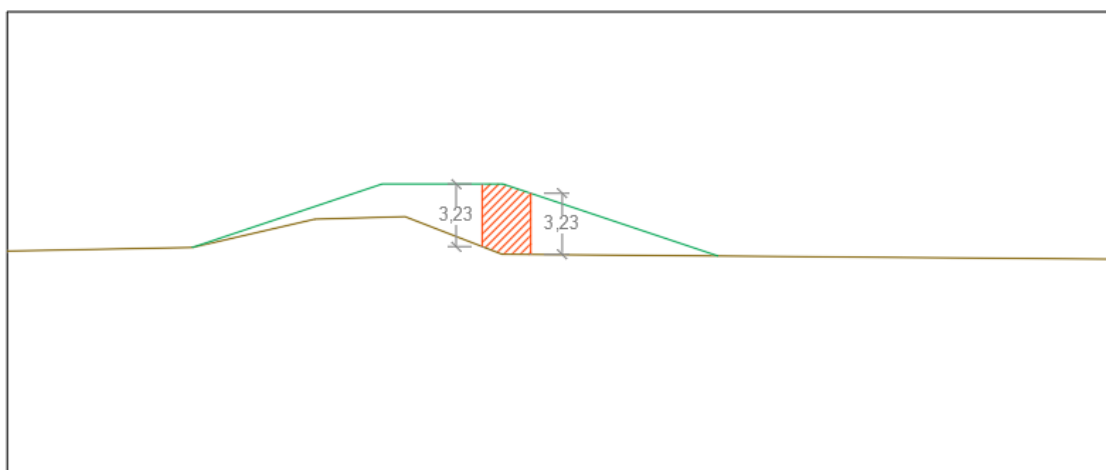


Figura 4 – área de aterro superior à altura crítica na seção 1+000.  
Fonte: elaborado pelo autor

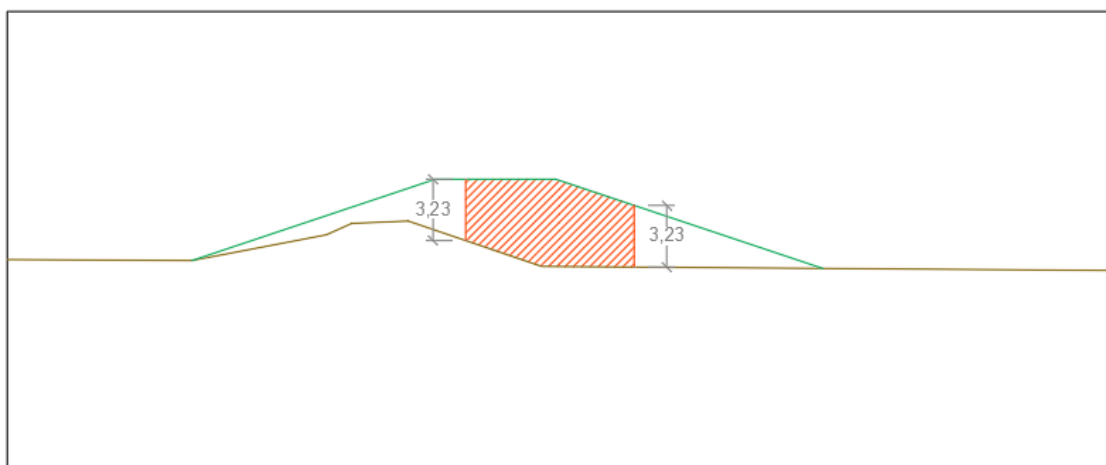


Figura 5 – área de aterro superior à altura crítica na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

O detalhamento do cálculo destas bermas pelo método dos ábacos de JAKOBSON (1948) está apresentado no Apêndice A. A berma de equilíbrio calculada terá 18 metros de extensão com 2,35 metros de altura e se estenderá linearmente da seção 0+750 até a seção 1+750 a fim cobrir as duas seções com altura de aterro acima da altura crítica.

#### 6.4. GEOMETRIA DO FILTRO

Partindo do pressuposto que o filtro do barramento original está completamente assoreado e obstruído, ou pode nem ter sido executado, será feito



um novo filtro do tipo tapete com 1,1 metros de espessura e com 9 metros de extensão iniciando na base do talude de jusante e indo em direção ao talude de montante horizontalmente. A espessura do filtro projetado leva em conta a ausência de dados sobre as granulometrias referentes ao filtro e aos solos de aterro do novo barramento e do solo de fundação em que está assentado e CRUZ (1996) recomenda que a espessura do dreno horizontal não ultrapasse 2 metros por motivos econômicos.

Para a facilidade de construção e bom funcionamento deste filtro será necessária a retirada de material do barramento original em algumas seções em que não há espaço de 9 metros contados a partir da base do talude de jusante projetado em direção ao talude de montante. A área de corte nestas seções em que não há espaço para o filtro se inicia 9 metros a partir do pé de talude de jusante projetado em direção ao talude de montante e sobe com inclinação de 1:2 em direção ao talude de montante. O detalhamento do corte nestas seções está apresentado no Apêndice C.

Como não há suficientes informações sobre a granulometria do filtro, do material de barramento e do solo de fundação assume-se que não há necessidade do dimensionamento de uma zona de transição, entretanto caso haja novas informações sobre a granulometria do filtro pode se fazer necessário o dimensionamento de uma zona de transição que leve em conta as granulometrias tanto do material de barramento quanto do material de fundação em relação ao material do filtro.

## 7. ESTABILIDADE DOS TALUDES

Para a análise da estabilidade dos taludes nas seções projetadas foi usado o *software* computacional SLOPE/W em conjunto com o SEEP/W, ambos módulos do GeoStudio 2012 versão estudantil. Primeiramente será analisado como se comporta o fluxo de água pelo barramento permitindo assim modelar a análise da estabilidade dos taludes em regime de fluxo permanente para a nova geometria.

### 7.1 COMPORTAMENTO DO FLUXO DE ÁGUA PELO BARRAMENTO

Após a modelagem geométrica serão escolhidas para testes são as seções 0+500, 1+500 e 5+500. A seção 1+500 foi escolhida por ser a seção com a maior área de aterro acima da altura crítica, a seção 5+500 foi escolhida por ser a seção com a maior altura de talude de jusante entre as seções projetadas já a seção 0+500 foi escolhida para que se possa obter uma informação da vazão percolante antes da seção crítica em 1+500 permitindo assim aproximar a vazão percolante total da barragem.

Obteve-se através do *software* SEEP/W o gradiente hidráulico e a poro-pressão no barramento para as três seções estudadas. A importância do cálculo do gradiente hidráulico principalmente na face de saída da água é vital para que não ocorram os fenômenos de liquefação e *piping* que são, respectivamente a mudança súbita das características físicas da lama que passa de pastosa a líquida – e na erosão interna e infiltração na estrutura de contenção fazendo assim caminhos preferenciais para a água. A avaliação da poro-pressão existente é importante para definirmos o adensamento dos solos submetidos a acréscimos de carga que provocam a expulsão de água dos vazios.

Os materiais foram considerados isotrópicos quanto a permeabilidade, ou seja, o coeficiente de permeabilidade é igual em todas as direções. As seções foram modeladas levando em conta o solo mole de fundação com 7,8m de profundidade retirado do teste de SPT fornecido e como abaixo deste solo há uma camada de areia compactada, esta foi considerada como solo rígido. Pela falta de informações sobre o material que compõe o barramento original, este será considerado como se fosse composto pelo mesmo material do novo barramento.

### 7.1.1. Fluxo na seção 0+500

A Figura 6 apresenta a variação do gradiente hidráulico na seção 0+500. A linha azul tracejada representa a linha freática superior nas seções.

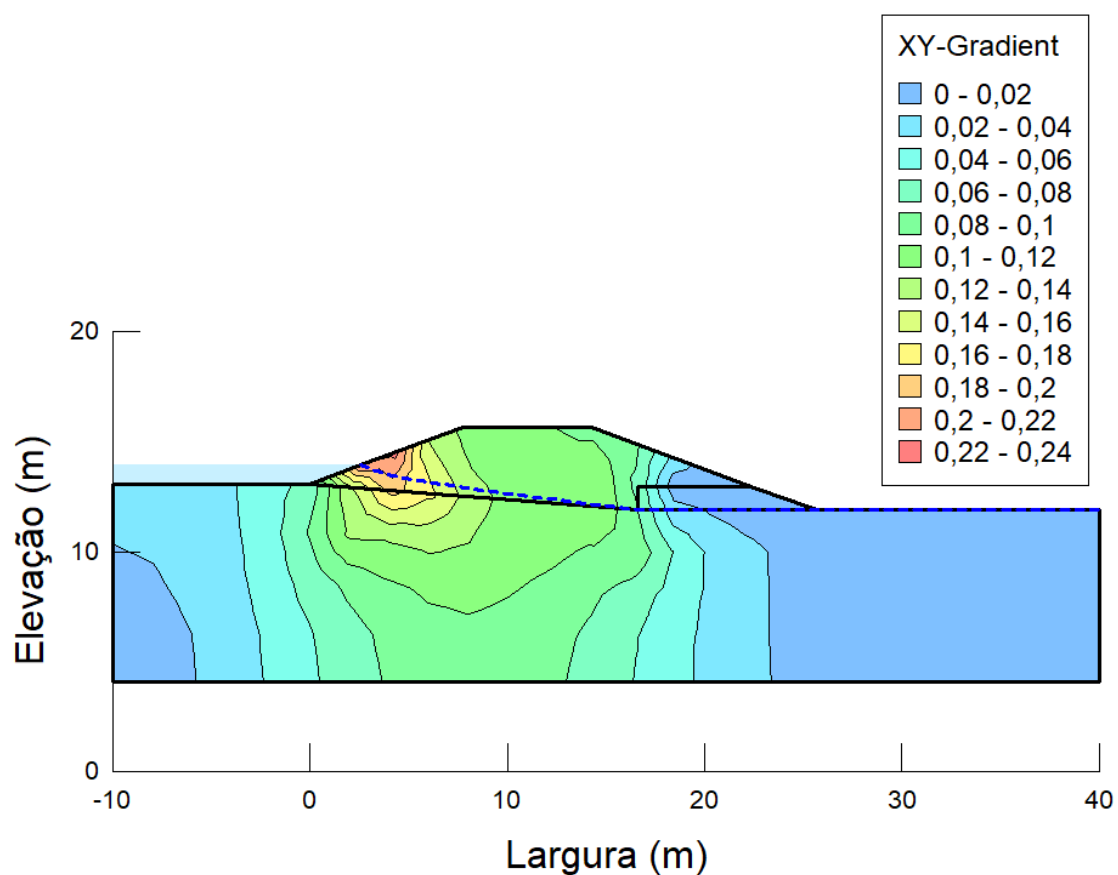


Figura 6 – linha freática superior e variação do gradiente hidráulico na seção 0+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 7 apresenta a variação de poro-pressão e a linha freática superior na seção 0+500:

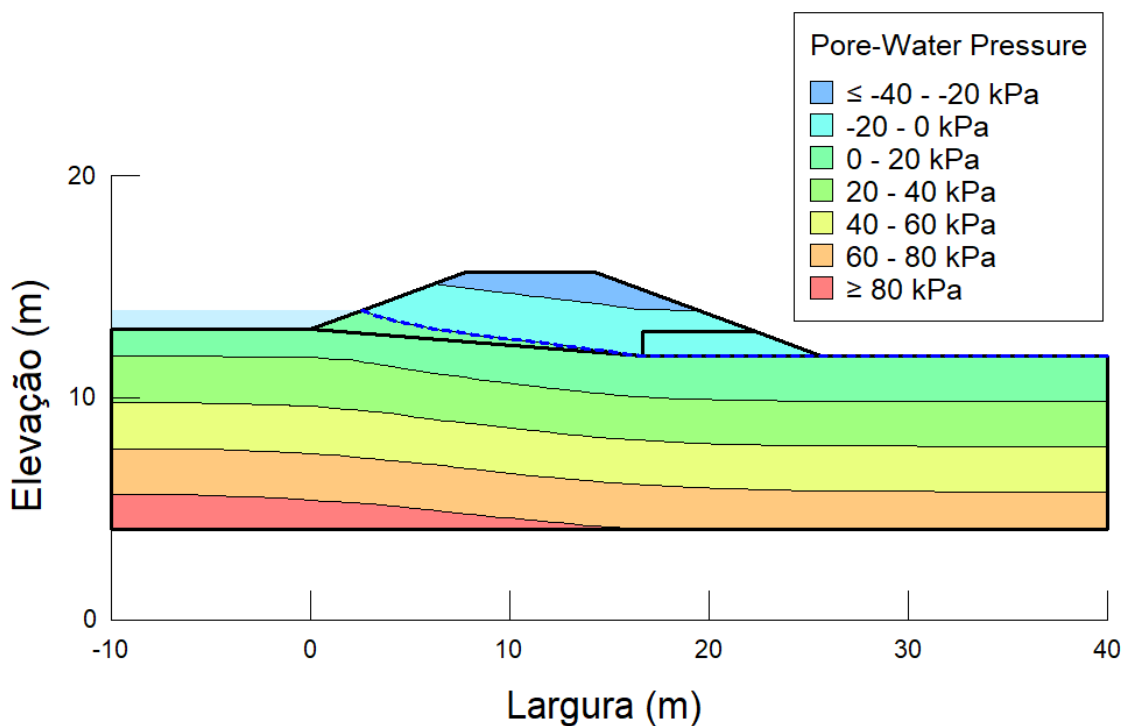


Figura 7 – linha freática superior e variação da poro-pressão na seção 0+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

### 7.1.2. Fluxo na seção 1+500

A Figura 8 apresenta a variação do gradiente hidráulico na seção 1+500. A linha azul tracejada representa a linha freática superior nas seções.

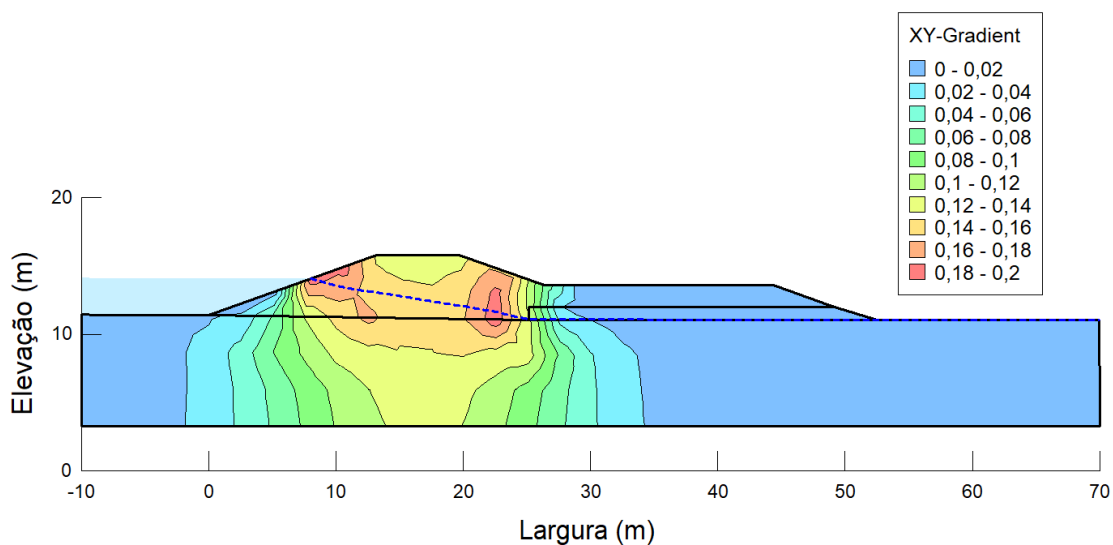


Figura 8 – linha freática superior e variação do gradiente hidráulico na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 9 apresenta a variação de poro-pressão e a linha freática superior na seção 1+500:

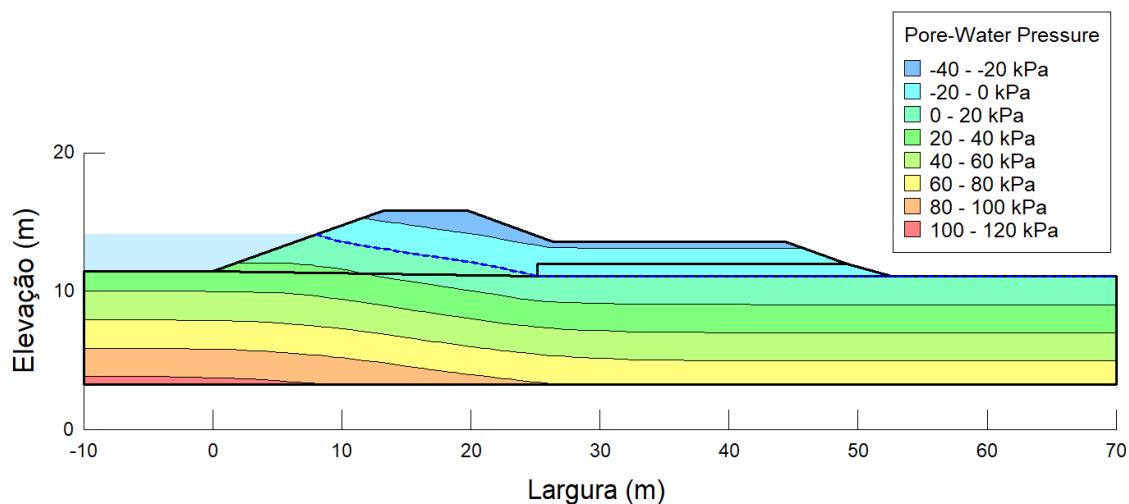


Figura 9 – linha freática superior e variação da poro-pressão na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

### 7.1.3. Fluxo na seção 5+500

A Figura 10 apresenta a variação do gradiente hidráulico na seção 5+500. A linha azul tracejada representa a linha freática superior nas seções.

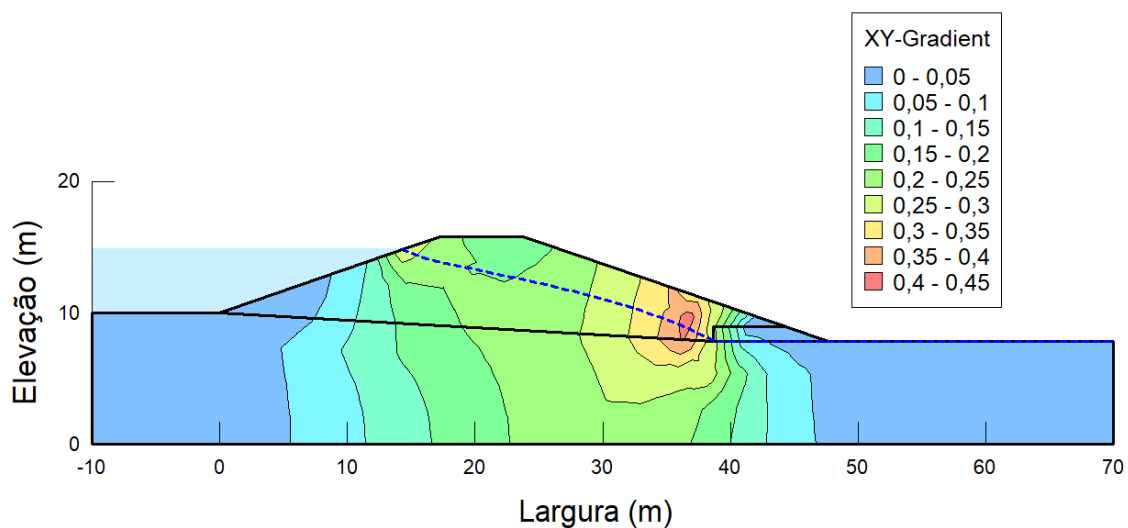


Figura 10 – linha freática superior e variação do gradiente hidráulico na seção 5+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 11 apresenta a variação de poro-pressão e a linha freática superior na seção 5+500:

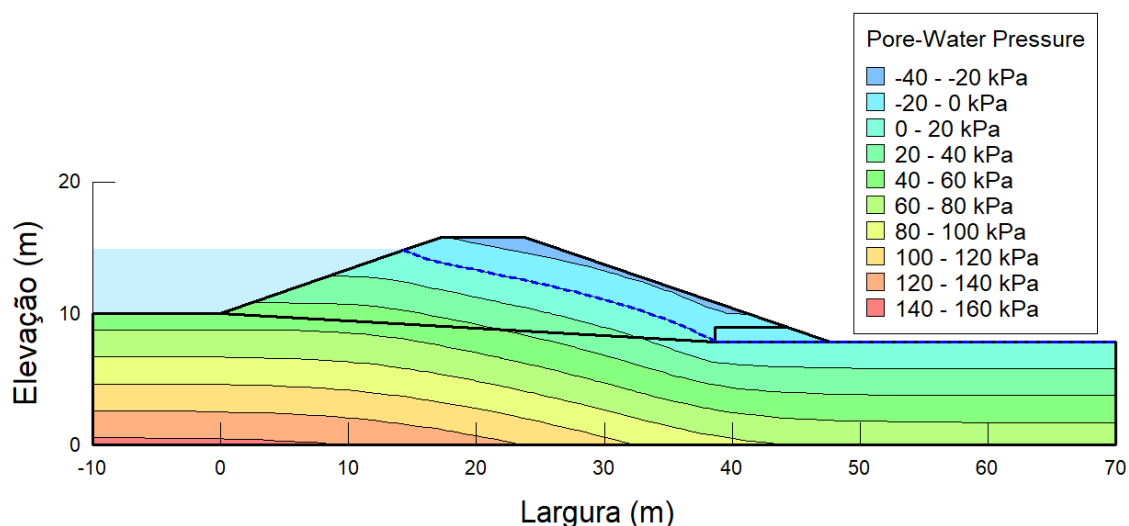


Figura 11 – linha freática superior e variação da poro-pressão na seção 5+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

## 7.2. ESTABILIDADE DOS TALUDES

Foi avaliada a estabilidade dos taludes projetados de montante e jusante para funcionamento pleno da barragem em regime de operação permanente, considerando o fator de segurança de 1,5, utilizando o método Morgenstern-Price com a opção de superfície de pesquisa de entrada e saída calculado pelo *software* SLOPE/W, módulo do GeoStudio 2012 versão estudantil. Para os materiais que compõem o barramento e o filtro foram utilizados o modelo de material Mohr-Coulomb que levam em conta o peso específico de cada material bem como seu ângulo de atrito e intercepto coesivo. Para o material que compõe o solo de fundação foi utilizado o modelo que leva em conta a equação de  $S_u$  com sua profundidade apresentada na equação 2. Serão apresentados a seguir os resultados encontrados para a estabilidade de taludes de montante e jusante nas seções 0+500, 1+500 e 5+500, respectivamente. A linha azul tracejada representa a linha freática superior nas seções.

### 7.2.1. Estabilidade na seção 0+500

A Figura 12 apresenta a estabilidade do talude de montante juntamente com o fator de segurança encontrado para a seção 0+500:

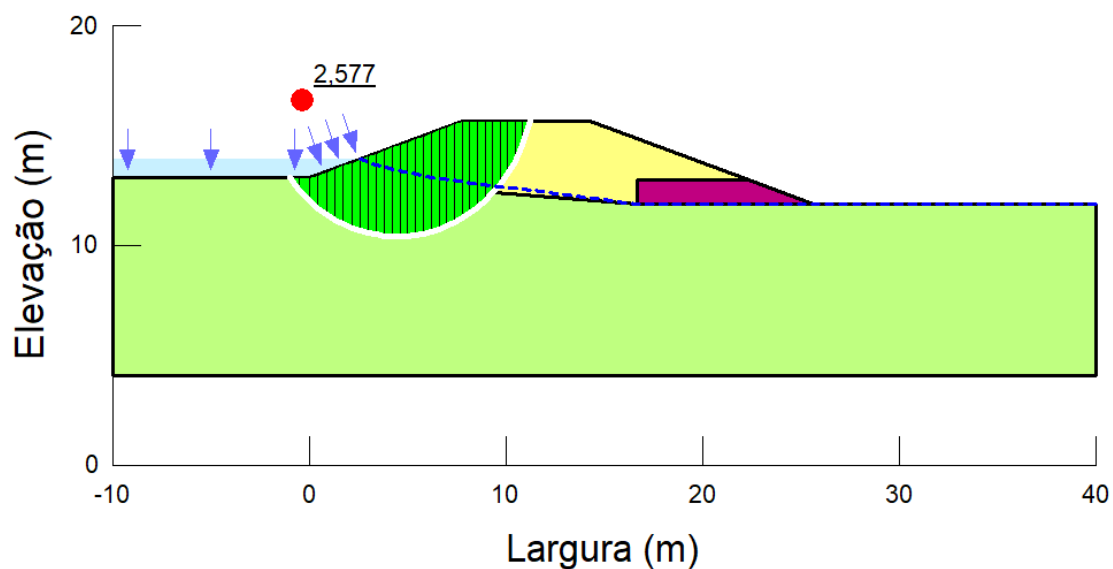


Figura 12 – fator de segurança e estabilidade do talude de montante na seção 0+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 13 apresenta a estabilidade do talude de jusante juntamente com o fator de segurança encontrado para a seção 0+500:

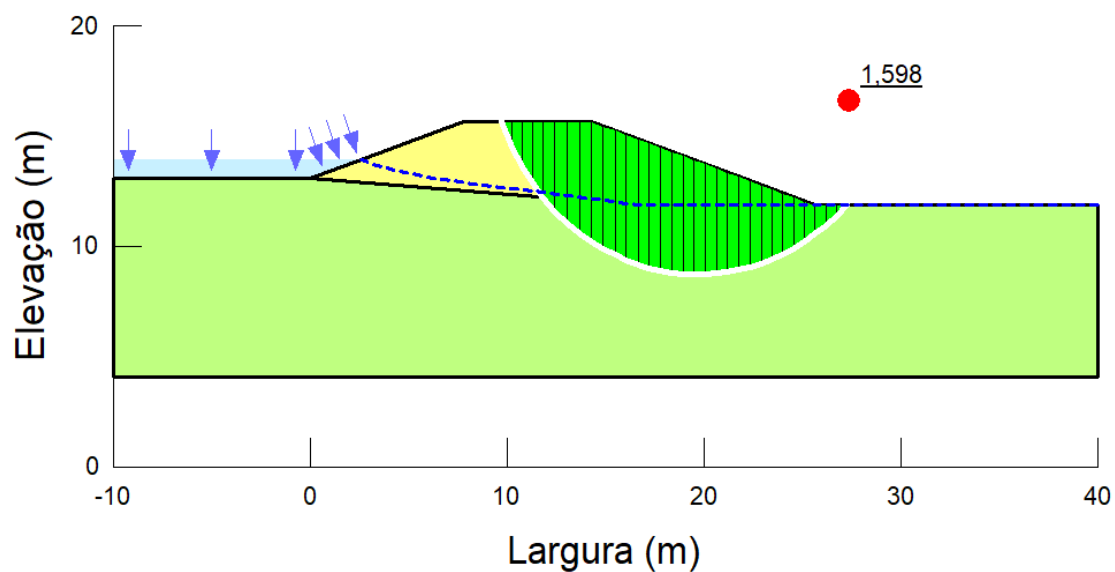


Figura 13 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante na seção 0+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

### 7.2.2. Estabilidade na seção 1+500

A Figura 14 apresenta a estabilidade do talude de montante juntamente com o fator de segurança encontrado para a seção 1+500:

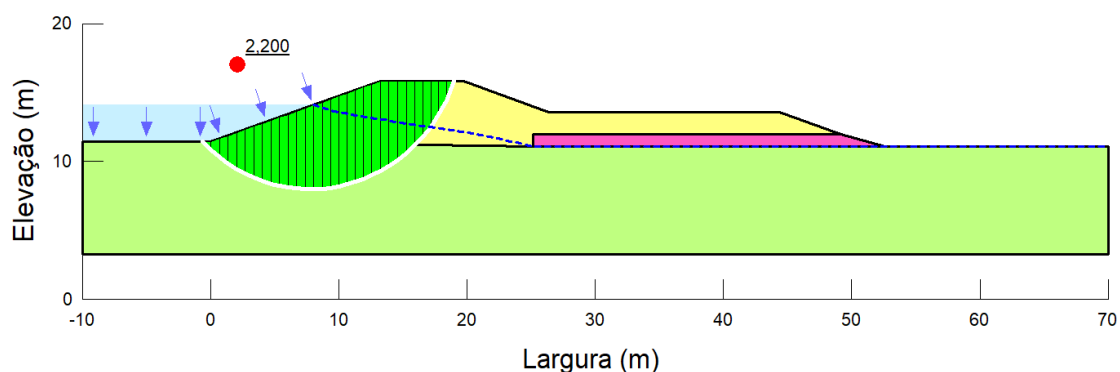


Figura 14 – fator de segurança e estabilidade do talude de montante na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

As Figuras 15, 16 e 17 mostram a estabilidade em três superfícies de ruptura: Talude superior, talude inferior e estabilidade global, respectivamente. O talude superior corresponde ao talude situado entre o topo do barramento e a berma de equilíbrio. O talude inferior corresponde ao talude situado entre a berma de equilíbrio e a base do barramento. Foi chamada de estabilidade global a estabilidade dos dois taludes de jusante juntamente com a berma de equilíbrio dimensionada e foi levado em conta pois o solo em que está assentado o barramento foi considerado de baixa capacidade de suporte podendo levar assim a uma provável ruptura generalizada no barramento juntamente com seu solo de fundação.



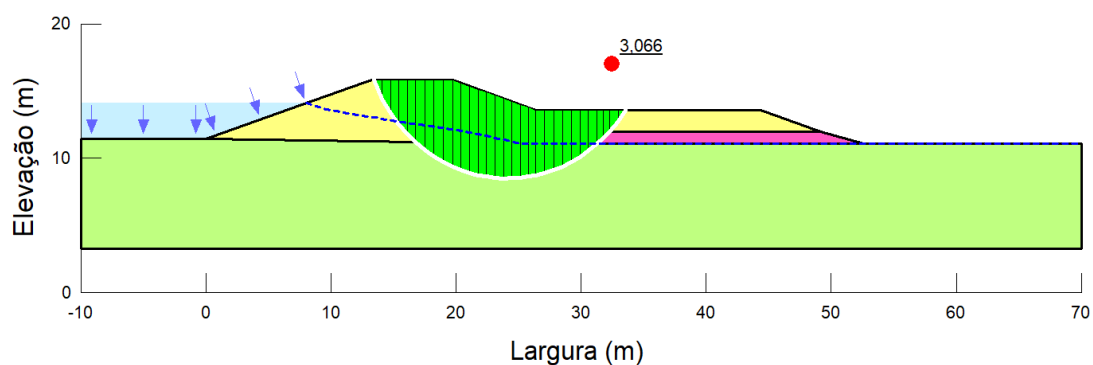


Figura 15 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante superior na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

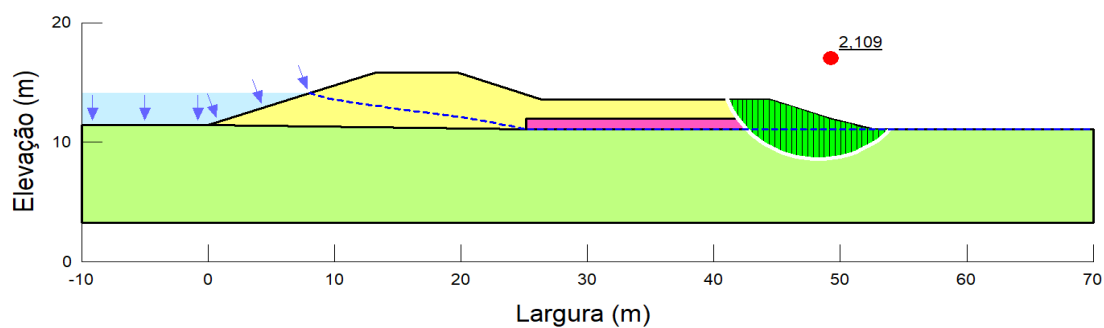


Figura 16 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante inferior na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

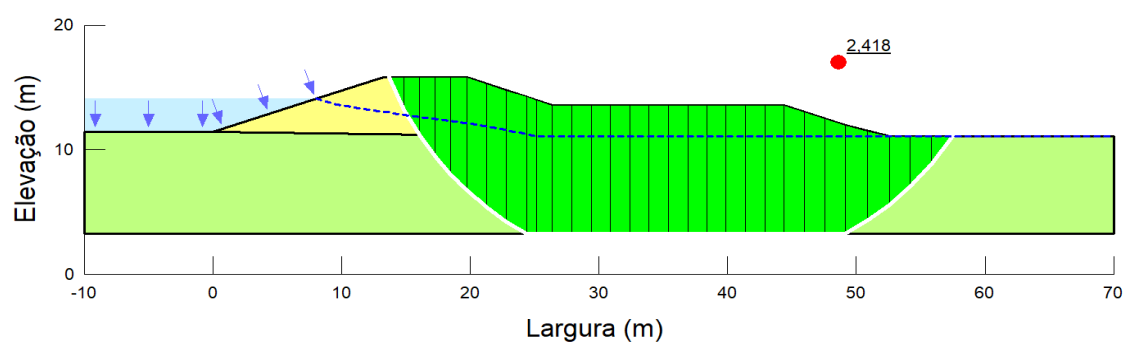


Figura 17 – fator de segurança e estabilidade do global na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

### 7.2.3. Estabilidade na seção 5+500

A Figura 18 apresenta a estabilidade do talude de montante juntamente com o fator de segurança encontrado para a seção 5+500:

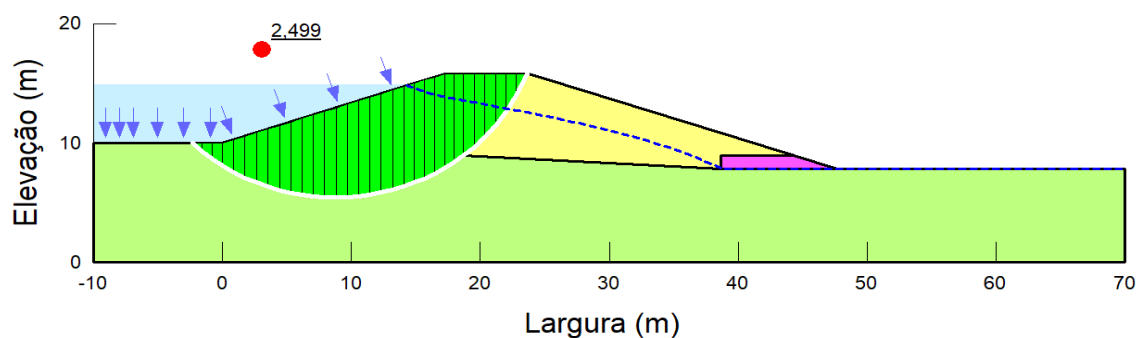


Figura 18 – fator de segurança e estabilidade do talude de montante na seção 5+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 19 a seguir apresenta a estabilidade do talude de jusante juntamente com o fator de segurança encontrado para a seção 5+500:

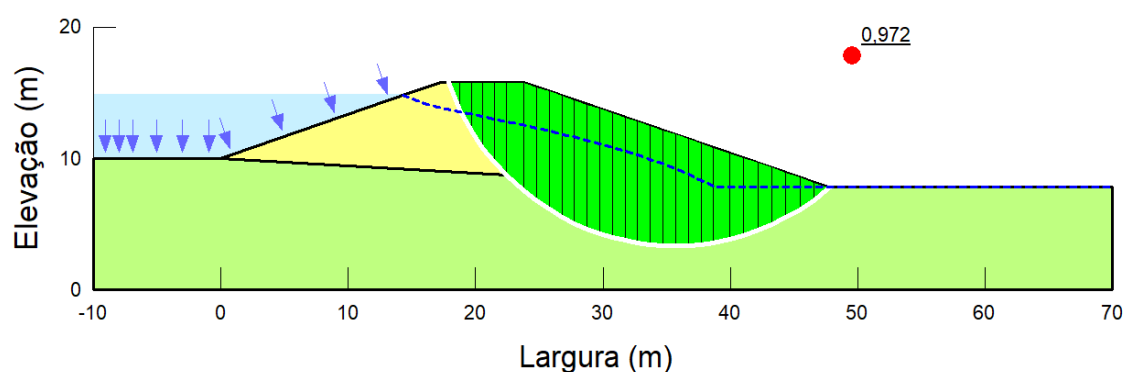


Figura 19 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante na seção 5+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

Foi encontrado o fator de segurança de 0,972, para o talude de montante na seção 5+500, que se encontra abaixo do fator de projeto adotado para a estabilidade nos taludes de jusante. Para que esta seção atenda o fator de segurança de 1,5 adotado, foi dimensionada uma nova berma de equilíbrio via *software* SLOPE/W. A berma dimensionada tem altura de 3 metros e extensão de 18 metros. As figuras a seguir mostram, respectivamente, o novo gradiente hidráulico e a nova poro-pressão na seção 5+500 com a berma de equilíbrio dimensionada.

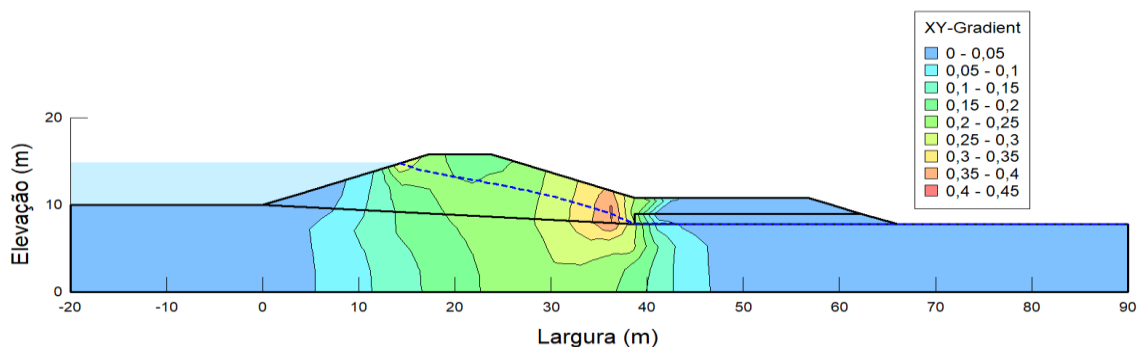


Figura 20 – linha freática superior e variação do gradiente hidráulico na seção 5+500 com nova berma dimensionada.  
 Fonte: elaborado pelo autor

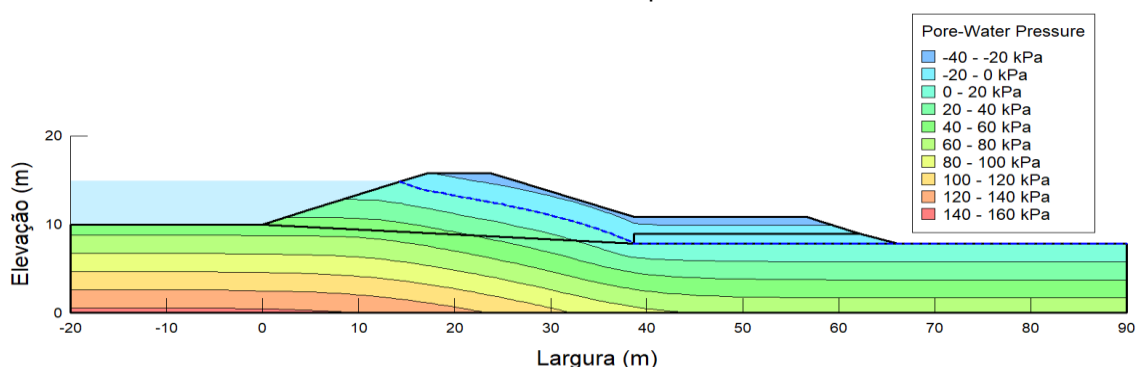


Figura 21 – linha freática superior e variação da poro-pressão na seção 5+500 com nova berma dimensionada.  
 Fonte: elaborado pelo autor

Foi obtida a estabilidade da seção 5+500 com a nova berma de equilíbrio apresentadas nas figuras 22, 23 e 24, respectivamente. Serão consideradas três superfícies de ruptura: Talude superior, talude inferior e estabilidade global. A estabilidade do talude de montante não é afetada pela adição da nova berma de equilíbrio a jusante.

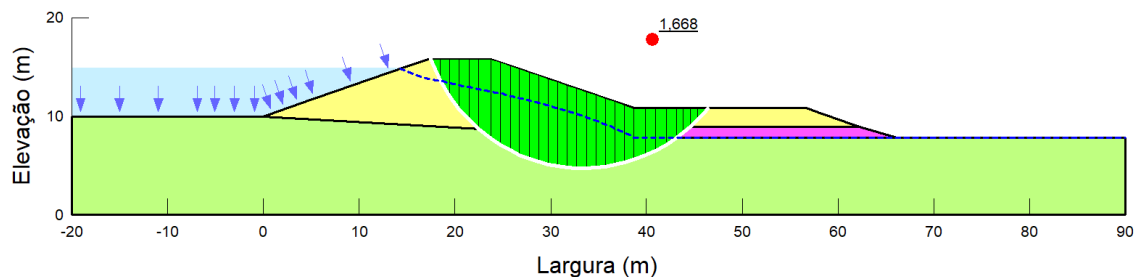


Figura 22 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante superior na seção 5+500 com nova berma dimensionada.  
 Fonte: elaborado pelo autor

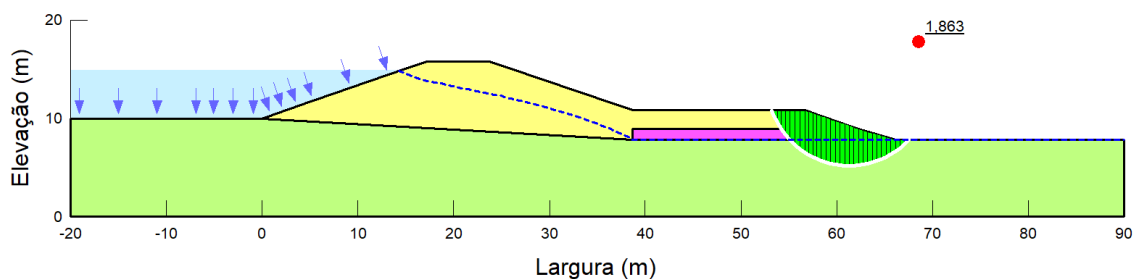


Figura 23 – fator de segurança e estabilidade do talude de jusante inferior na seção 5+500 com nova berma dimensionada.  
Fonte: elaborado pelo autor

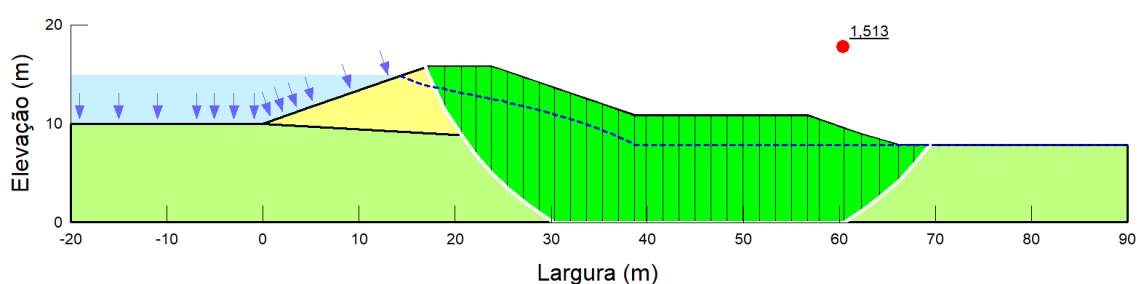


Figura 24 – fator de segurança e estabilidade global na seção 5+500 com nova berma dimensionada.  
Fonte: elaborado pelo autor

Com a adição da nova berma de equilíbrio o fator de segurança de 1,5 na seção 5+500 foi atingido para as três superfícies de ruptura testadas. A nova berma de equilíbrio de 3 metros de altura e 18 metros de extensão será adotada da seção 0+500 de onde partirá com 0 metros de extensão aumentando linearmente até a seção 1+000 onde atingirá os 18 metros de extensão seguindo constantemente com 18 metros até a seção 7+000 e diminuindo linearmente até o fim do barramento em 7+120. A tabela 5 apresenta a comparação da análise do fator de segurança para as seções 0+500, 1+500 e 5+500 utilizando os métodos de Morgenstern-Price, Bishop e Spencer para os taludes de jusante e montante nas seções estudadas. A seção 5+500 apresentada na tabela 5 é referente a seção com a nova berma de equilíbrio adotada.

Seção		Fator de Segurança		
		Morgenstern-Price	Bishop	Spencer
0+500	Montante	2,577	2,588	2,571
0+500	Jusante	1,598	1,6	1,595
1+500	Montante	2,2	2,21	2,193
1+500	Jusante Sup.	3,066	3,065	3,073
1+500	Jusante Inf.	2,109	2,115	2,103
1+500	Est. Global	2,418	2,486	2,48
5+500	Montante	2,499	2,517	2,492
5+500	Jusante Sup.	1,668	1,661	1,684
5+500	Jusante Inf.	1,863	1,87	1,858
5+500	Est. Global	1,513	1,563	1,551

Tabela 5 – Fator de segurança por Morgenstern-Price, Bishop e Spencer

Fonte: elaborado pelo autor

## 8 DETERMINAÇÃO DE RECALQUES

É de vital importância a previsão de recalques em estruturas localizadas assentadas sobre solos de baixa capacidade estrutural. Em fundações prediais os recalques causados pela carga proveniente da estrutura sobre o solo de assentamento podem causar diversas manifestações patológicas na estrutura superior levando inclusive ao colapso. Já no estudo de barragens os recalques precisam ser monitorados para que não haja problemas de galgamento que é a passagem de água do reservatório por cima da crista da barragem provocando assim erosão que pode levar ao colapso da estrutura. Recalques excessivos também podem causar a ocorrência de fissuras no barramento que acarretarão em erosão da barragem ao longo desta fissura e eventual *piping*. A seguir serão calculados os recalques instantâneos e os recalques por adensamento provenientes da carga do novo aterro. A seção escolhida para o cálculo de recalques instantâneos e recalques por adensamento é a seção 1+500 por se tratar da seção com a maior área de aterro acima da altura crítica de 3,23 metros.

### 8.1 RECALQUES INSTANTÂNEOS

Para os cálculos dos recalques instantâneos será utilizado o *software* SIGMA/W, módulo do GeoStudio 2012 versão estudantil. A seção escolhida para este cálculo foi a seção 1+500 por se tratar da seção com a maior área de aterro acima da altura crítica. A modelagem deste cálculo levou em consideração apenas recalques no solo de fundação, utilizando assim o solo de barramento em forma de carga distribuída com  $18,4 \text{ kN/m}^3$  que corresponde ao peso específico do solo de aterro. A forma de distribuição desta carga será de forma linear dividida em duas partes, sendo elas correspondentes ao corpo principal do barramento e à berma de equilíbrio. Para maior segurança foram utilizadas cargas retangulares correspondentes as alturas de aterro máximas na seção. A carga correspondente ao corpo principal do barramento terá início no topo do talude de montante e se estenderá por 11,94 metros até a base do talude superior de jusante, já a carga correspondente a berma de equilíbrio iniciará na base do talude superior de jusante e se estenderá por 22,70 metros até a metade do talude inferior de jusante. Na figura

25 a linha marrom representa o barramento original e a linha verde representa o novo barramento projetado na seção 1+500.

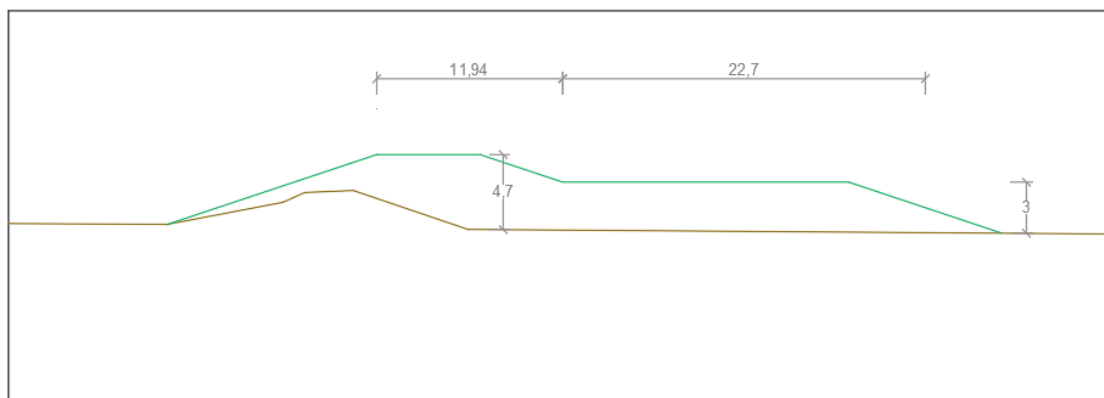


Figura 25 – parâmetros geométricos para o cálculo de recalques instantâneos na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 26 ilustra a simplificação adotada a favor da segurança para as cargas provenientes do aterro na seção 1+500.

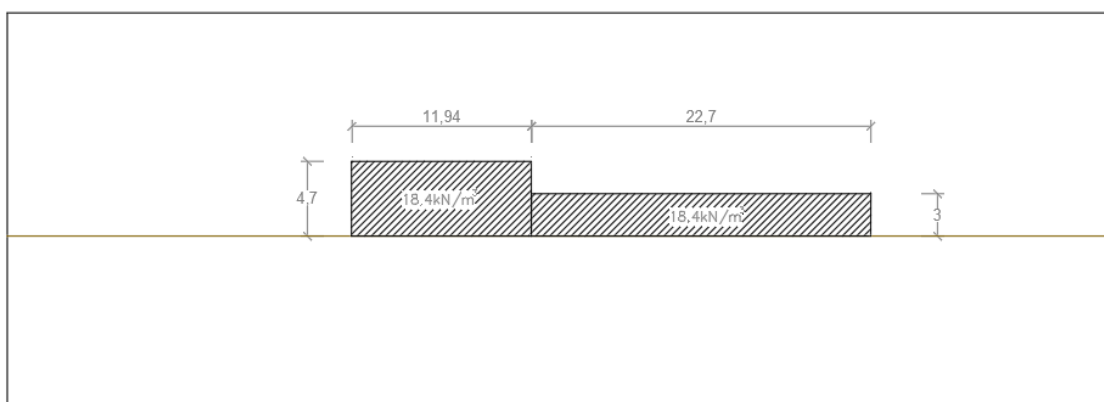


Figura 26 – parâmetros geométricos e cargas simplificadas para o cálculo de recalques instantâneos.  
Fonte: elaborado pelo autor

Os parâmetros necessários para a modelagem do solo de fundação necessários para este teste são: Módulo de elasticidade do solo ( $E$ ) e o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). O módulo de elasticidade corresponde a razão entre a tensão aplicada e a deformação sofrida pelo corpo longitudinalmente e o coeficiente de Poisson mede a deformação transversal para uma carga ortogonal aplicada em um material homogêneo e isotrópico. Para os solos de fundação estudados o módulo de

elasticidade do solo e o coeficiente de Poisson correspondente serão estimados a partir das características das camadas de solo obtidas pelo teste de SPT segundo a tabela de MARANGON (2018).

<b>Areias e Solos Arenosos</b>					
<b>Compacidade</b>	$\gamma$ ( t/m <sup>3</sup> )	<b>C</b> ( t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ °	<b>E</b> ( t/m <sup>2</sup> )	<b>v</b>
Fofa	1,6	0	25 - 30	100 - 500	0,3 a 0,4
Pouco Compacta	1,8	0	30 - 35	500 - 1400	
Medianamente Compacta	1,9	0	35 - 40	1400 - 4000	
Compacta	2,0	0	40 - 45	4000 - 7000	
Muito Compacta	> 2,0	0	> 45	> 7000	
<b>Argilas e Solos Argilosos</b>					
<b>Consistência</b>	$\gamma$ ( t/m <sup>3</sup> )	<b>C</b> ( t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ °	<b>E'</b> ( t/m <sup>2</sup> )	<b>v</b>
Muito Mole	1,3	0 - 1,2	0	30 - 120	0,4 a 0,5
Mole	1,5	1,2 - 2,5	0	120 - 280	
Média	1,7	2,5 - 5,0	0	280 - 500	
Rija	1,9	5,0 - 15,0	0	500 - 1500	
Dura	> 2,0	> 15,0	0	> 1500	

Tabela 6 – parâmetros estimados de E e  $\mu$  para diferentes tipos de solos.

Fonte: MARANGON, 2018.

Á seguir é apresentada a tabela contendo o tipo de solo encontrado, profundidade, coeficiente de Poisson médio, valores máximos, mínimos e médios do módulo de elasticidade utilizados para modelar o solo de fundação no *software* SIGMA/W. Foram adotados valores intermediários para modelagem do solo de fundação.

Profundidad e (m)	Tipo de solo	E (t/m <sup>2</sup> )				E(kPa)	v
		Mín	Máx	Média	Utilizado		
0 á -7,8	Argila muito mole á mole	30	280	155	155	1550	0,45
-7,8 á -11,8	Areia medianamente compacta	140 0	700 0	4200	4200	42000	0,35
-11,8 á - 14,6	Argila muito mole á rija	30	150 0	765	765	7650	0,45
-14,6 á -33,2	Areia fina pouco compacta á muito compacta	500	700 0	3750	3750	37500	0,35

Tabela 7 – valores utilizados no *software* SIGMA/W para modelagem do solo de fundação.

Fonte: elaborado pelo autor



O valor máximo de recalque instantâneo encontrado é de 0,24 metros, localizado no centro carga correspondente ao corpo principal do barramento. O bulbo de deformações do solo de fundação calculado pelo *software* SIGMA/W é apresentado na figura a seguir.

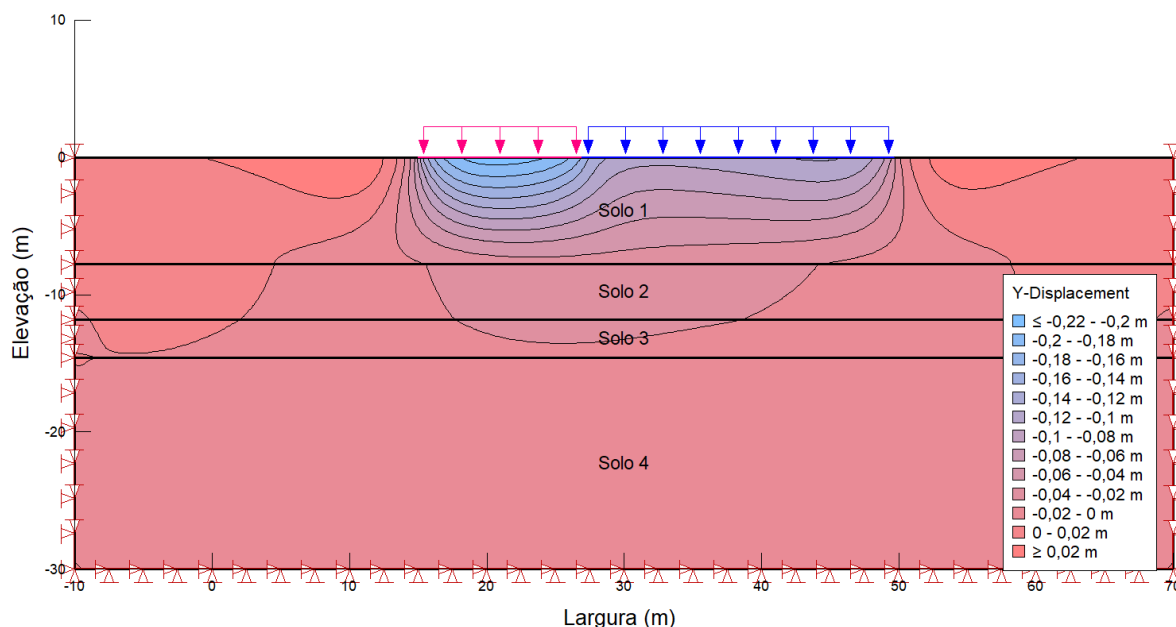


Figura 27 – bulbo de deformações do solo de fundação na seção 1+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

O valor elevado encontrado para o recalque instantâneo na seção 1+500 poderia acarretar em problemas estruturas como o rebaixamento da crista que causaria uma maior influência da ação das ondas do reservatório causando erosão excessiva em decorrência do fenômeno de galgamento da estrutura. O aparecimento de trincas na estrutura poderia ocorrer em decorrência dos recalques diferenciais ao longo do barramento causando erosão ao longo destas trincas e eventualmente *piping*. Para que se mantenha a integridade estrutural e funcionamento pleno da barragem, estes recalques instantâneos devem ser monitorados e corrigidos com reaterramento ao final de sua construção.

## 8.2. RECALQUES POR ADENSAMENTO

Os cálculos correspondentes aos recalques por adensamento do solo mole de fundação apresentaram uma deformação de 0,524 metros no centro da camada compressível de 7,8 metros de argila mole. Este recalque se dará em aproximadamente 8 anos e 7 meses. Como nos recalques instantâneos, foram obtidos valores elevados para os recalques por adensamento do solo de fundação na seção 1+500. Estes recalques podem acarretar nos mesmos problemas de galgamento e *piping* previstos para o recalque instantâneo. Para que se mantenha a integridade estrutural e funcionamento pleno da barragem, estes recalques por adensamento devem ser monitorados e corrigidos com reaterramento ao longo dos anos. O detalhamento dos cálculos está apresentado no Apêndice A.

## 9 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO POR PERCOLAÇÃO

A determinação da vazão por percolação no barramento é possível quando os coeficientes de permeabilidade dos materiais envolvidos são conhecidos. Serão estudadas as seções 0+500, 1+500 e 5+500 quanto á vazão percolada em cada uma delas através do software SEEP/W, módulo do GeoStudio 2012. As Figuras 28,29 e 30 mostram as vazões nas seções 0+500, 1+500 e 5+500, respectivamente:

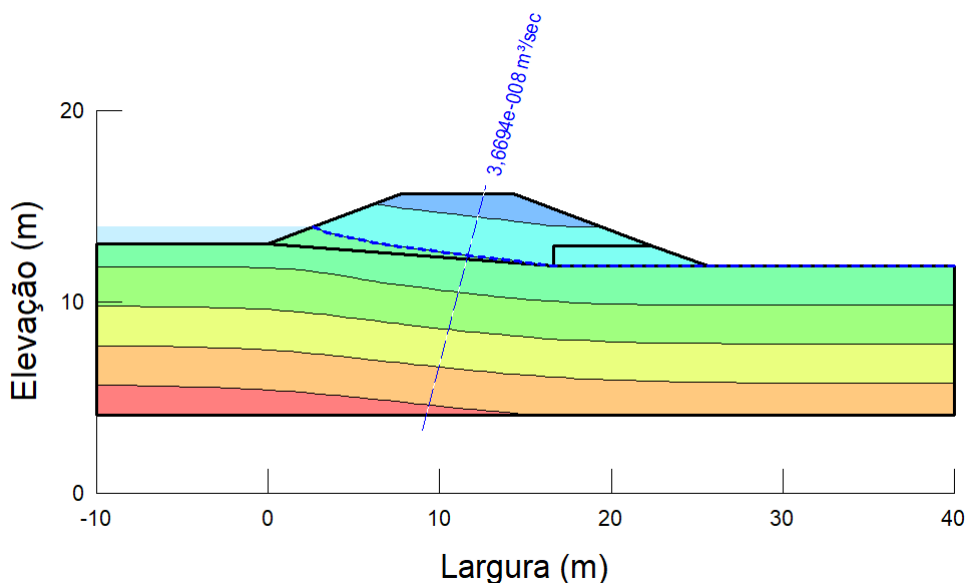


Figura 28 – linhas de fluxo e vazão na seção 0+500.

Fonte: elaborado pelo autor

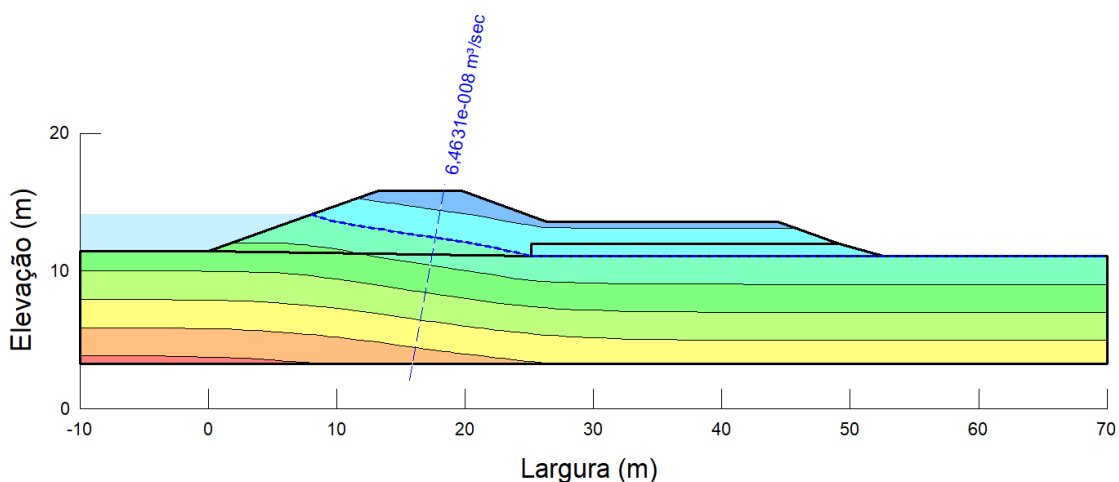


Figura 29 – linhas de fluxo e vazão na seção 1+500.

Fonte: elaborado pelo autor

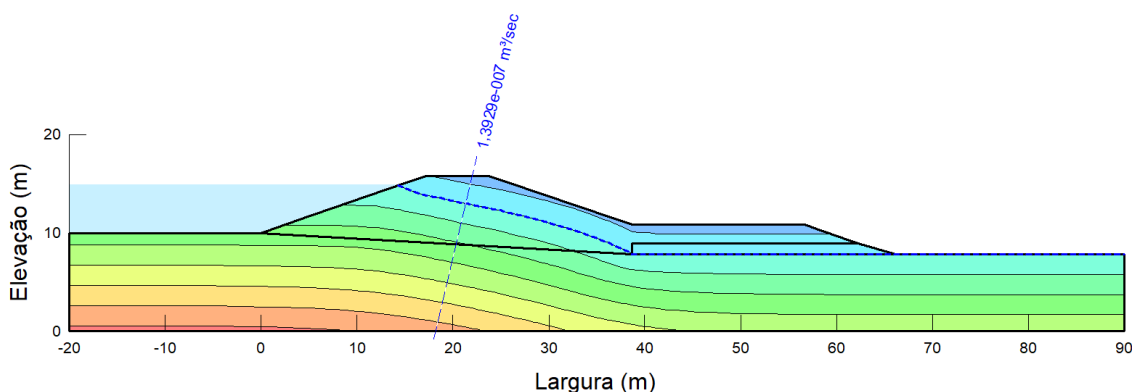


Figura 30 – linhas de fluxo e vazão na seção 5+500.  
Fonte: elaborado pelo autor

As vazões obtidas pelo software SEEP/W correspondem as vazões percoladas nas seções estudadas tendo como extensão ao longo de barramento a distância de 1 metro. Na tabela 8 são consideradas as distâncias utilizadas para cada vazão encontrada nas seções estudadas e a vazão percolada total aproximada no barramento.

Seção	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Distância (m)
0+000	0	250
0+500	3,6694E-08	750
1+500	6,4631E-08	2500
5+500	1,3929E-07	2810
7+120	0	810
Vazão total = 0,00058 m <sup>3</sup> /s		

Tabela 8 – vazões estimadas, distâncias de atuação e vazão total.  
Fonte: elaborado pelo autor

Obtemos o valor de 0,00058 metros cúbicos por segundo, que equivale a 34,8 litros por minuto. Este valor reduzido de vazão é decorrente da baixa poro-pressão observada no barramento decorrente da reduzida altura da lâmina de água presente no reservatório.

## 10. PROTEÇÃO DOS TALUDES

A proteção do talude de montante deve ser dimensionada de tal forma que a incidência de ondas do reservatório não danifique o maciço. O método de proteção depende da disponibilidade de materiais na região levando em conta fatores físicos das rochas utilizadas tanto como fatores logísticos relacionados principalmente ao transporte. Serão utilizadas rochas genéricas que, a princípio, cumprem as recomendações propostas pelo *U. S. Army Corps of Engineers* na tabela 9 para diâmetro de 50% do enrocamento (SENTÜRK, 1994).

Altura da onda (m)	Espessura mínima do enrocamento (m)	Diâmetro de 50% do enrocamento (m)
0 – 0,30	0,30	0,20
0,30 – 0,60	0,40	0,25
0,60 – 1,20	0,45	0,30
1,20 – 1,80	0,55	0,40
1,80 – 2,40	0,70	0,45
2,40 – 3,00	0,80	0,55

Tabela 9 – dimensionamento da proteção do talude de montante recomendada pelo *U. S. Army Corps of Engineers*.  
Fonte: SENTÜRK, 1994.

A proteção do talude de montante será composta por um revestimento em pedras irregulares na espessura de 45 centímetros conforme recomendado pelo *U. S. Army Corps of Engineers* visto que a altura de onda incidente no barramento calculada no Apêndice A é de 1,019 metros.

A proteção dos taludes de jusante tem como função a estabilização da encosta e proteção contra efeitos abrasivos no maciço. Será utilizada cobertura vegetal por enleivamento nos taludes de jusante e berma de equilíbrio.

## 11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando iniciado um projeto que leva em conta uma grande quantidade de material de aterro é vital que seja estudada, de forma preliminar, a disponibilidade de materiais próximos da obra a ser construída. Além da viabilidade e disponibilidade de materiais de empréstimo para o aterro do maciço, é necessário um estudo deste material que possibilite a obtenção de parâmetros essenciais, por meio de análises de campo e laboratoriais, para a otimização de custo da obra. A utilização de *softwares* especializados para cálculos referentes a estabilidade do barramento em diversos regimes de operação demanda variáveis que só poderiam ser obtidas, de forma mais precisa, por estudos laboratoriais e ensaios de campo mais completos. A falta destes parâmetros pode acarretar uma estimativa de valores e geometria que não aproximam da realidade, inviabilizando o projeto.

O estudo do solo de fundação é de grande importância para a determinação de parâmetros geométricos relacionados ao barramento e a ausência deste estudo pode ocasionar em uma grande discrepância entre projeto e realidade, refletindo em uma variação do coeficiente de segurança que pode acarretar estruturas sub ou superdimensionadas. Este projeto levou em conta a presença de um solo de fundação composto por argila mole de baixa capacidade de suporte que acarretou no dimensionamento de bermas de equilíbrio em grande parte da estrutura. O projeto original não leva em conta a utilização de bermas de equilíbrio, podendo esta diferença estar tanto na discrepância do material escolhido para representação do solo de fundação neste trabalho quanto no desconhecimento, por parte do projetista do barramento original, do material de fundação presente, entre outros fatores.

Os recentes desastres relacionados com o rompimento de barragens colocaram em voga o debate sobre a segurança destas, em âmbito nacional. No projeto original do barramento presente apresentado no Anexo A, são mostrados apenas os parâmetros geométricos sem demonstração ou referência de estudos realizados para obtenção dos mesmos. Não há garantia de que os parâmetros originalmente adotados para construção deste barramento se encaixem nas normas e boas práticas existentes na época. Finalmente, independente do uso, quando se opta pela construção de uma barragem de terra homogênea, a principal prioridade deve ser a segurança. O adequado dimensionamento desta estrutura passa pelo

extensivo estudo dos materiais envolvidos que, nem sempre foi prioridade nas obras deste tipo, principalmente, em décadas passadas.

Fica como sugestão para trabalhos futuros:

- a) Estimativa dos diversos coeficientes de segurança para diferentes regimes de operação desta barragem.
- b) Alternativas para o melhoramento do comportamento do solo de fundação neste projeto.
- c) Análise de métodos construtivos viáveis e orçamentação desta barragem.
- d) Projeto do vertedouro e outros acessórios para esta barragem.
- e) Realização do projeto executivo com estudo completo visando melhor caracterizar o solo de fundação bem como o solo do maciço e o solo utilizado para recomposição. Faz-se necessário também a elaboração da topografia e desenho das seções com menor espaçamento.
- f) Projeto de drenagem superior considerando os fatores pluviais para proteção dos taludes de jusante.
- g) Projeto de instrumentação desta barragem.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. NBR 13028: mineração – elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

BASTOS, C. A. B. et al. Propriedades geotécnicas de um solo arenoso fino laterítico de barreira litorânea na Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 12, p. 59-67, Outubro, 2008.

CRUZ, P. T., 100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

ELÉTROBRÁS, Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Rio de Janeiro 2002 Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/Diretrizes%20para%20Estudos%20e%20Projetos%20de%20Pequenas%20Centrais%20Hidrel%C3%A9tricas/cap7.1.1.zip>> Acesso em: 20 abr. 2021.

JAKOBSON, B. The Design of Embankments on Soft Clays. Géotechnique, Reino Unido, vol. 1, nº 2, p. 80-90, dez. 1948.

MARANGON, M. Investigação geotécnica e parâmetros para fundações. Juiz de Fora: UFJF, 2018. Apostila da disciplina Geotecnia de Fundações e Obras de Terra. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/GEF03-Investiga%C3%A7%C3%A3o-Geot%C3%A9cnica-e-Par%C3%A2metros-para-Funda%C3%A7%C3%B5es-2018.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MASSAD, F. Obras de Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

MELLO, M. A. de. et al. Caracterização Geotécnica do Solo de Fundação da Obra de Prolongamento das Pistas do Aeroporto Internacional Salgado Filho. In: XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2012, Porto de Galinhas. Anais... COBRAMSEG 2012. 1 CD.

PINTO, C. de S. Curso básico de mecânica dos solos. 3ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E., Ensaios de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações. 2ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SENTÜRK, F., Hydraulics of dams and reservoirs. United States of America: Water Resources Publications, 1994.

UNITED STATES OF AMERICA. Department of Interior. Bureau of Reclamation. Design of Small Dams. Washington. 1960. Disponível em:



<<https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallDams.pdf>>  
Acesso em: 20 abr. 2021.

## APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO

### 1- Cálculo do *fetch* efetivo e borda livre

Com a definição dos valores do nível máximo do reservatório e da borda livre é necessário o cálculo do *fetch* efetivo, que relaciona os critérios geométricos do reservatório e velocidade do vento com a borda livre. O cálculo do *fetch* efetivo terá como base a equação (SENTÜRK, 1994, p. 412):

$$F_{\text{ef}} = \frac{\sum x_i \cos \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (\text{equação A1})$$

Onde:

$F_{\text{ef}}$  = *fetch* efetivo em m;

$x_i$  = distâncias da margem do reservatório à barragem em m;

$\theta_i$  = ângulos com direção normal ao eixo da barragem em graus.

A figura A1 apresenta as distâncias e direções consideradas para o cálculo do *fetch* efetivo. As direções são tomadas a cada 10 graus para cada lado a partir da direção perpendicular ao eixo da barragem no ponto escolhido.

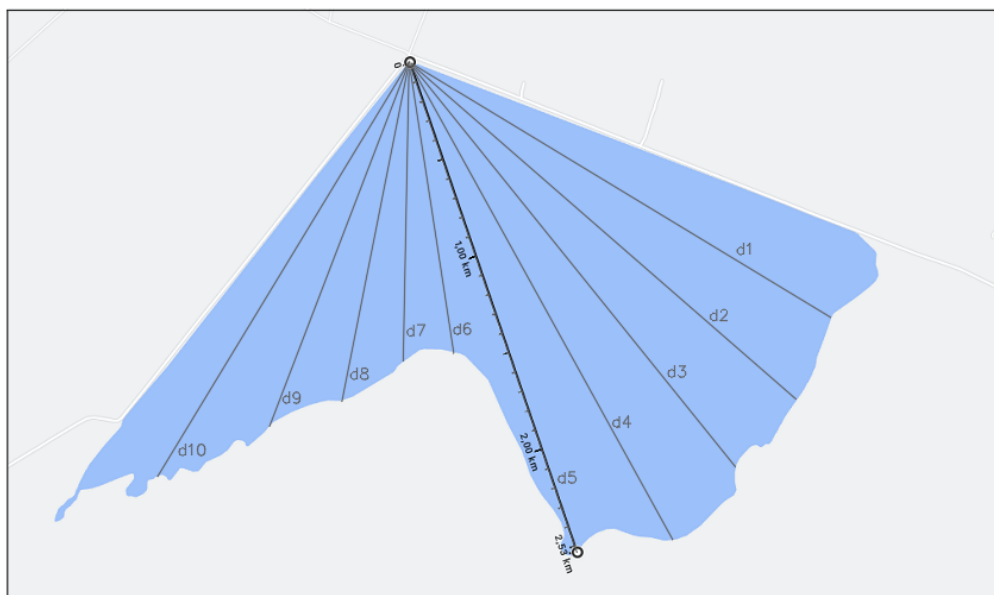


Figura A1 – geometria do reservatório e distâncias consideradas para cálculo do *fetch* efetivo.  
Fonte: modificado de GOOGLE,2021

O quadro a A1 apresenta as respectivas distâncias para cada direção considerada tanto como o cálculo do *fetch* efetivo através da equação (5):

	$\theta_i$	$\cos\theta_i$	$d_i$	$d_i\cos\theta_i$
d1	40	0,766044	2390	1830,846
d2	30	0,866025	2500	2165,064
d3	20	0,939693	2510	2358,628
d4	10	0,984808	2640	2599,892
d5	0	1	2530	2530
d6	-10	0,984808	1410	1388,579
d7	-20	0,939693	1480	1390,745
d8	-30	0,866025	1700	1472,243
d9	-40	0,766044	1900	1455,484
d10	-50	0,642788	2360	1516,979
	$\Sigma=$	8,755928	$\Sigma=$	18708,46

Tabela A1 – distâncias e ângulos considerados para o cálculo do *fetch* efetivo.  
Fonte: elaborado pelo autor

Pela equação A1 obtemos um *fetch* efetivo de 2,1366 km.

A velocidade do vento pode ser aproximada pelo mapa das isopleias segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988, p. 6). A velocidade é de aproximadamente 45 m/s, ou 162 km/h, para localidades na grande Porto Alegre.

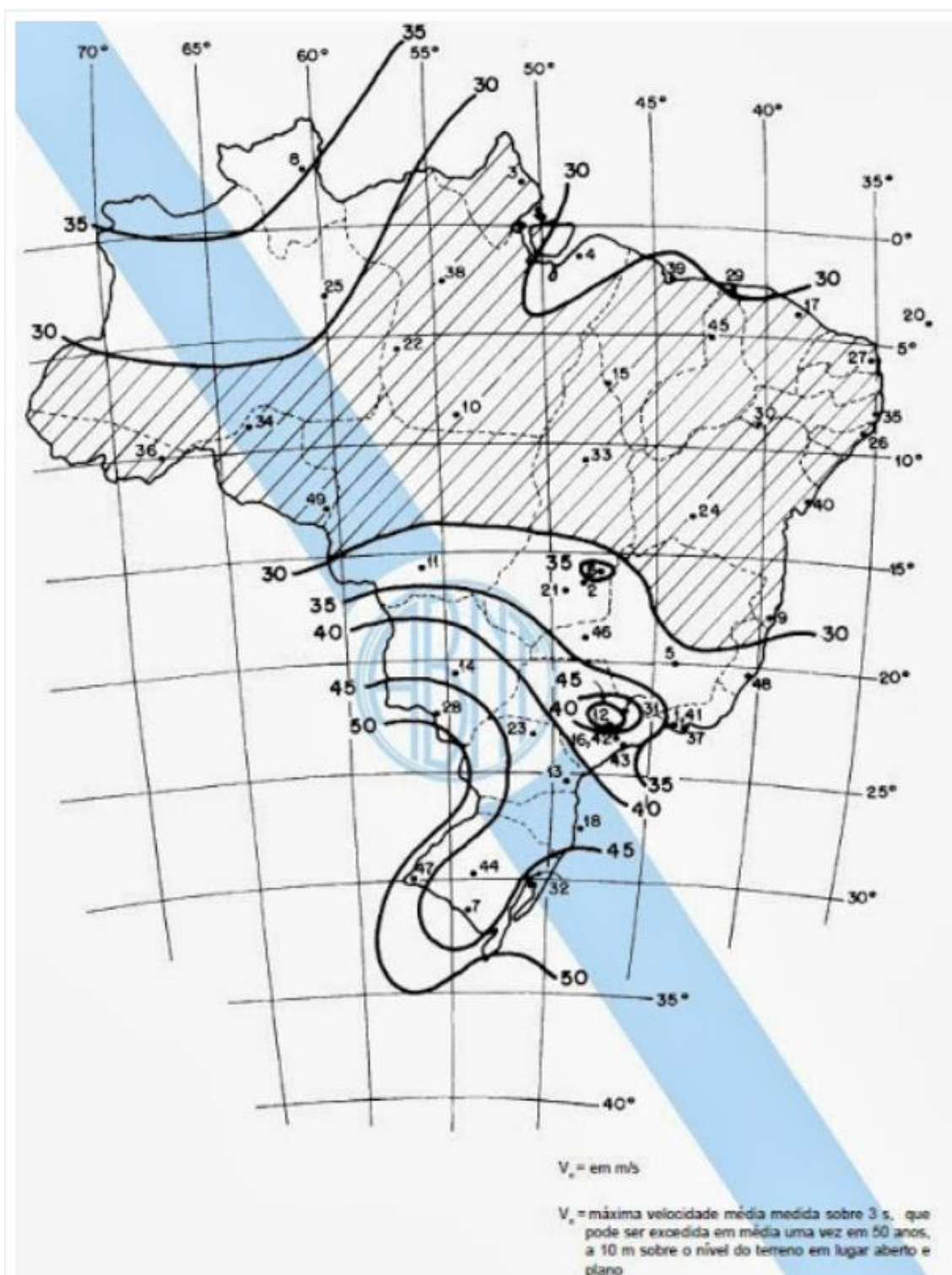


Figura A2 – isopletas da velocidade básica  $V_0$  em m/s.

Fonte: NBR 6123, 1988.

O método proposto por Molitor relaciona as variáveis para determinar a altura da onda conforme a equação a seguir. Esta equação é válida para valores de *fetch* menores que 32 km (SENTÜRK, 1994):

$$H = 0,75 + 0,032\sqrt{UF} - 0,27\sqrt[4]{F} \quad (\text{equação A2})$$

Onde:

H = altura da onda em m;

U = velocidade do vento em km/h;

F = *fetch* efetivo em km.

Obtemos uma altura de onda de 1,019 metros, bem abaixo da borda livre adotada de 1,71 metros utilizando a equação A2.

A tabela A2 mostra os parâmetros de borda livre normalmente aceitáveis segundo *Bureau of Reclamation* (1960).

<b>Fetch (quilômetros)</b>	<b>Borda livre mínima (metros)</b>
< 1,5	1,0
1,5	1,2
5,0	1,5
7,5	1,8
15,0	2,0

Tabela A2 – borda livre mínima recomendada para valores de *fetch*.  
Fonte: adaptado de UNITED STATES OF AMERICA, 1960

Para um *fetch* de 5 km a borda mínima aceitável é de 1,5 metros, conferindo positivamente a borda adotada de 1,71 metros para um *fetch* de 2,37 km.

## 2- Cálculo da berma de equilíbrio

O uso de bermas de equilíbrio se faz necessário quando há altura de aterro superior à altura crítica. A seção 1+500 apresentou a maior área de aterro superior à altura crítica de 3,23 metros e para esta será necessário o dimensionamento da

berma de equilíbrio pelo uso dos ábacos de JAKOBSON (1948). Os dados necessários para este cálculo são:

FS = Fator de segurança adotado;

$b_1$  = Distância da metade do talude de montante até a metade do talude de jusante no aterro principal, horizontalmente, em m;

$P_1$  = Peso do aterro principal em kPa/m;

$h$  = Altura da camada de solo mole de fundação em m;

$S_u$  = Resistência ao cisalhamento não drenada do solo de fundação em kPa.

O fator de segurança adotado será de 1,5 e a distância  $b_1$  foi medida na seção pelo software AutoCad 2019 versão estudante. O peso do aterro  $P_1$  é produto da multiplicação do peso específico do solo de barramento  $\gamma_n = 18,4 \text{ kN/m}^3$  pela altura do aterro na seção 1+500 que é de 4,7 metros. A altura da camada de solo mole foi retirada do SPT fornecido e é de 7,8 metros. A resistência ao cisalhamento não drenada foi definida como a função  $S_u = 10,8 + 2,7z$ , e para obter-se um valor único será feita a mesma simplificação utilizada para o cálculo da altura crítica de projeto, resultando assim em um  $S_u$  de 16,2 kPa que é a média entre o valor mínimo de 10,8 kPa e o valor médio da camada de 21,6 kPa. A Figura A3 ilustra a distância  $b_1$ , a altura  $h$  e a altura de aterro utilizada. A linha em marrom representa o aterro original e a linha em verde representa o novo aterro projetado.

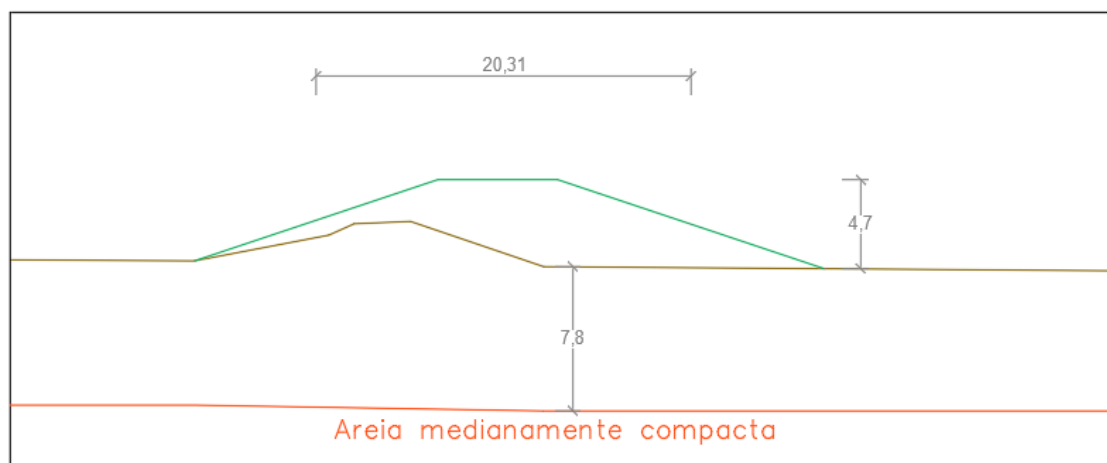


Figura A3 – parâmetros geométricos para o cálculo pelos ábacos de Jakobson.  
Fonte: elaborado pelo autor

FS	1,5	
$b_1$	20,31	m
$P_1$	86,48	kPa/m
$h$	7,8	m
$S_u$	16,2	kPa

Tabela A3 – parâmetros utilizados para o método dos ábacos de Jakobson.  
Fonte: elaborado pelo autor

Em seguida obtemos o valor de  $P_2$  que é o peso da berma de equilíbrio, produto da altura adotada da nova berma de equilíbrio pelo peso específico do solo de barramento  $\gamma_n$ . A altura adotada para a berma de equilíbrio será de 2,35 metros, metade da altura do aterro principal de 4,7 metros.

$P_2$	43,24	kPa/m
-------	-------	-------

Tabela A4 – valor do peso da berma de equilíbrio.  
Fonte: elaborado pelo autor

O valor de  $C_{adm}$  representa a resistência admissível pelo aterro. Para que sejam satisfeitas as condições de cálculo pelo método de Jakobson,  $P_2$  deve ser menor do que 5,5 vezes  $C_{adm}$  onde:

$$C_{adm} = \frac{S_u}{FS} \quad (\text{equação A3})$$

Obtemos assim:

$C_{adm}$	10,8	kPa
$5*5C_{adm}$	59,4	kPa
$P_2$	43,24	kPa

Tabela A5 – comparação da resistência admissível com o peso do aterro.  
Fonte: elaborado pelo autor

Satisfeita a condição de  $P_2 < 5,5C_{adm}$ , o método de Jakobson identifica três tipos de caso de ruptura. O caso em questão foi identificado como 'caso 1' para utilização do ábaco precisamos dos seguintes parâmetros:

$C_{adm} / P_1$	0,124884
$P_1 / P_2$	2

Tabela A6 – parâmetros para utilização do ábaco de Jakobson.  
Fonte: elaborado pelo autor

Entramos com os valores  $C_{adm}/P_1$  e  $P_1/P_2$  no ábaco de JAKOBSON (1948):



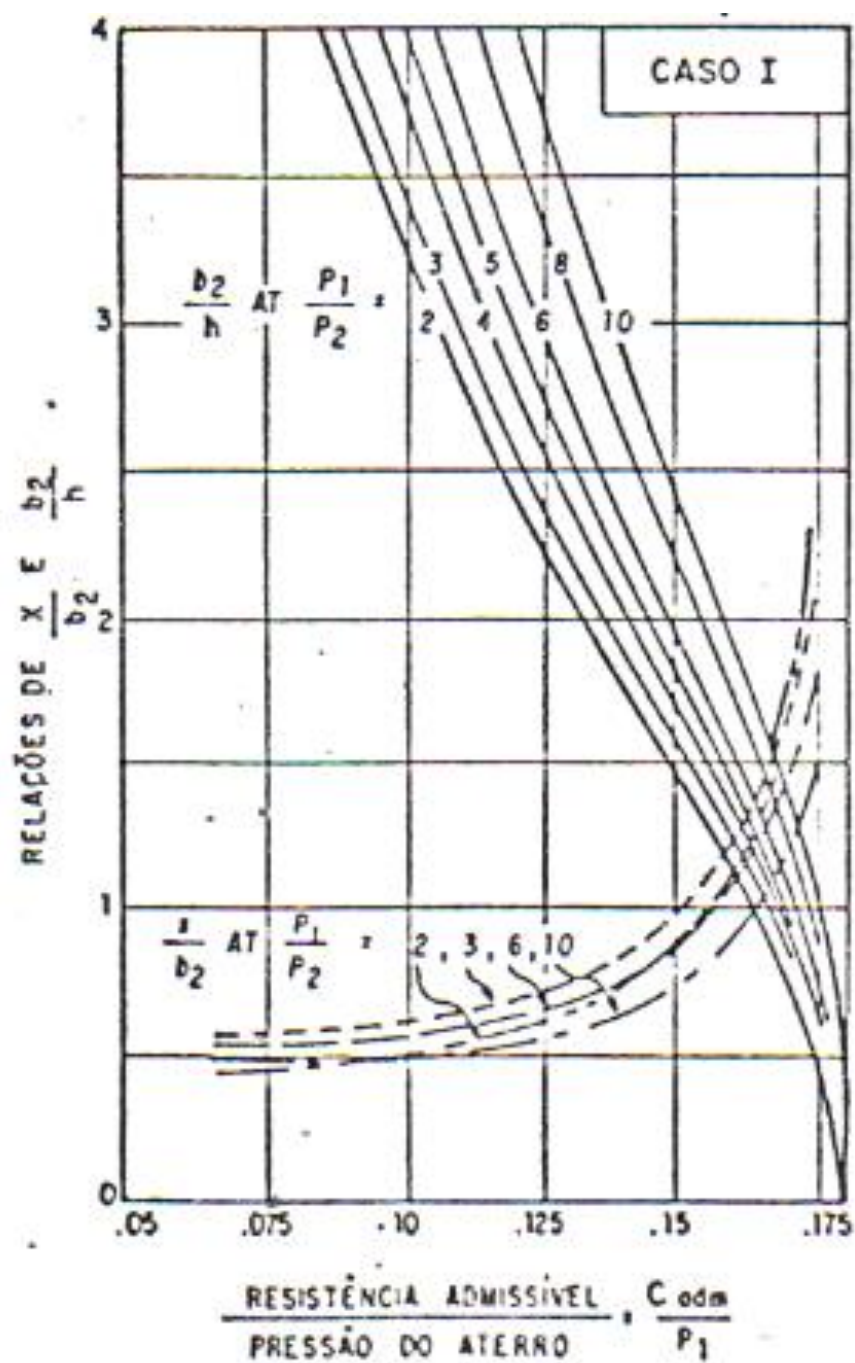


Figura A4 – ábaco de Jakobson para o caso 1.  
Fonte: JAKOBSON, 1948.

Obtemos assim o valor de  $b_2/h$  que é a razão da extensão da bermas de equilíbrio pela altura de aterro mole.

$b_2 / h$	2,3	
$b_2$	17,94	m

Tabela A7 – resultado obtido pelo ábaco de Jakobson.  
Fonte: elaborado pelo autor

A extensão da berma de equilíbrio encontrada na seção 1+500 é de aproximadamente 18 metros que se estenderá da metade do talude de jusante original até o topo do novo talude inferior de jusante. A linha em marrom representa o aterro original e a linha em verde representa o novo aterro projetado com a berma de equilíbrio na figura A5.

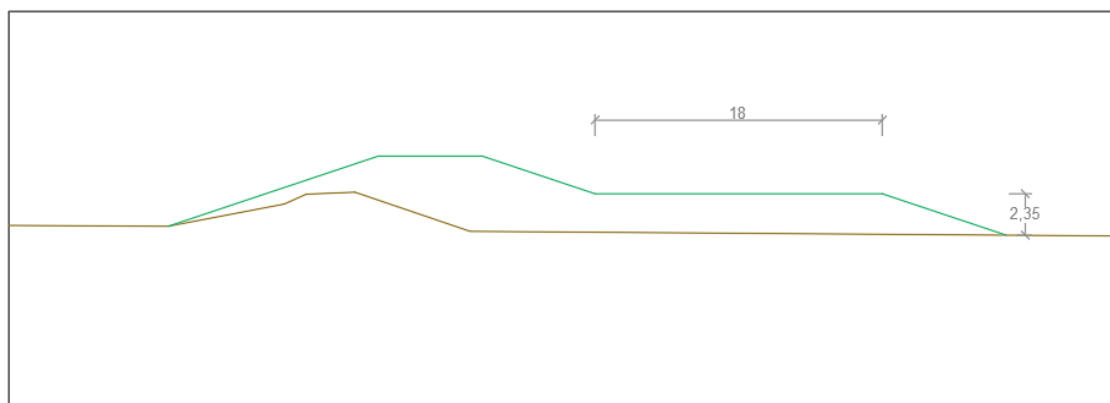


Figura A5 – altura e extensão da berma de equilíbrio calculada.  
Fonte: elaborado pelo autor

### 3- Cálculo de recalques por adensamento

O cálculo do recalque por adensamento foi feito para a seção 1+500 que apresentou a maior área com altura de aterro superior à altura crítica de 3,23 metros. O método de cálculo utilizado seguirá o modelo proposto por Terzaghi para ensaios de compressão edométricos para argilas saturadas (PINTO, 2006). Os parâmetros relevantes referentes ao solo argiloso mole foram retirados do trabalho de MELLO et al. (2012) como já citado no capítulo 4.

Os fatores estão apresentados a seguir:

- Peso específico médio do solo,  $\gamma_n = 17,4 \text{ kN/m}^3$ ;
- Coeficiente de adensamento,  $c_v = 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ;
- Índice de compressão,  $C_c = 0,65$ ;
- Índice de recompressão,  $C_{cr} = 0,07$ ;
- Índice de vazios inicial,  $e_0 = 2,25$ ;
- A equação da tensão vertical efetiva,  $\sigma'_{vm}$ , pela profundidade utilizada foi:

$$\sigma'_{vm} = 30 + 7z \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$z$  = Profundidade da camada (m).

O recalque por adensamento será calculado para o meio da camada compressível de 7,8 metros e a carga será o peso do aterro principal que se encontra com altura superior a crítica na seção 1+500 que é dado pelo produto da altura de aterro pelo peso específico médio do aterro. O SPT fornecido permite considerar uma camada drenante de areia medianamente compacta localizada abaixo da camada compressível de 7,8 metros. A Altura de aterro utilizada será de 4,7 metros e seu peso é  $18,4 \text{ kN/m}^3$ . Por questão de segurança, foi considerado como infinito o aterro referente ao barramento, pois além da barragem podemos considerar o peso de água do reservatório. A figura A6 ilustra os parâmetros geométricos utilizados:

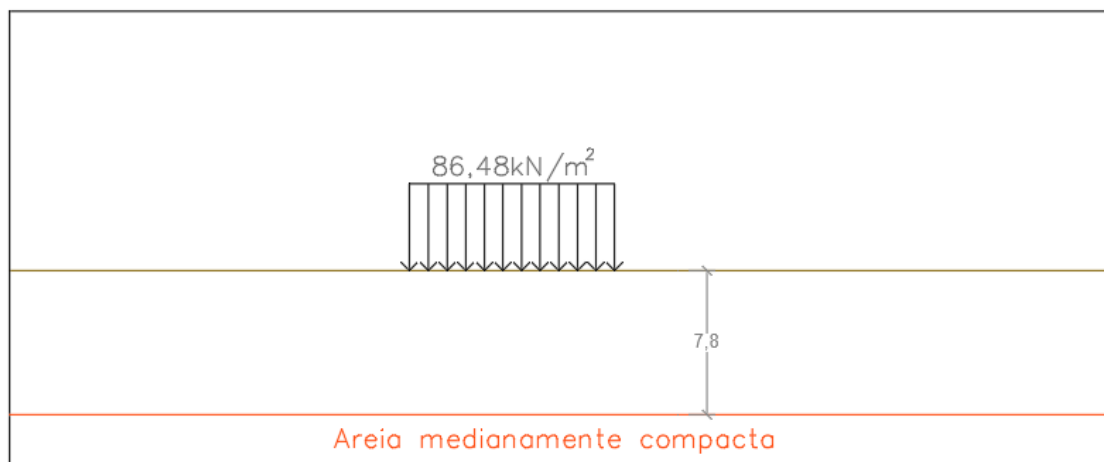


Figura A6 – parâmetros geométricos e carga de aterro.  
Fonte: elaborado pelo autor

Obtemos uma carga de aterro de  $\Delta\sigma'_v = 18,4 \cdot 4,7 = 86,48 \text{ kN/m}^2$ .

Primeiramente precisamos comparar a tensão efetiva atuante sobre o solo no local com a tensão de pré-adensamento  $\sigma'_{vm}$  na profundidade estudada a fim de se conhecer a evolução deste solo. Para tensões de pré-adensamento iguais às tensões efetivas o solo encontra-se 'normalmente adensado', já para tensões de pré-adensamento maiores que as tensões efetivas chamamos o solo de pré-adensado ou sobreadensado. A tensão atuante  $\sigma_v$  é composta pelo peso do solo acima da profundidade estudada de 3,9 metros diminuída da parcela referente à poro-pressão atuante nesta profundidade:

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \quad (\text{equação A4})$$

$$\sigma'_v = 17,4 \cdot 3,9 - 10 \cdot 3,9 = 28,86 \text{ kN/m}^2$$

A tensão de pré-adensamento na profundidade de 3,9 metros é obtida segundo a equação (1):

$$\sigma'_{vm} = 30 + 7 \cdot 3,9 = 57,3 \text{ kN/m}^2$$

Comparando os resultados obtemos que a tensão de pré-adensamento  $\sigma'_{vm}$  é maior do que a tensão atuante  $\sigma'_v$  na profundidade de 3,9 metros e isso indica a

presença de um solo pré-adensado para esta profundidade. Para solos pré-adensados é necessária uma segunda comparação que leva em conta a nova carga de aterro. Para os casos em que a carga do aterro acrescida da carga atuante é menor do que a tensão de pré-adensamento utilizamos a equação:

$$\rho = \frac{C_{cr} * H_1}{(1+e_1)} \log \left( \frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right) \quad (\text{equação A5})$$

Onde:

$C_{cr}$  = Índice de recompressão;

$H_1$  = Espessura da camada a ser adensada em metros;

$e_1$  = Índice de vazios;

$\sigma'_1$  = Tensão existente antes do carregamento em kN/m<sup>2</sup>;

$\sigma'_2$  = Tensão após carregamento em kN/m<sup>2</sup>.

Para os casos em que a carga do aterro acrescida da carga atuante é maior do que a tensão de pré-adensamento utilizamos:

$$\rho = \frac{H_1}{(1+e_1)} (C_{cr} * \log \left( \frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_1} \right) + C_{cr} * \log \left( \frac{\sigma'_2}{\sigma'_{vm}} \right)) \quad (\text{equação A6})$$

Obtemos para o caso em estudo:

$$\sigma'_v + \Delta\sigma'_v = 28,86 + 86,48 = 115,34 \text{ kN/m}^2 > \sigma'_{vm} = 57,3 \text{ kN/m}^2$$

Sendo assim relevante o uso da equação A6 que resulta em:

$$\rho = \frac{7,8}{(1+2,25)} (0,07 * \log \left( \frac{57,3}{28,86} \right) + 0,65 * \log \left( \frac{115,34}{57,3} \right)) = 0,524 \text{ m}$$

O recalque por adensamento na camada compressível de 7,8 metros de espessura é de 0,524 metros na profundidade de 3,9 metros. É interessante calcular também em quanto tempo se dará este recalque. Diferentemente do recalque instantâneo calculado via software SIGMAW, o adensamento se dará ao longo do tempo segundo a teoria do adensamento unidimensional de Terzaghi que introduz o grau de adensamento  $U_z$  que é definida como a relação entre a transformação

ocorrida num elemento, numa certa posição, caracterizada pela sua profundidade  $z$ , num determinado tempo e a deformação desse elemento quando todo o processo de adensamento tiver ocorrido (PINTO, 2006). A média dos graus de adensamento, ao longo da profundidade da origem ao grau de adensamento médio,  $U$ , que é denominado 'Porcentagem de Recalque'. Os valores de  $U$  podem ser encontrados para diversos fatores de tempo,  $T$ , que é dado pela equação:

$$T = \frac{c_v * t}{H_d^2} \quad (\text{equação A7})$$

Onde:

$c_v$  = coeficiente de adensamento em  $m^2/s$ ;

$t$  = tempo em  $s$ ;

$H_d$  = Altura de drenagem em  $m$ .

O coeficiente de adensamento,  $c_v$ , é conhecido e vale  $10^{-7} m^2/s$ . O tempo  $t$  é o fator a ser calculado. A altura de drenagem  $H_d$  é igual a altura total da camada de argila saturada mole de 7,8 metros dividida por 2, pois foi localizada areia grossa medianamente compactada na camada imediatamente abaixo da argila mole. Para o fator de tempo,  $T$ , foi utilizada a tabela do fator tempo em função da porcentagem de recalque para adensamento pela teoria de Terzaghi.

U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T
1	0,0001	21	0,0346	41	0,132	61	0,297	81	0,588
2	0,0003	22	0,0380	42	0,138	62	0,307	82	0,610
3	0,0007	23	0,0415	43	0,145	63	0,318	83	0,633
4	0,0013	24	0,0452	44	0,152	64	0,329	84	0,658
5	0,0020	25	0,0491	45	0,159	65	0,340	85	0,684
6	0,0028	26	0,0531	46	0,166	66	0,351	86	0,712
7	0,0038	27	0,0572	47	0,173	67	0,364	87	0,742
8	0,0050	28	0,0616	48	0,181	68	0,377	88	0,774
9	0,0064	29	0,0660	49	0,189	69	0,389	89	0,809
10	0,0078	30	0,0707	50	0,197	70	0,403	90	0,848
11	0,0095	31	0,0755	51	0,204	71	0,416	91	0,891
12	0,0113	32	0,0804	52	0,212	72	0,431	92	0,938
13	0,0133	33	0,0855	53	0,221	73	0,445	93	0,992
14	0,0154	34	0,0908	54	0,230	74	0,461	94	1,054
15	0,0177	35	0,0962	55	0,239	75	0,477	95	1,128
16	0,0201	36	0,102	56	0,248	76	0,493	96	1,219
17	0,0227	37	0,108	57	0,257	77	0,510	97	1,335
18	0,0254	38	0,113	58	0,266	78	0,528	98	1,500
19	0,0283	39	0,119	59	0,276	79	0,547	99	1,781
20	0,0314	40	0,126	60	0,287	80	0,567	100	∞

Tabela A8 – fator Tempo em função da Porcentagem de Recalque para adensamento pela Teoria de Terzaghi.

Fonte: PINTO,2006.

Utilizaremos uma porcentagem de recalque de 99%, que nos dá, pela tabela, um fator tempo de 1,781. Utilizando a equação (11) obtemos:

$$1,781 = \frac{10^{-7} * t}{\left(\frac{7,8}{2}\right)^2}$$

O que nos dá um tempo, t, para que ocorra 99% do adensamento da camada de 7,8 metros de 270890100 segundos, que corresponde a 8 anos e 7 meses, aproximadamente.

## APÊNDICE B – QUANTITATIVOS

Este anexo contém as planilhas demonstrativas referentes aos quantitativos de materiais utilizados. O volume de corte está demonstrado na tabela abaixo:

Seção	Área (m <sup>2</sup> )	Extensão (m)	Volumes (m <sup>3</sup> )	
			Volume parcial	Volume total
0+000	0	10	0	0
0+020	9,3	260	2418	2418
0+500	1,88	500	940	3358
1+000	0	500	0	3358
1+500	0	500	0	3358
2+000	9,33	500	4665	8023
2+500	18,14	500	9070	17093
3+000	16,48	500	8240	25333
3+500	16,84	500	8420	33753
4+000	28,55	500	14275	48028
4+500	17,39	500	8695	56723
5+000	3,83	500	1915	58638
5+500	5,63	500	2815	61453
6+000	17,92	500	8960	70413
6+500	7,53	500	3765	74178
7+000	13,05	310	4045,5	78223,5
7+120	0	60	0	78223,5

Tabela B1 – volumes de corte.  
Fonte: elaborado pelo autor

A tabela B2 apresenta o volume compactado referente ao material de aterro do barramento:

Seção	Área (m <sup>2</sup> )	Extensão (m)	Volumes (m <sup>3</sup> )	
			Volume parcial	Volume total
0+000	0	10	0	0
0+020	7,85	260	2041	2041
0+500	26,09	500	13045	15086
1+000	70,43	500	35215	50301
1+500	96,09	500	48045	98346
2+000	74,06	500	37030	135376



2+500	69,95	500	34975	170351
3+000	77,11	500	38555	208906
3+500	77,02	500	38510	247416
4+000	74,49	500	37245	284661
4+500	80,06	500	40030	324691
5+000	86,85	500	43425	368116
5+500	90,67	500	45335	413451
6+000	92,34	500	46170	459621
6+500	88,95	500	44475	504096
7+000	58,76	310	18215,6	522311,6
7+120	0	60	0	522311,6

Tabela B2 – volumes de aterro.  
Fonte: elaborado pelo autor

A tabela B3 apresenta o volume de material do filtro composto de areia média:

Seção	Área (m <sup>2</sup> )	Extensão (m)	Volumes (m <sup>3</sup> )	
			Volume parcial	Volume total
0+000	0	10	0	0
0+020	8,09	260	2103,4	2103,4
0+500	8,09	500	4045	6148,4
1+000	28,32	500	14160	20308,4
1+500	28,32	500	14160	34468,4
2+000	28,32	500	14160	48628,4
2+500	28,32	500	14160	62788,4
3+000	28,32	500	14160	76948,4
3+500	28,32	500	14160	91108,4
4+000	28,32	500	14160	105268,4
4+500	28,32	500	14160	119428,4
5+000	28,32	500	14160	133588,4
5+500	28,32	500	14160	147748,4
6+000	28,32	500	14160	161908,4
6+500	28,32	500	14160	176068,4
7+000	28,32	310	8779,2	184847,6
7+120	0	60	0	184847,6

Tabela B3 – volumes de material do filtro.  
Fonte: elaborado pelo autor

A tabela B4 apresenta o volume de pedras irregulares para a composição do enrocamento para proteção do talude de montante:

Seção	Área (m <sup>2</sup> )	Extensão (m)	Volumes (m <sup>3</sup> )	
			Volume parcial	Volume total
0+000	0	10	0	0
0+020	2,32	260	603,2	603,2
0+500	2,89	500	1445	2048,2
1+000	3,8	500	1900	3948,2
1+500	4,86	500	2430	6378,2
2+000	4,9	500	2450	8828,2
2+500	3,01	500	1505	10333,2
3+000	3,85	500	1925	12258,2
3+500	5,84	500	2920	15178,2
4+000	5,81	500	2905	18083,2
4+500	6,23	500	3115	21198,2
5+000	6,6	500	3300	24498,2
5+500	6,37	500	3185	27683,2
6+000	6,52	500	3260	30943,2
6+500	6,46	500	3230	34173,2
7+000	2,79	310	864,9	35038,1
7+120	0	60	0	35038,1

Tabela B4 – volumes de enrocamento a montante.

Fonte: elaborado pelo autor

A tabela B5 apresenta o volume de pedrisco que compõe o dreno de pé:

Seção	Área (m <sup>2</sup> )	Extensão (m)	Volumes (m <sup>3</sup> )	
			Volume parcial	Volume total
0+000	0	10	0	0
0+020	3,45	260	897	897
0+500	3,45	500	1725	2622
1+000	3,45	500	1725	4347
1+500	3,45	500	1725	6072
2+000	3,45	500	1725	7797
2+500	3,45	500	1725	9522
3+000	3,45	500	1725	11247
3+500	3,45	500	1725	12972
4+000	3,45	500	1725	14697

4+500	3,45	500	1725	16422
5+000	3,45	500	1725	18147
5+500	3,45	500	1725	19872
6+000	3,45	500	1725	21597
6+500	3,45	500	1725	23322
7+000	3,45	310	1069,5	24391,5
7+120	0	60	0	24391,5

Tabela B5 – volumes de pedrisco para composição do dreno de pé.  
Fonte: elaborado pelo autor

A tabela B6 apresenta o volume de pedras irregulares de mão que compõe o dreno de pé:

Seção	Área (m <sup>2</sup> )	Extensão (m)	Volumes (m <sup>3</sup> )	
			Volume parcial	Volume total
0+000	0	10	0	0
0+020	7,89	260	2051,4	2051,4
0+500	7,89	500	3945	5996,4
1+000	7,89	500	3945	9941,4
1+500	7,89	500	3945	13886,4
2+000	7,89	500	3945	17831,4
2+500	7,89	500	3945	21776,4
3+000	7,89	500	3945	25721,4
3+500	7,89	500	3945	29666,4
4+000	7,89	500	3945	33611,4
4+500	7,89	500	3945	37556,4
5+000	7,89	500	3945	41501,4
5+500	7,89	500	3945	45446,4
6+000	7,89	500	3945	49391,4
6+500	7,89	500	3945	53336,4
7+000	7,89	310	2445,9	55782,3
7+120	0	60	0	55782,3

Tabela B6 – volumes de pedra irregular para composição do dreno de pé.  
Fonte: elaborado pelo autor

A tabela B7 apresenta a área de enleivamento para proteção dos taludes de jusante:

Seção	Largura (m)	Extensão (m)	Áreas (m <sup>2</sup> )	
			Área parcial	Área total
0+000	0	10	0	0
0+020	0,17	260	44,2	44,2
0+500	5,01	500	2505	2549,2
1+000	23,78	500	11890	14439,2
1+500	26,68	500	13340	27779,2
2+000	26,54	500	13270	41049,2
2+500	27,68	500	13840	54889,2
3+000	28,27	500	14135	69024,2
3+500	29,02	500	14510	83534,2
4+000	28,86	500	14430	97964,2
4+500	31,54	500	15770	113734,2
5+000	35,38	500	17690	131424,2
5+500	36,29	500	18145	149569,2
6+000	35,73	500	17865	167434,2
6+500	34,9	500	17450	184884,2
7+000	24,55	310	7610,5	192494,7
7+120	0	60	0	192494,7

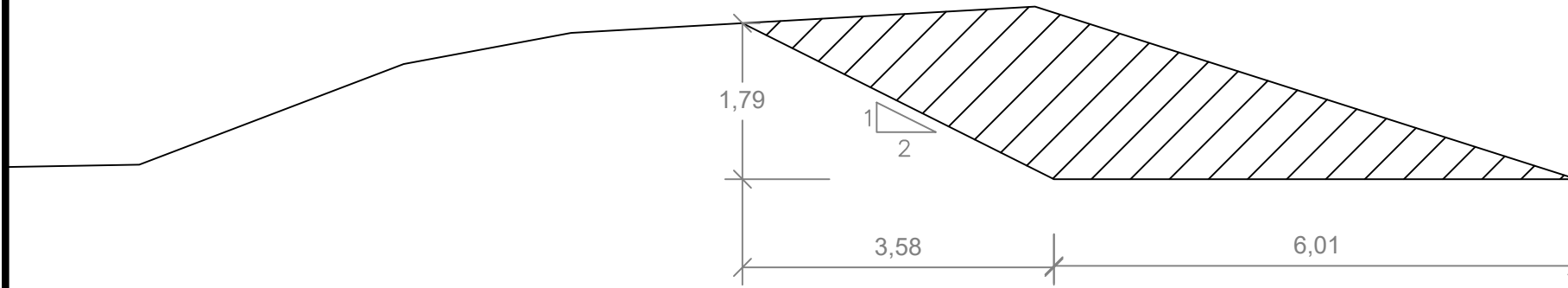
Tabela B7 – áreas de enleivamento do talude de jusante e berma.  
Fonte: elaborado pelo autor

## APÊNDICE C – PRANCHAS DE PROJETO

As seções apresentadas no apêndice C apresentam o projeto de reaterro do barramento contendo todas as medidas obtidas pelo projeto geométrico do trabalho nas seções estudadas e o projeto de corte dos taludes de jusante nos aterros originais para a execução do novo filtro previsto no trabalho nas seções necessárias.

SEÇÃO CORTE 0+020

ESCALA: 1:75  
(m)



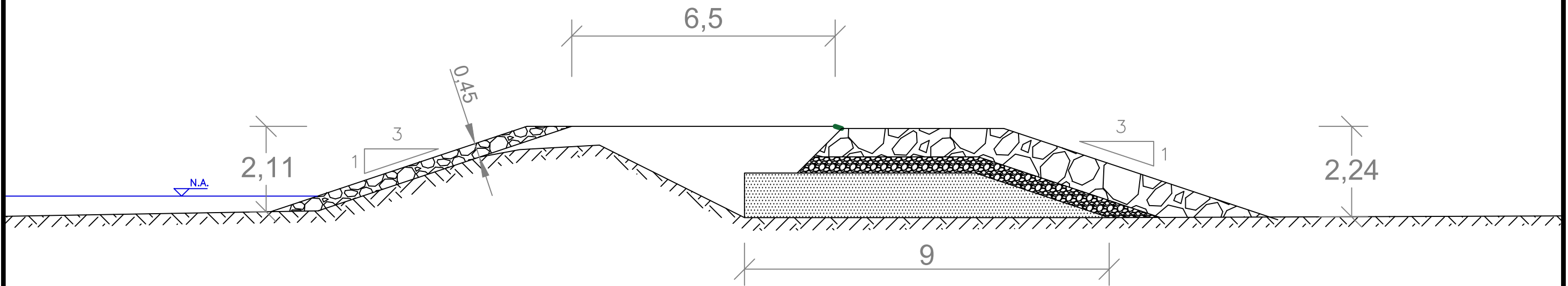
LEGENDA:

-  ÁREA DE CORTE
-  ENROCAMENTO (RIPRAP)
-  FILTRO (AREIA MÉDIA)
-  PEDRISCO\*
-  ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*
-  ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 0+020

ESCALA: 1:100  
(m)



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 0+020

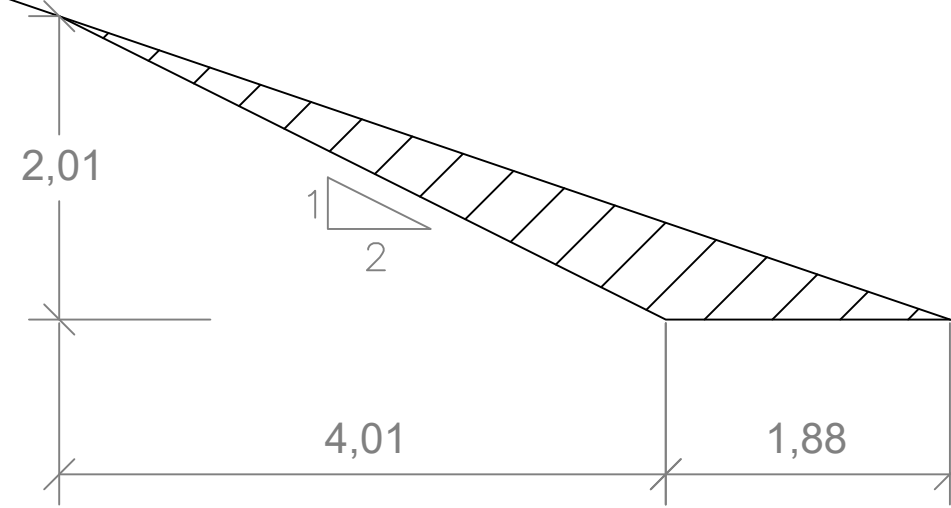
ESCALA: INDICADA FOLHA: 1/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

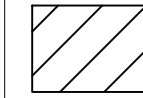
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 0+500

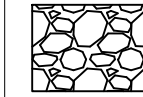
ESCALA: 1:50  
(m)



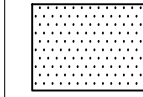
LEGENDA:



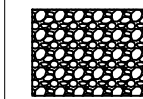
ÁREA DE CORTE



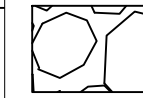
ENROCAMENTO (RIPRAP)



FILTRO (AREIA MÉDIA)



PEDRISCO\*



ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*

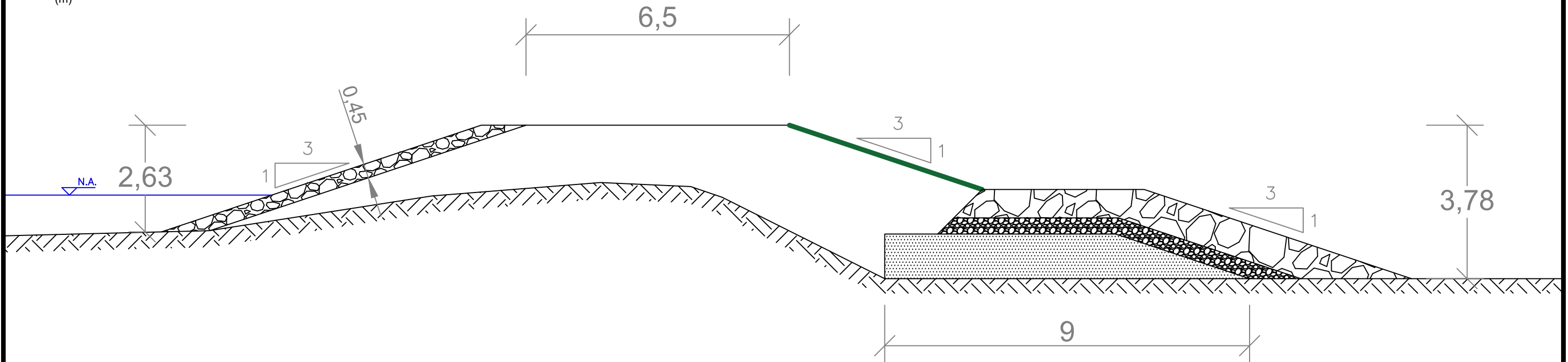


ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 0+500

ESCALA: 1:100  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 0+500

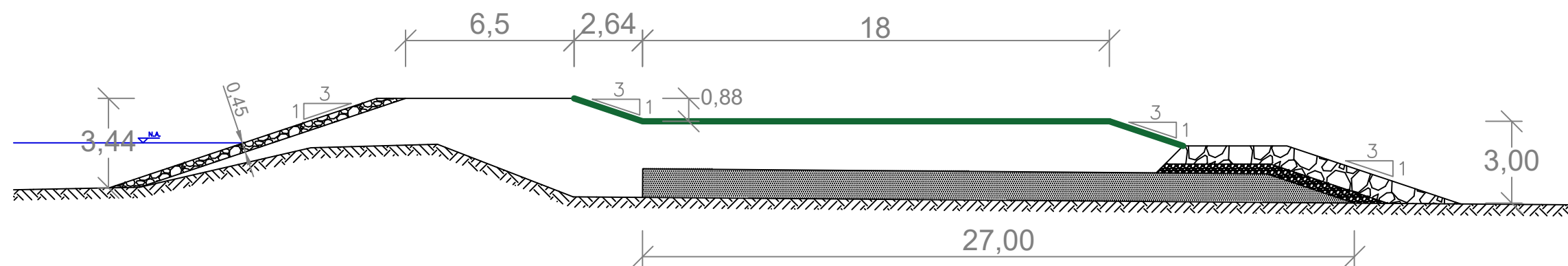
ESCALA: INDICADA FOLHA: 2/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

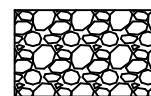
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO TRANSVERSAL 1+000

ESCALA: 1:200  
(m)



LEGENDA:



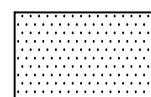
ENROCAMENTO (RIPRAP)



PEDRISCO\*



ENLEIVAMENTO



FILTRO (AREIA MÉDIA)



ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

OBS: Não há necessidade de corte na seção 1+000



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÃO TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO TRANSVERSAL - SEÇÃO 1+000

ESCALA: INDICADA FOLHA: 3/16

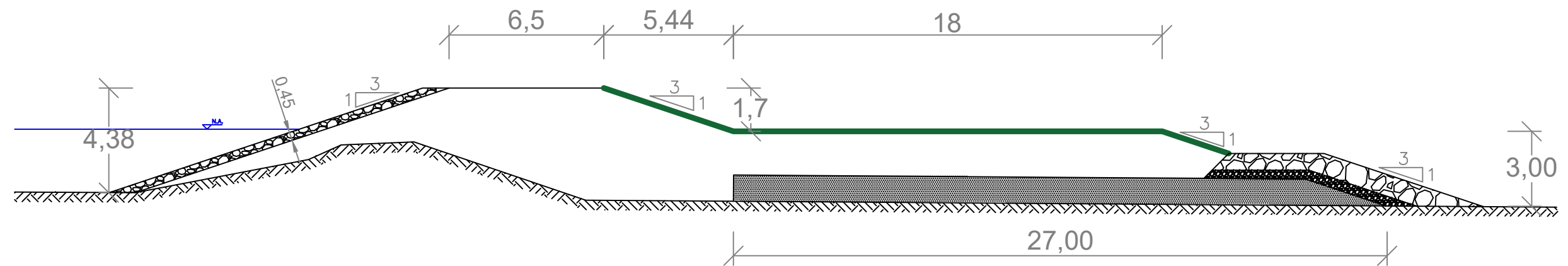
CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

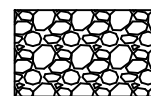


SEÇÃO TRANSVERSAL 1+500

ESCALA: 1:200  
(m)



LEGENDA:



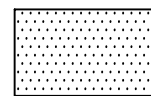
ENROCAMENTO (RIPRAP)



PEDRISCO\*



ENLEIVAMENTO



FILTRO (AREIA MÉDIA)



ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

OBS: Não há necessidade de corte na seção 1+500



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÃO TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO TRANSVERSAL - SEÇÃO 1+500

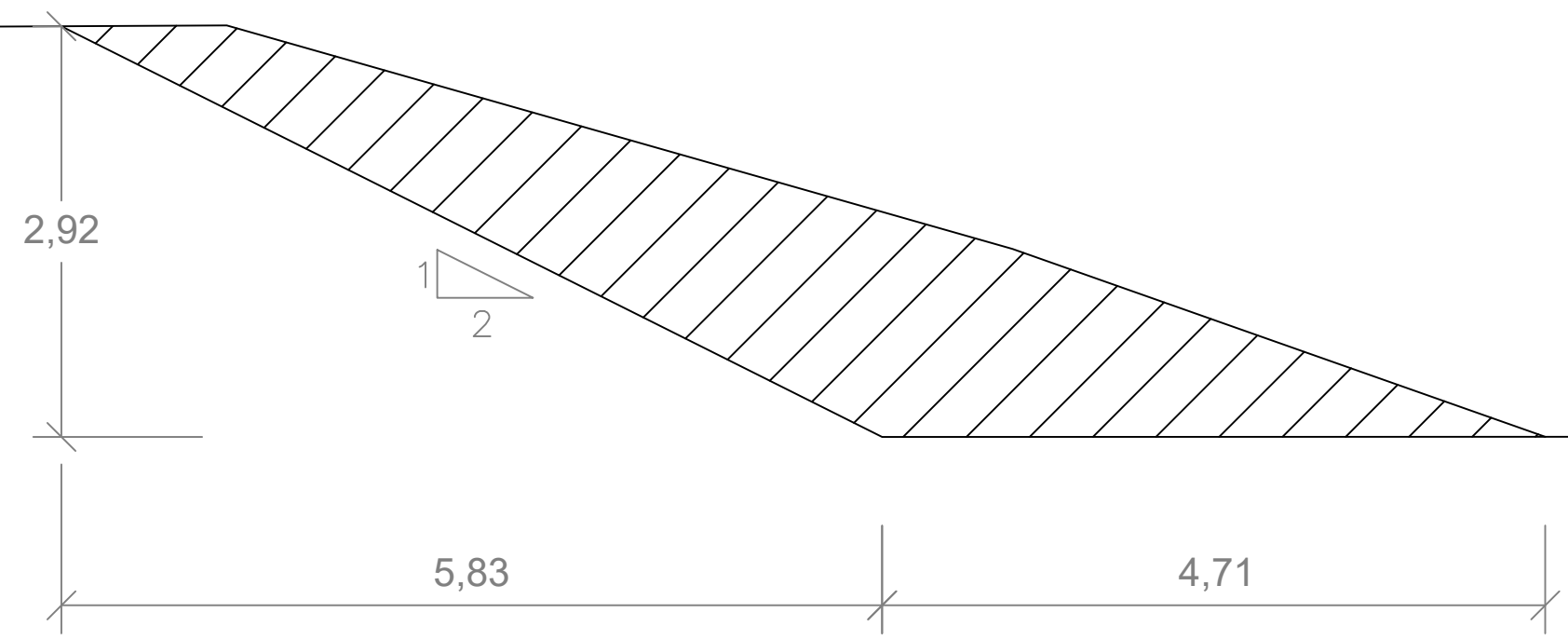
ESCALA: INDICADA FOLHA: 4/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL


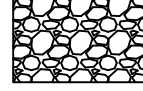
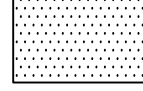

ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 2+000

ESCALA: 1:50  
(m)



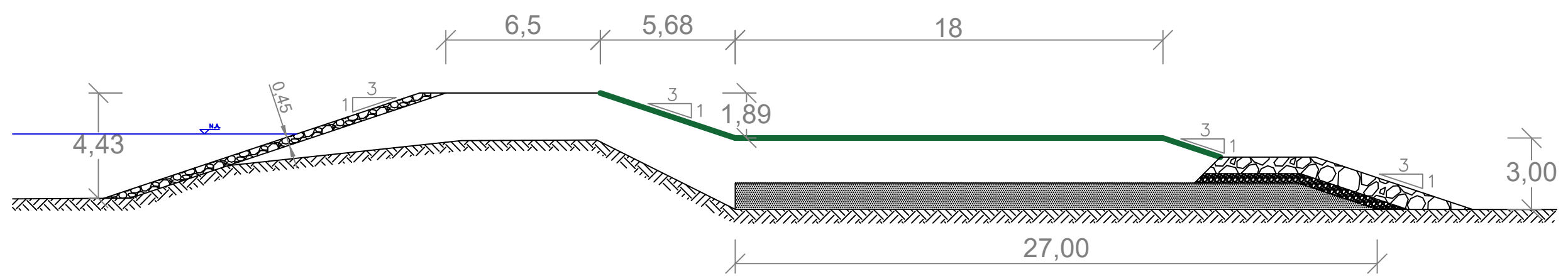
LEGENDA:


-  ÁREA DE CORTE
-  ENROCAMENTO (RIPRAP)
-  FILTRO (AREIA MÉDIA)
-  PEDRISCO\*
-  ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*
-  ENLEIVAMENTO


\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 2+000

ESCALA: 1:200  
(m)



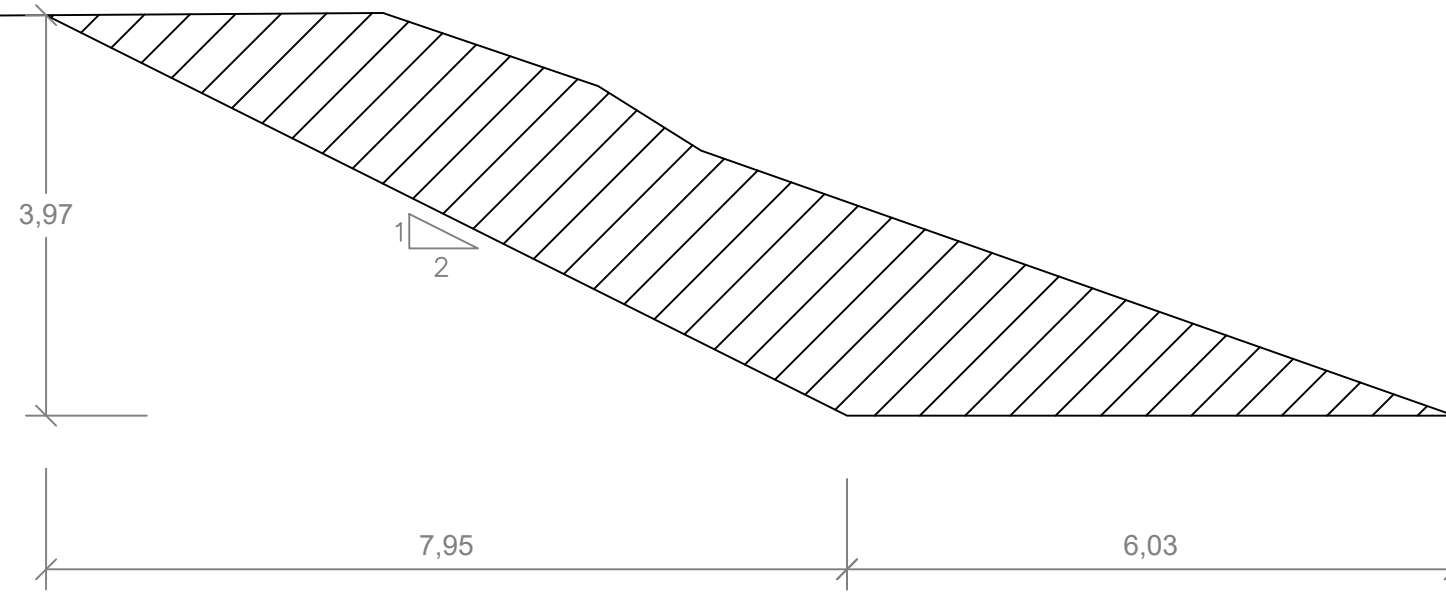
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

 ESCOLA DE ENGENHARIA


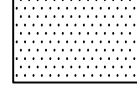


TÍTULO:	SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL	RESPONSÁVEL TÉCNICO:	Roger Simon da Silva
DESCRIÇÃO:	DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 2+000	ESCALA:	INDICADA
CLIENTE:	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	FOLHA:	5/16
		ORIENTADOR:	Cesar Alberto Ruver
		DATA:	14/05/2021

SEÇÃO CORTE 2+500

ESCALA: 1:75  
(m)



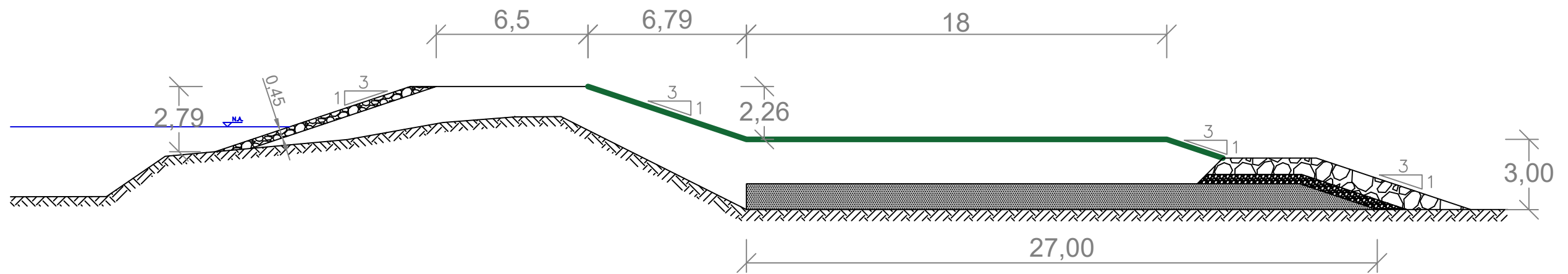
LEGENDA:


-  ÁREA DE CORTE
-  ENROCAMENTO (RIPRAP)
-  FILTRO (AREIA MÉDIA)
-  PEDRISCO\*
-  ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*
-  ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 2+500

ESCALA: 1:200  
(m)



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 2+500

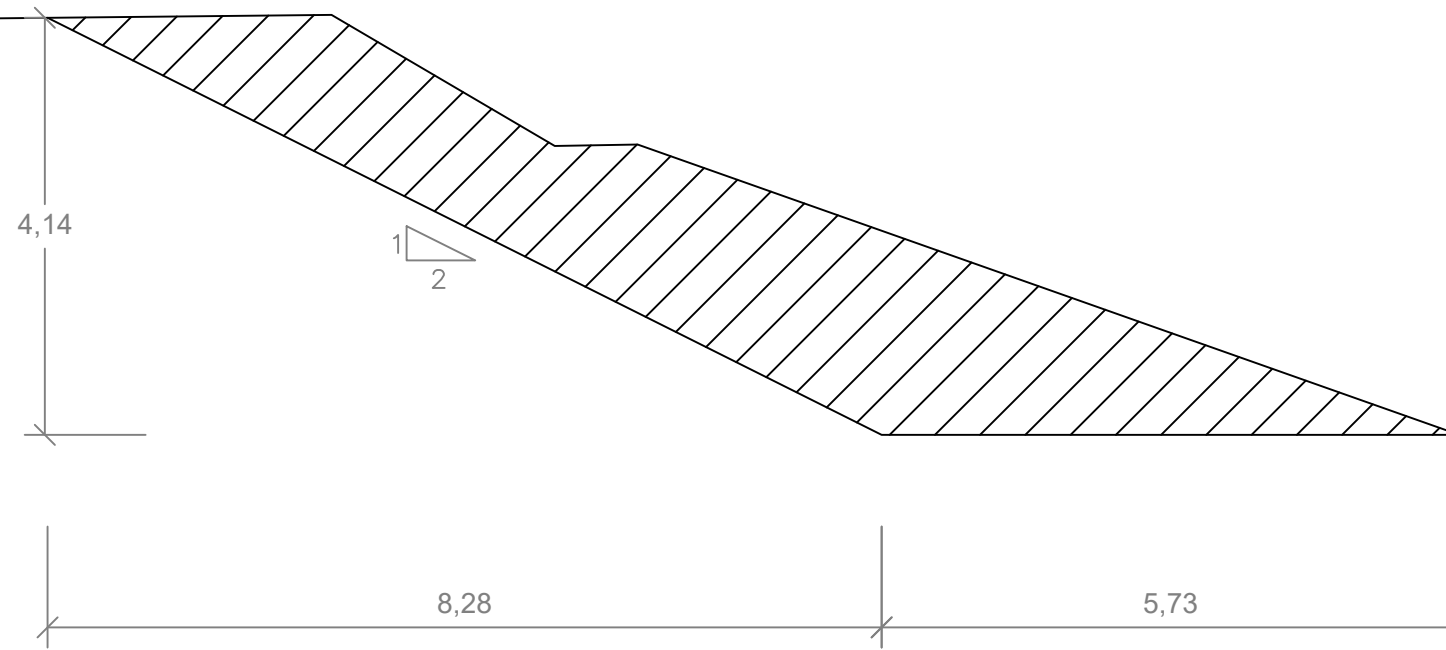
ESCALA: INDICADA FOLHA: 6/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

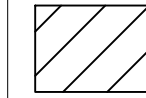
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 3+000

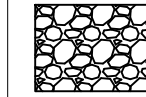
ESCALA: 1:75  
(m)



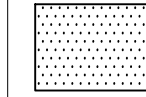
LEGENDA:



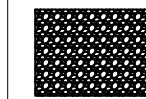
ÁREA DE CORTE



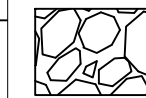
ENROCAMENTO (RIPRAP)



FILTRO (AREIA MÉDIA)



PEDRISCO\*



ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*

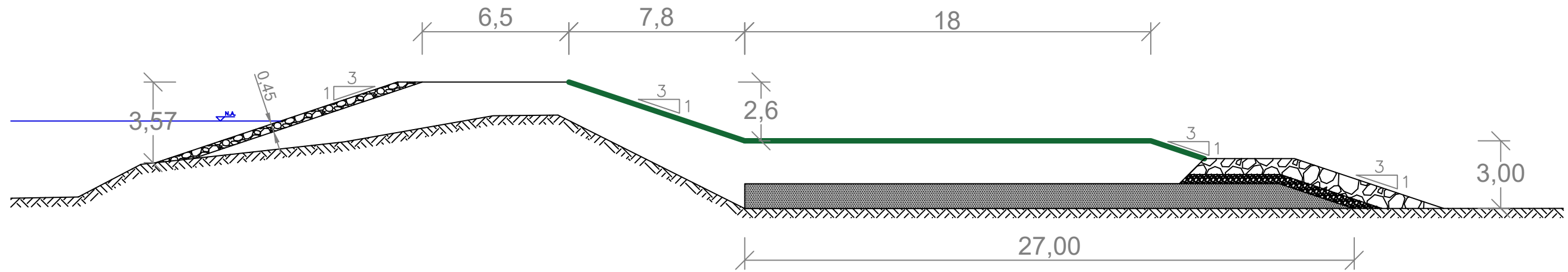


ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 3+000

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 3+000

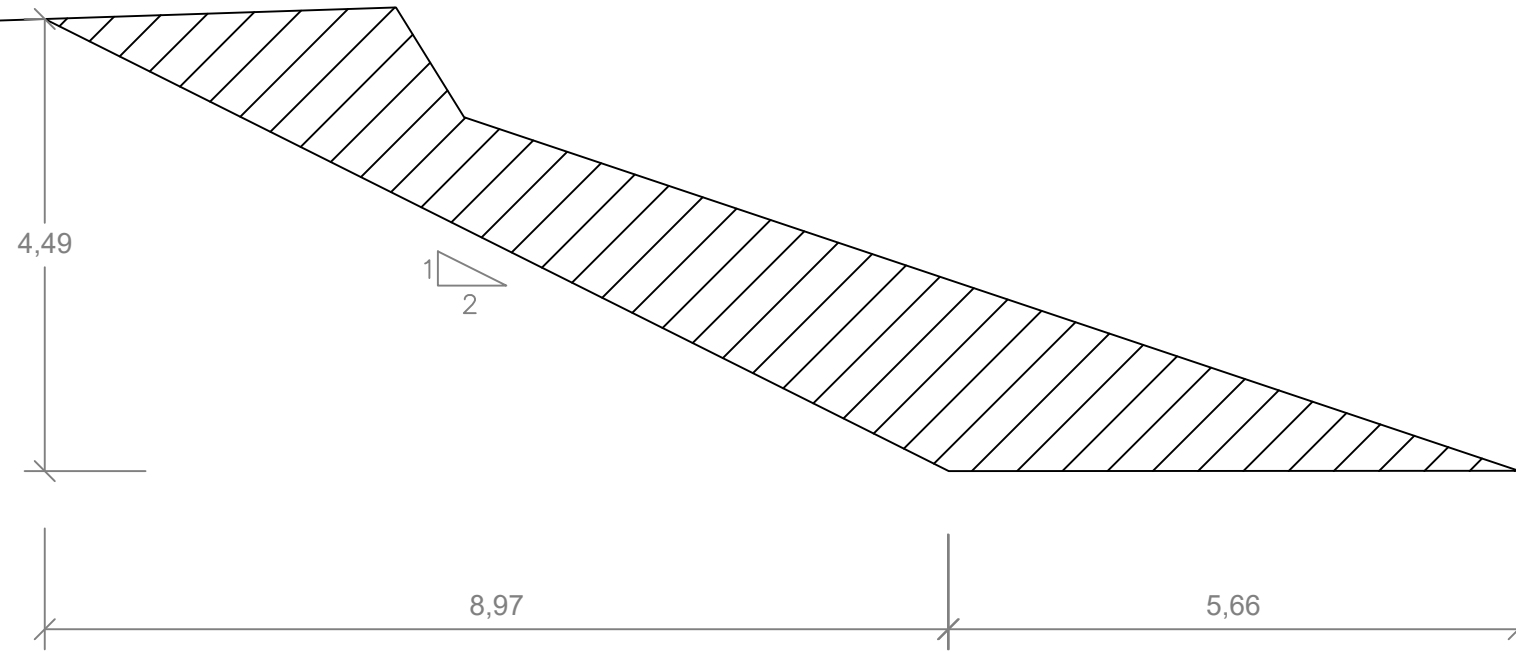
ESCALA: INDICADA FOLHA: 7/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

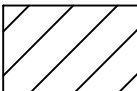
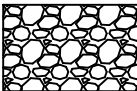
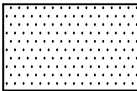


ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 3+500

ESCALA: 1:75  
(m)



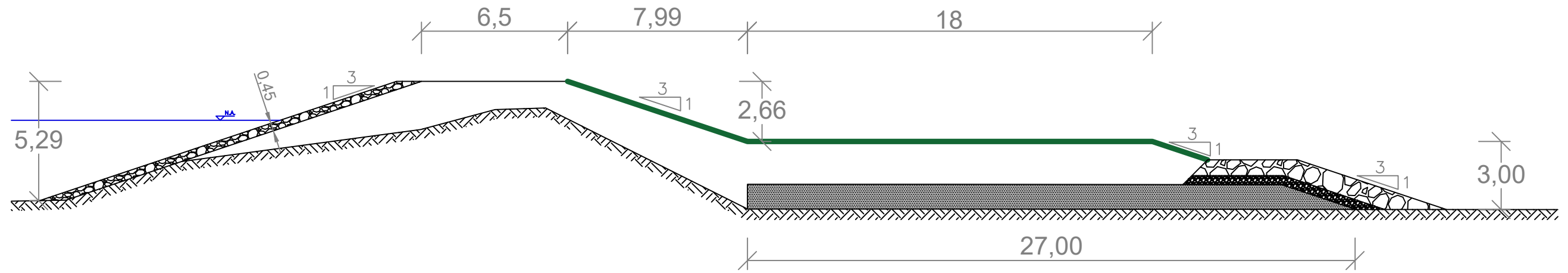
LEGENDA:

-  ÁREA DE CORTE
-  ENROCAMENTO (RIPRAP)
-  FILTRO (AREIA MÉDIA)
-  PEDRISCO\*
-  ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*
-  ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 3+500

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 3+500

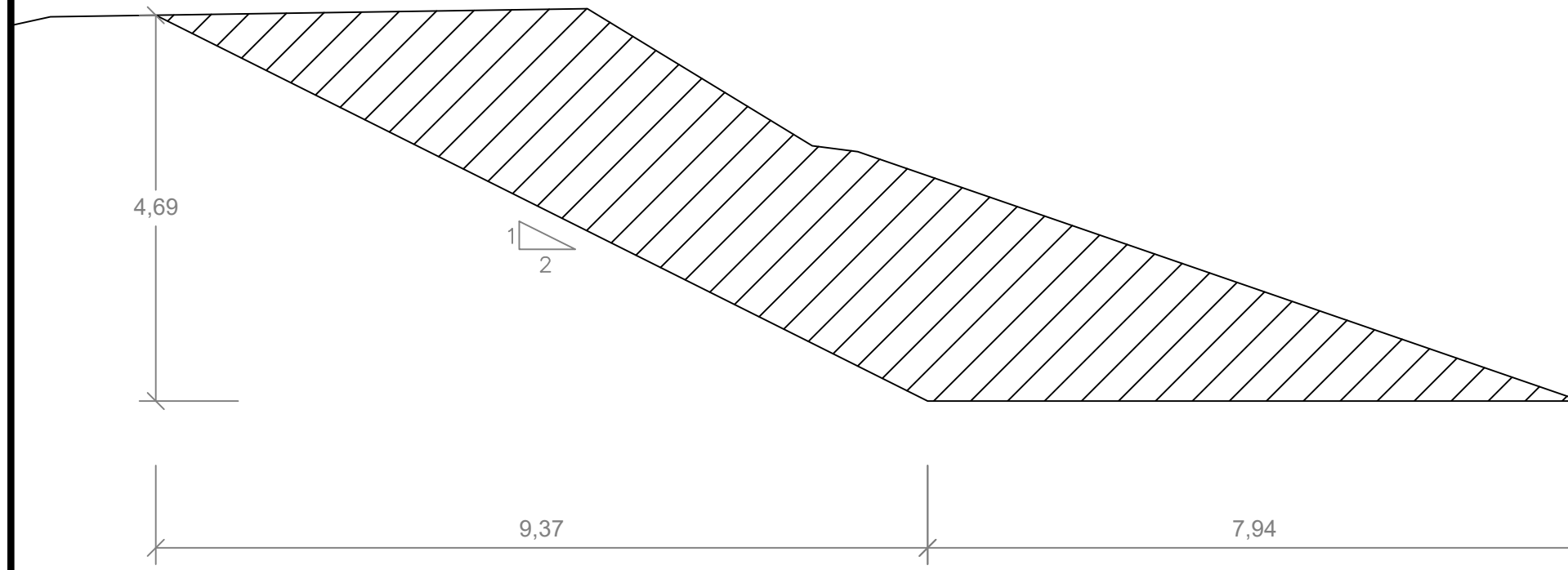
ESCALA: INDICADA FOLHA: 8/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

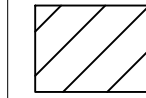
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 4+000

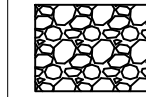
ESCALA: 1:75  
(m)



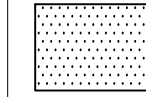
LEGENDA:



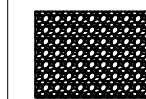
ÁREA DE CORTE



ENROCAMENTO (RIPRAP)



FILTRO (AREIA MÉDIA)



PEDRISCO\*



ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*

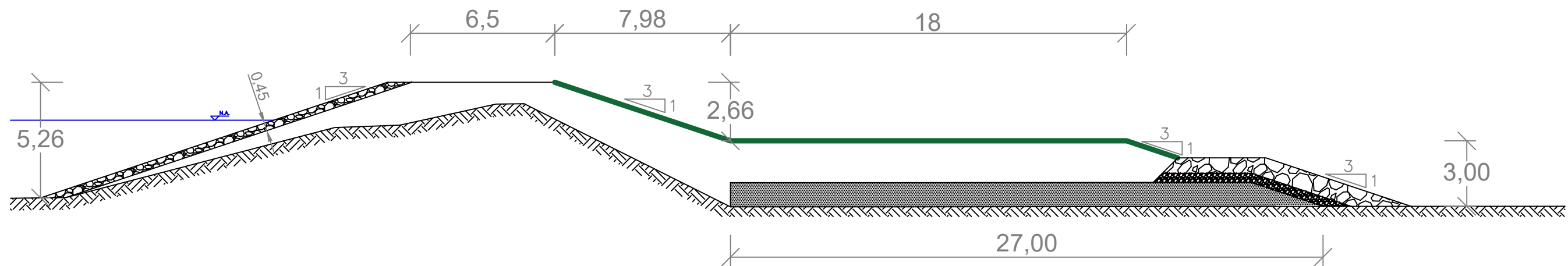


ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 4+000

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 4+000

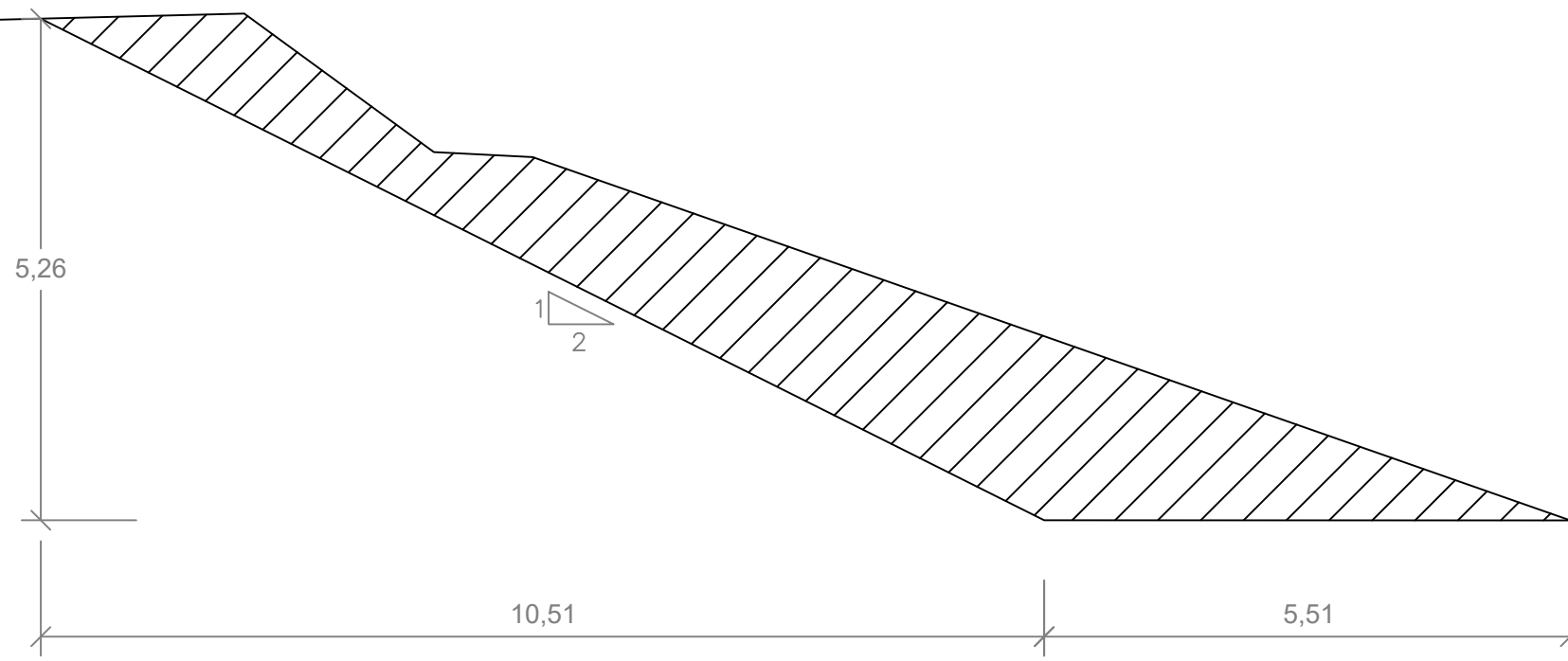
ESCALA: INDICADA FOLHA: 9/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

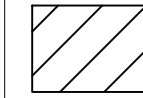
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 4+500

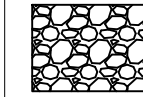
ESCALA: 1:75  
(m)



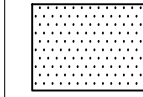
LEGENDA:



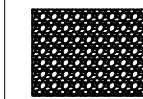
ÁREA DE CORTE



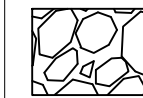
ENROCAMENTO (RIPRAP)



FILTRO (AREIA MÉDIA)



PEDRISCO\*



ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*

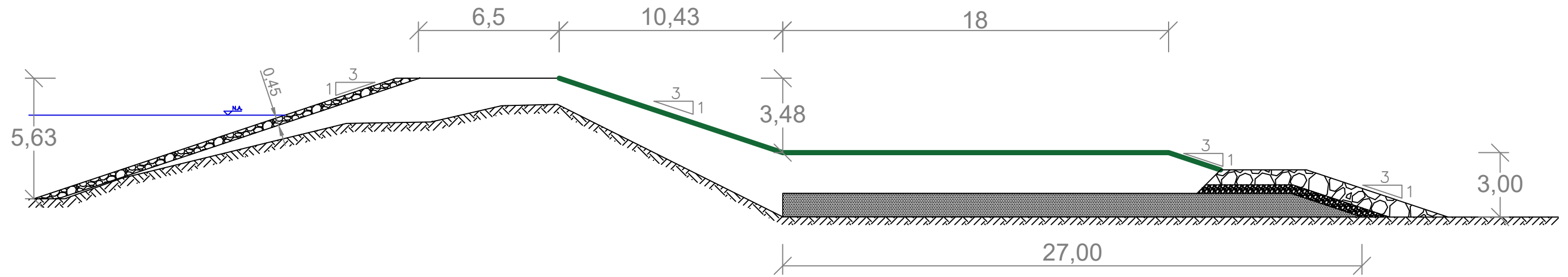


ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 4+500

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 4+500

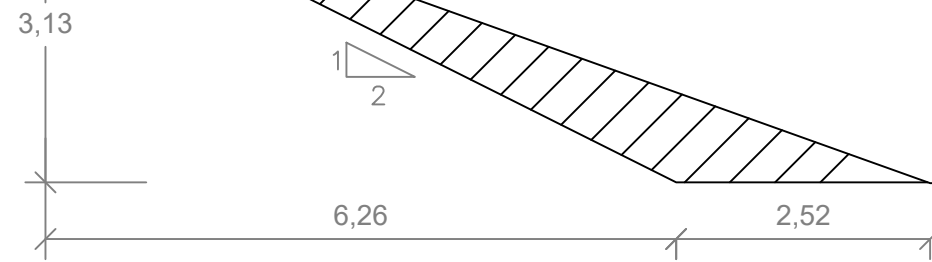
ESCALA: INDICADA FOLHA: 10/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

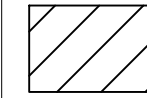
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 5+000

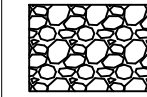
ESCALA: 1:75  
(m)



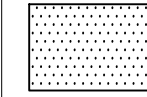
LEGENDA:



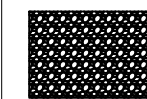
ÁREA DE CORTE



ENROCAMENTO (RIPRAP)



FILTRO (AREIA MÉDIA)



PEDRISCO\*



ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*

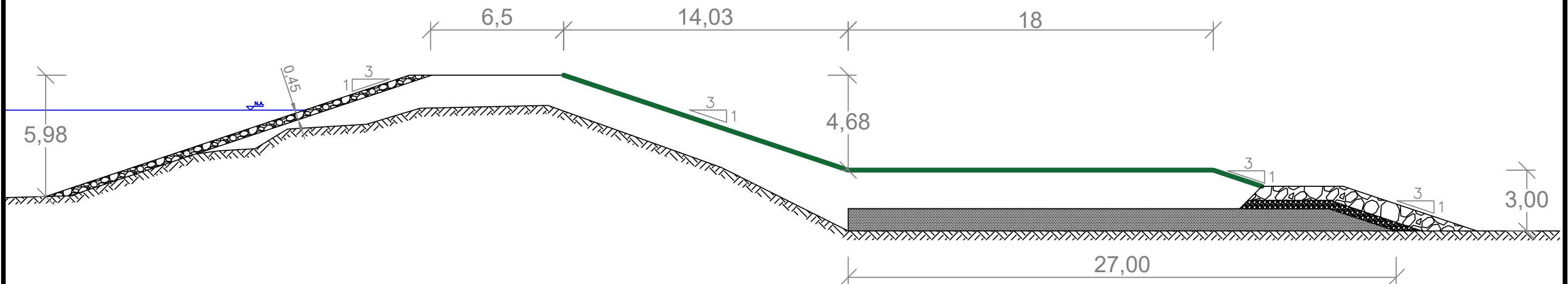


ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 5+000

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 5+000

ESCALA: INDICADA FOLHA: 11/16

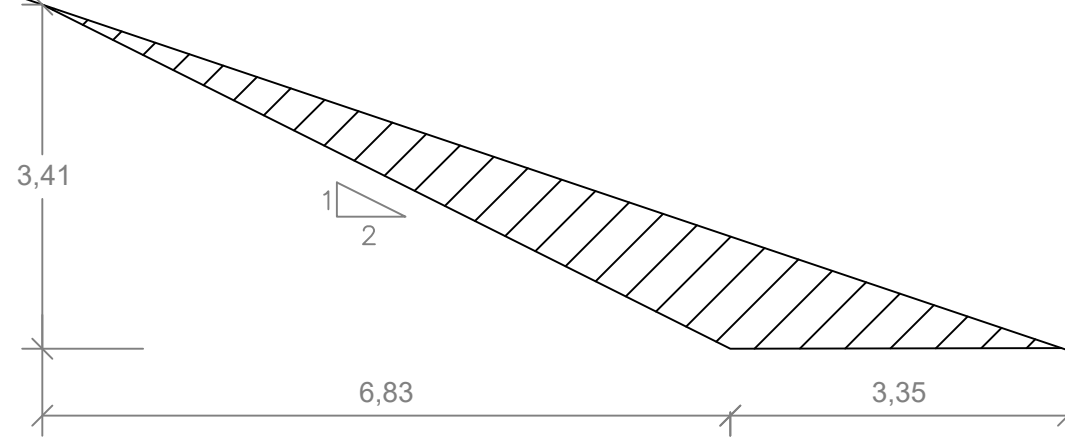
CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

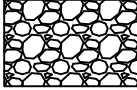
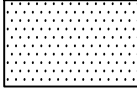



SEÇÃO CORTE 5+500

ESCALA: 1:75  
(m)



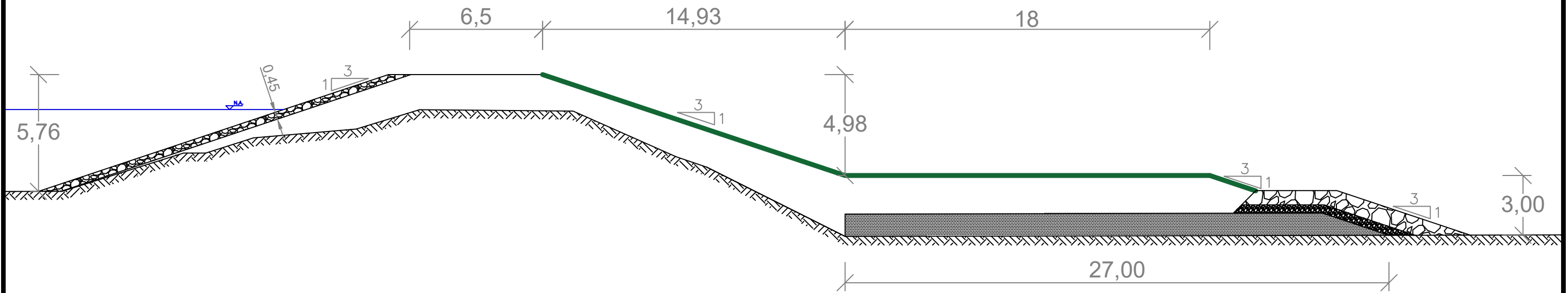
LEGENDA:

-  ÁREA DE CORTE
-  ENROCAMENTO (RIPRAP)
-  FILTRO (AREIA MÉDIA)
-  PEDRISCO\*
-  ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*
-  ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 5+500

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 5+500

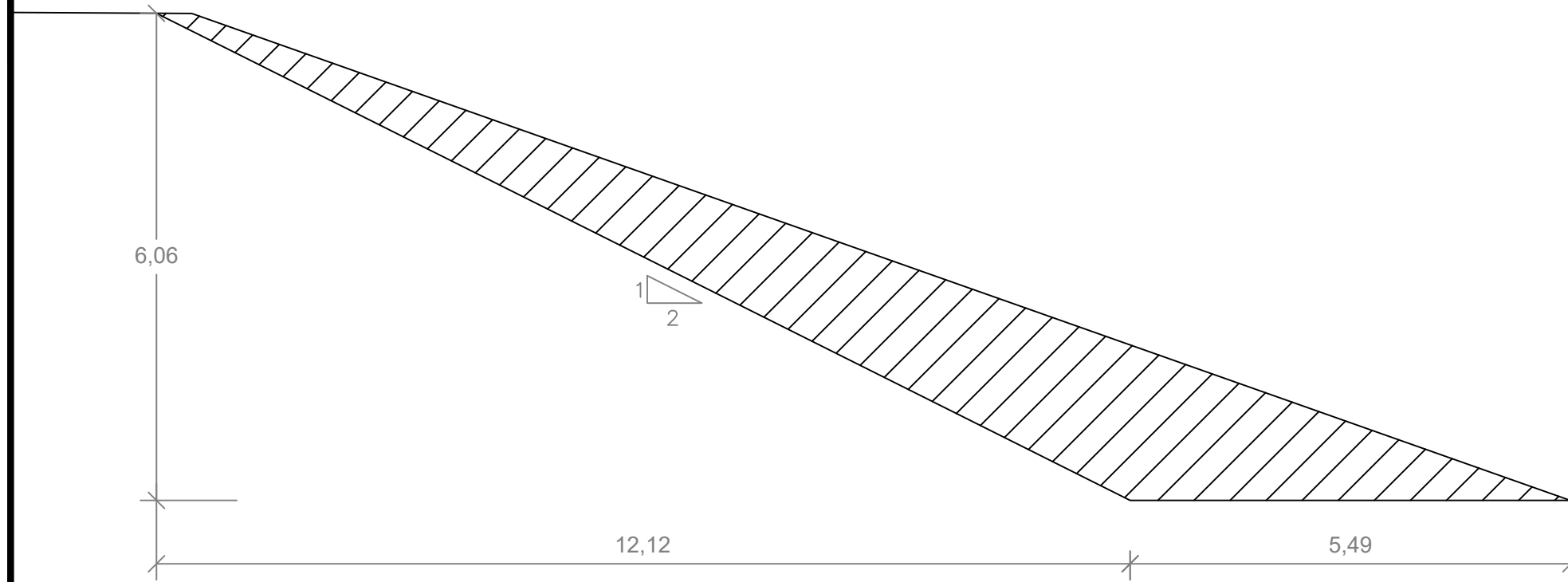
ESCALA: INDICADA FOLHA: 12/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

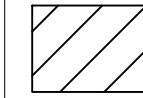
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 6+000

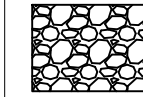
ESCALA: 1:75  
(m)



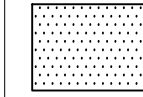
LEGENDA:



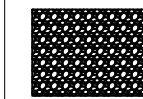
ÁREA DE CORTE



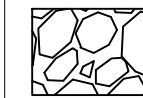
ENROCAMENTO (RIPRAP)



FILTRO (AREIA MÉDIA)



PEDRISCO\*



ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*

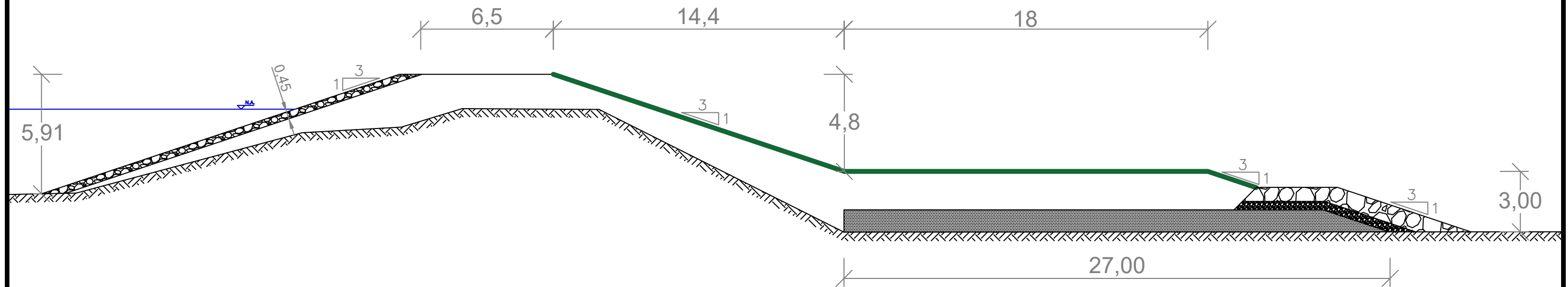


ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 6+000

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 6+000

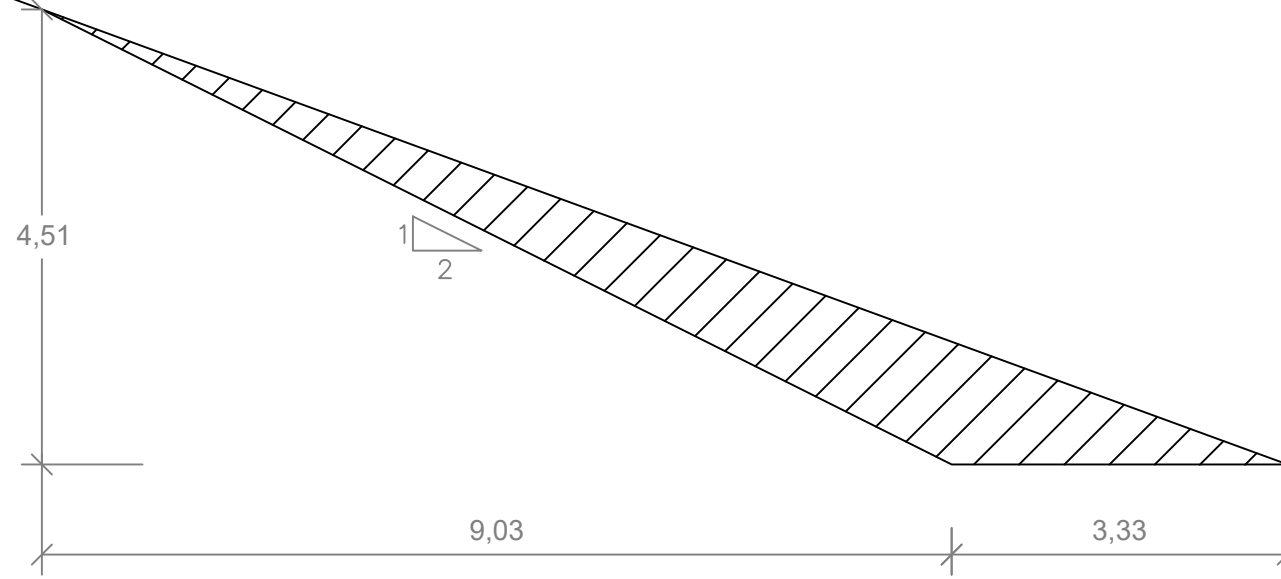
ESCALA: INDICADA FOLHA: 13/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL


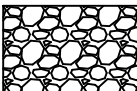
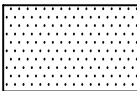
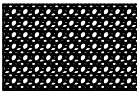

ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 6+500

ESCALA: 1:75  
(m)



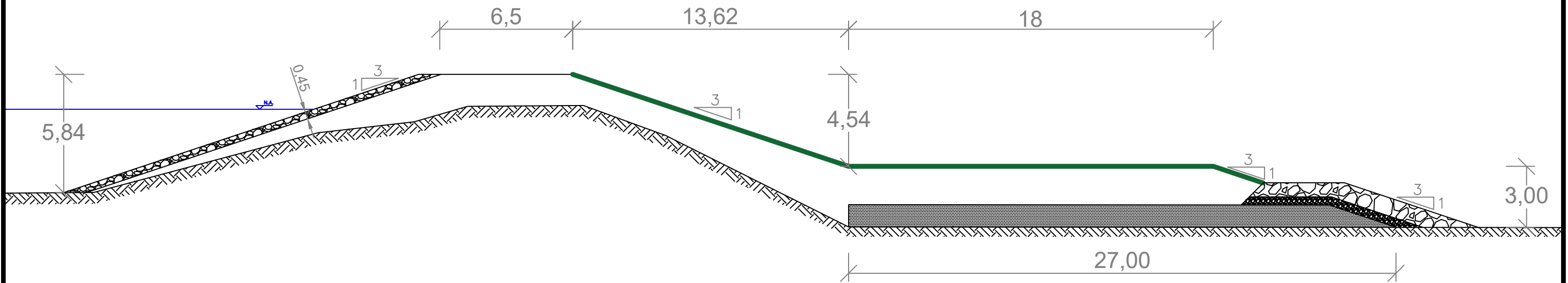
LEGENDA:

-  ÁREA DE CORTE
-  ENROCAMENTO (RIPRAP)
-  FILTRO (AREIA MÉDIA)
-  PEDRISCO\*
-  ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*
-  ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 6+500

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 6+500

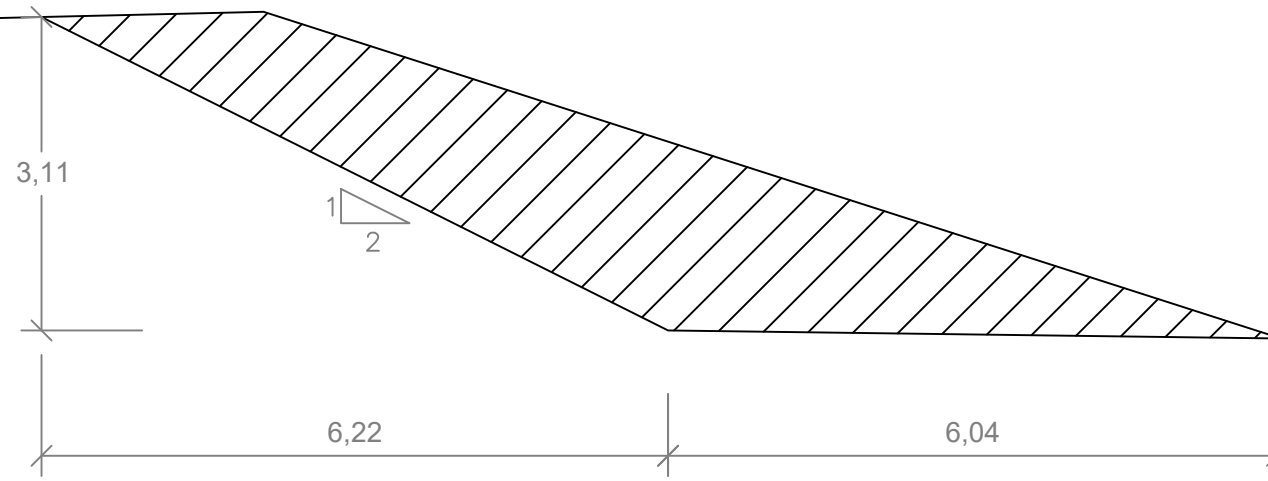
ESCALA: INDICADA FOLHA: 13/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

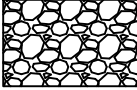
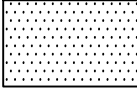
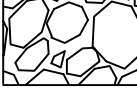

ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021

SEÇÃO CORTE 7+000

ESCALA: 1:75  
(m)



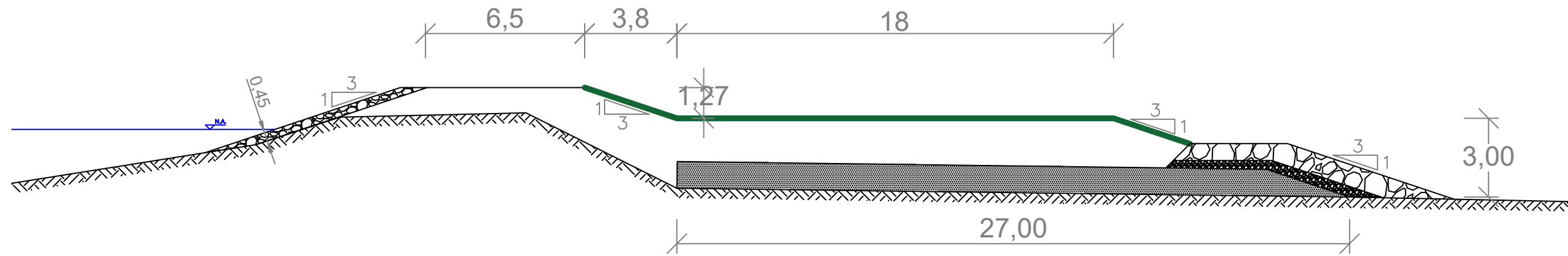
LEGENDA:

-  ÁREA DE CORTE
-  ENROCAMENTO (RIPRAP)
-  FILTRO (AREIA MÉDIA)
-  PEDRISCO\*
-  ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)\*
-  ENLEIVAMENTO

\*Dreno de pé detalhado na prancha 16/16

SEÇÃO TRANSVERSAL 7+000

ESCALA: 1:200  
(m)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: SEÇÕES DE CORTE E TRANSVERSAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO CORTE E TRANSVERSAL - SEÇÃO 7+000

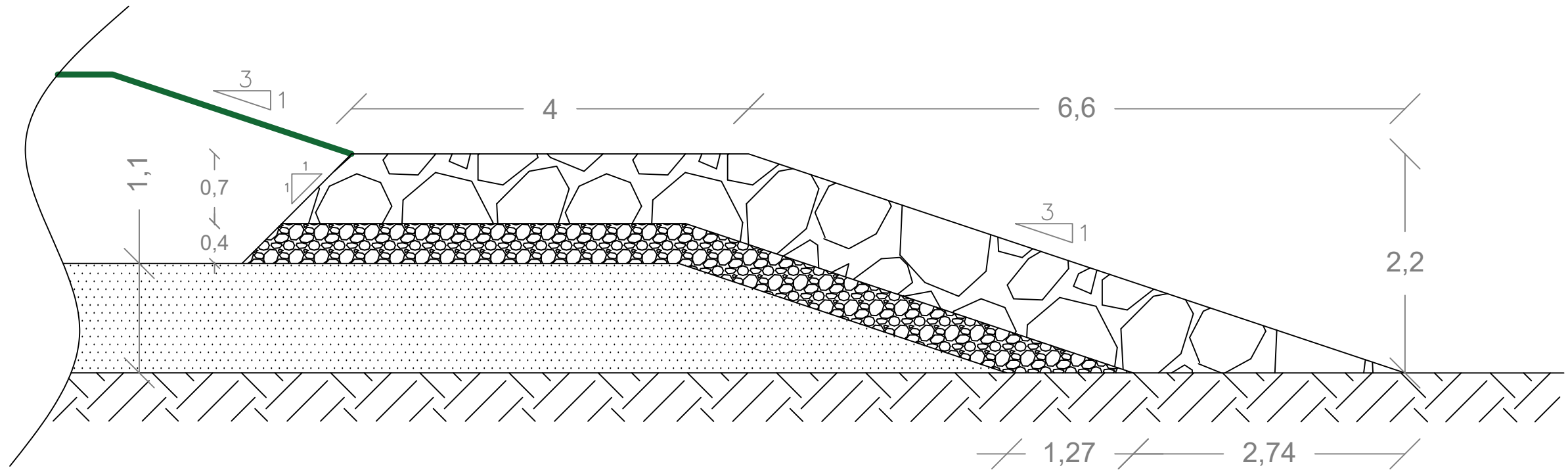
ESCALA: INDICADA FOLHA: 15/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

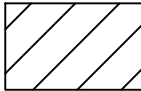
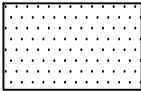


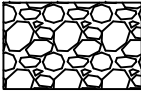
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021


DETALHAMENTO - DRENO DE PÉ

ESCALA: 1:50  
(m)



LEGENDA:

-  ÁREA DE CORTE
-  FILTRO (AREIA MÉDIA)
-  ENLEIVAMENTO
-  ENROCAMENTO (PEDRA DE MÃO)
-  PEDRISCO

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA

TÍTULO: DETALHAMENTO - DRENO DE PÉ

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Roger Simon da Silva

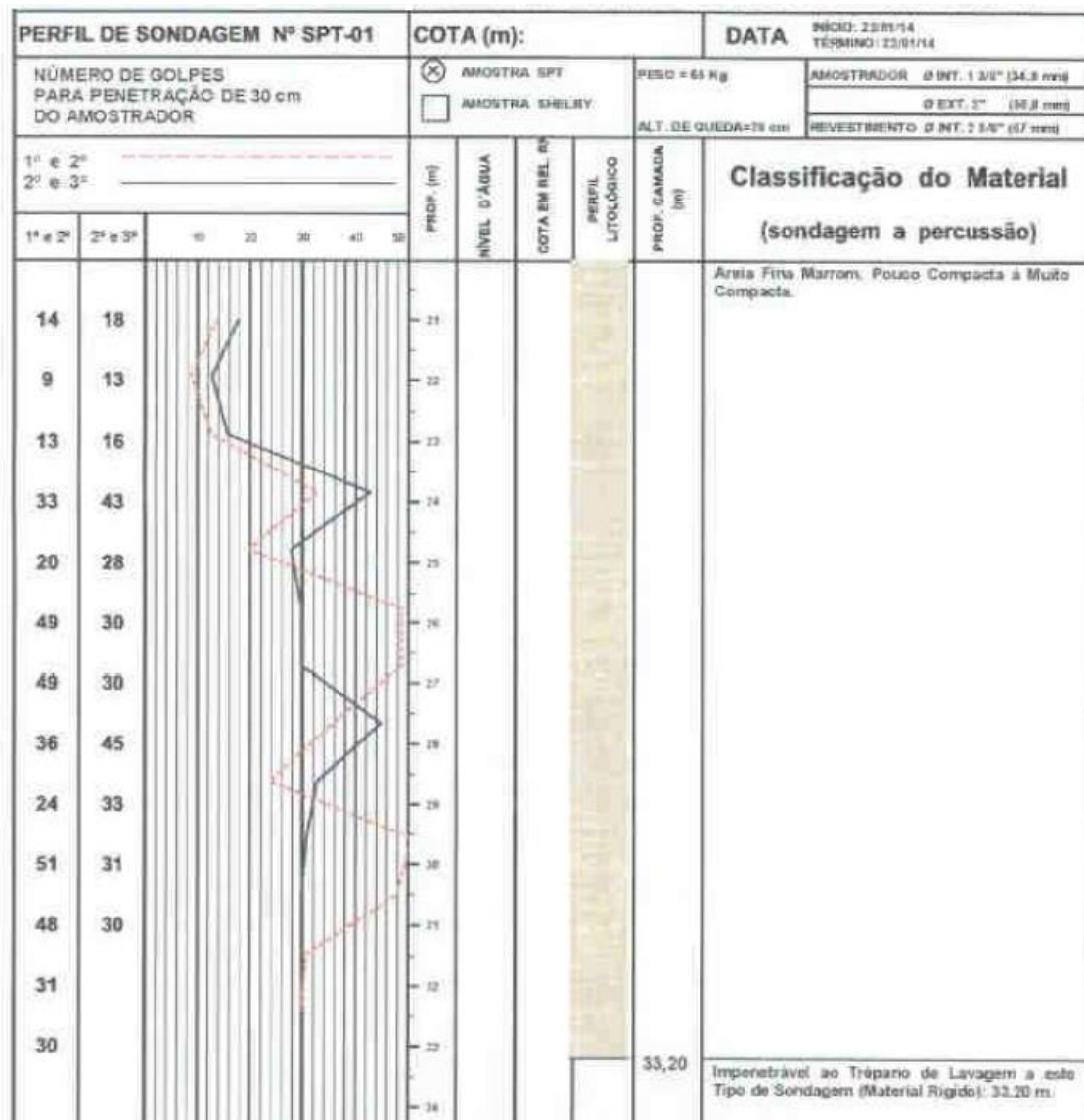
DESCRIÇÃO: DETALHAMENTO TRANSVERSAL DO DRENO DE PÉ

ESCALA: INDICADA FOLHA: 16/16

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

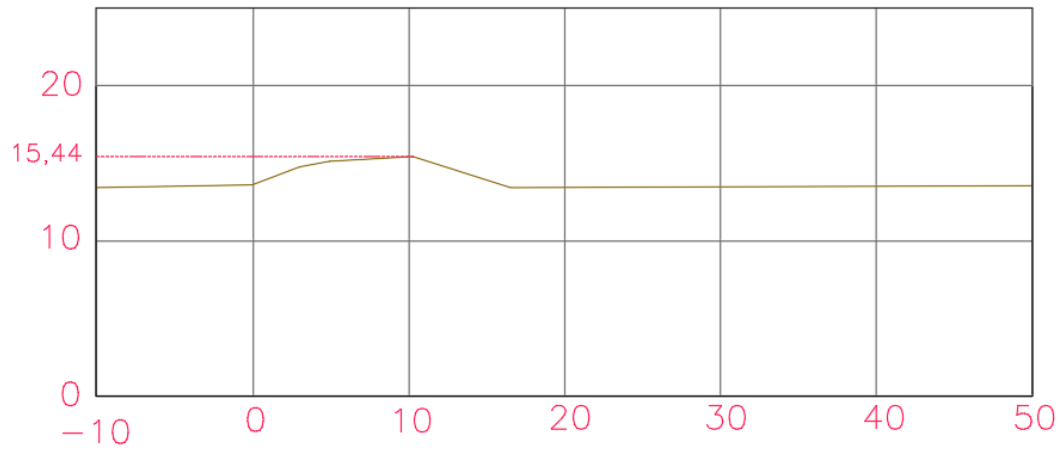
ORIENTADOR: Cesar Alberto Ruver DATA: 14/05/2021



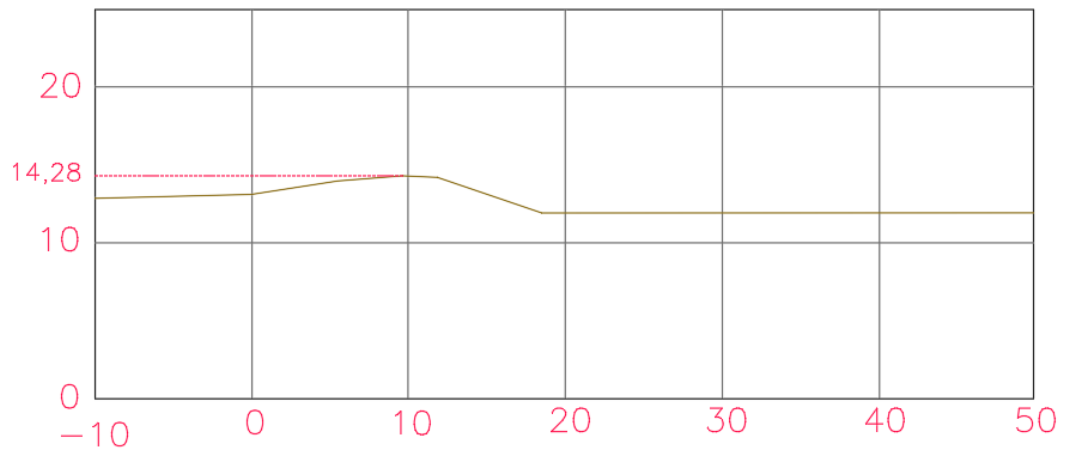


A seguir temos as seções transversais do barramento original realizadas no local e espaçadas a cada 500 metros. As seções apresentadas foram digitalizadas utilizando o AUTOCAD 2019 versão estudante:

0 + 020,00

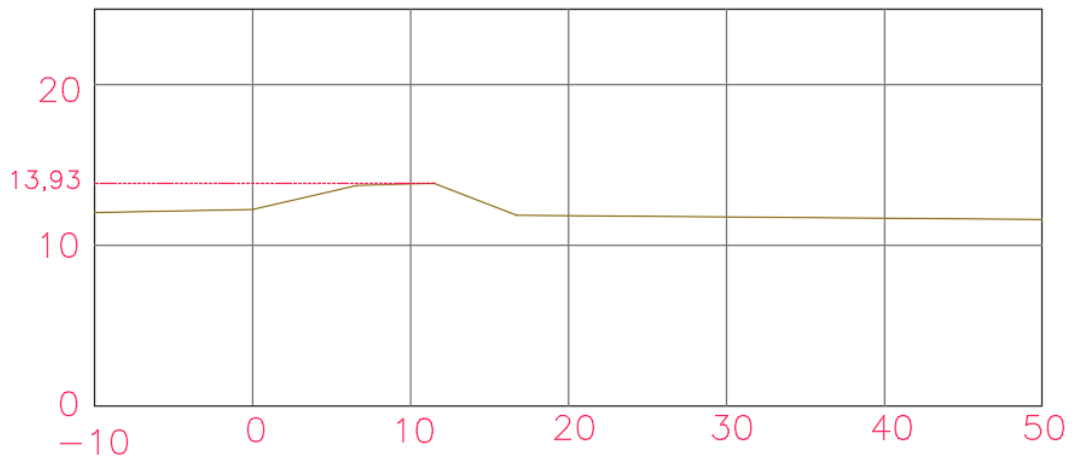


0 + 500,00

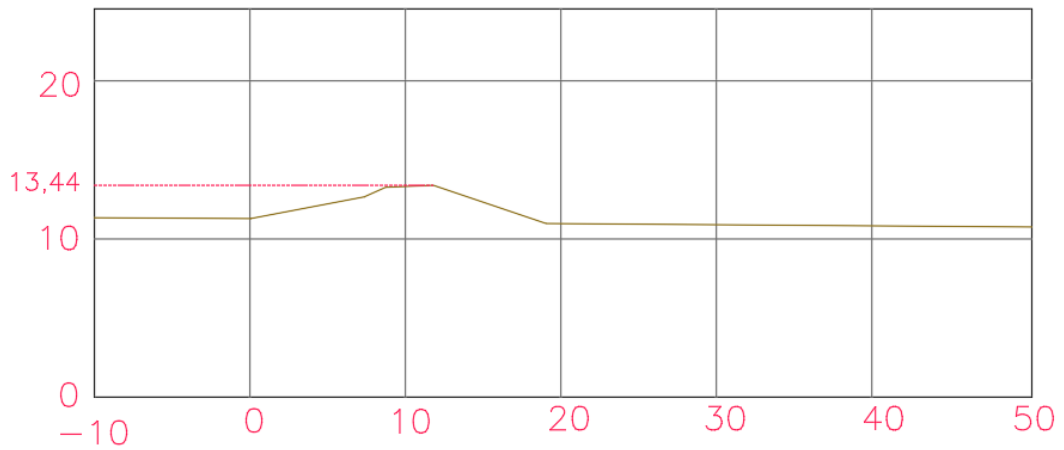




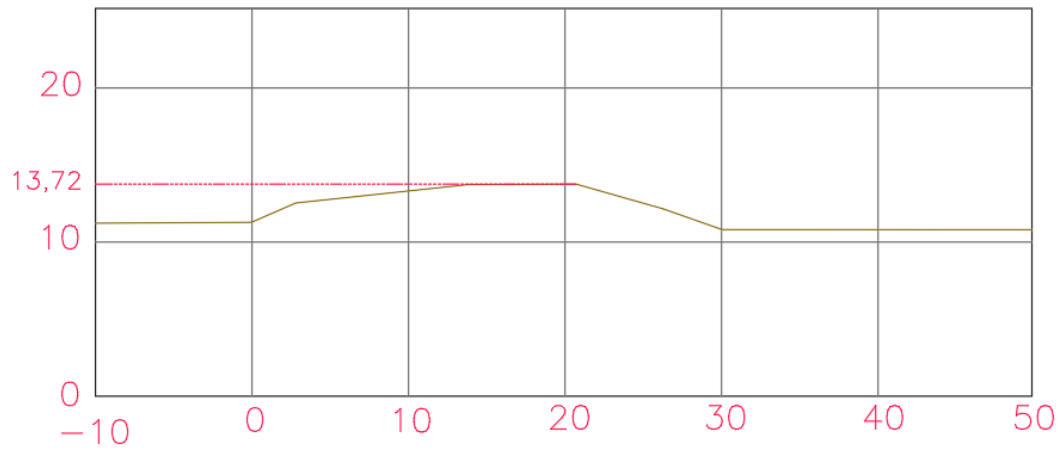
1 + 000,00



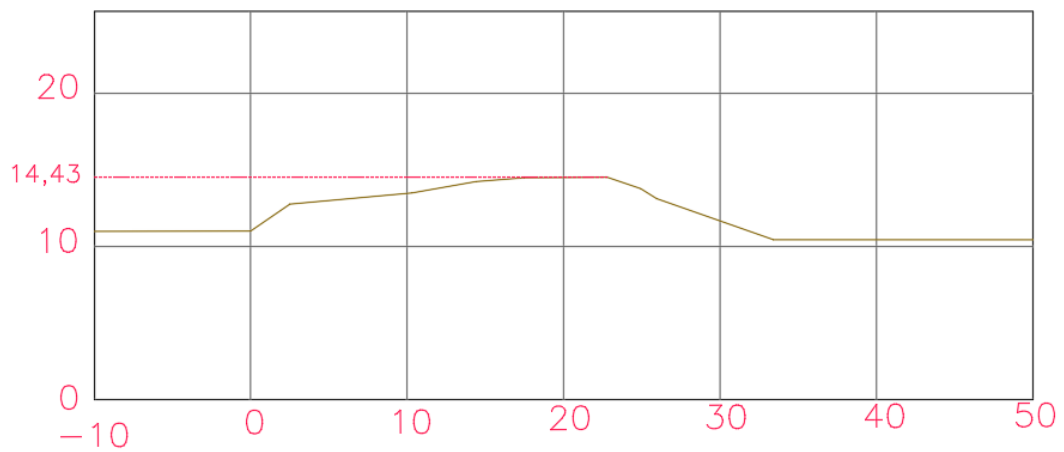
1 + 500,00



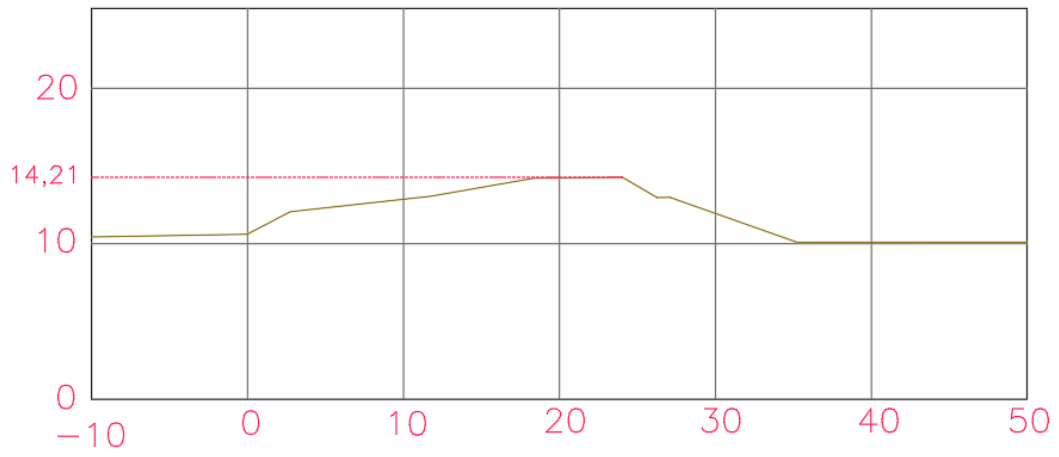
2+000,00



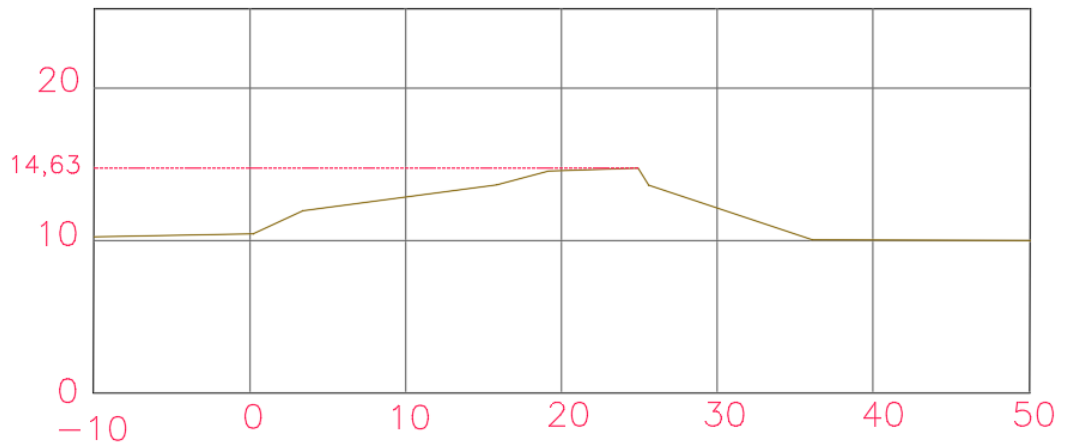
2+500,00



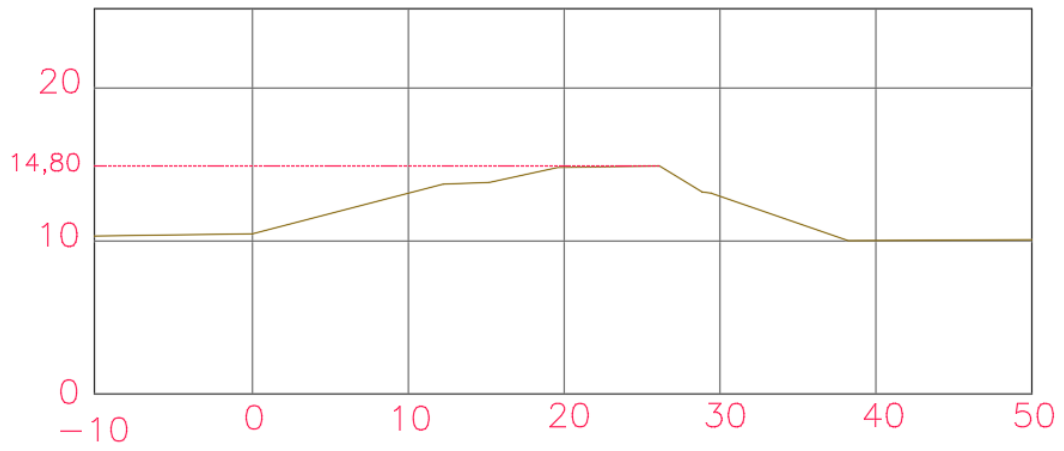
3+000,00



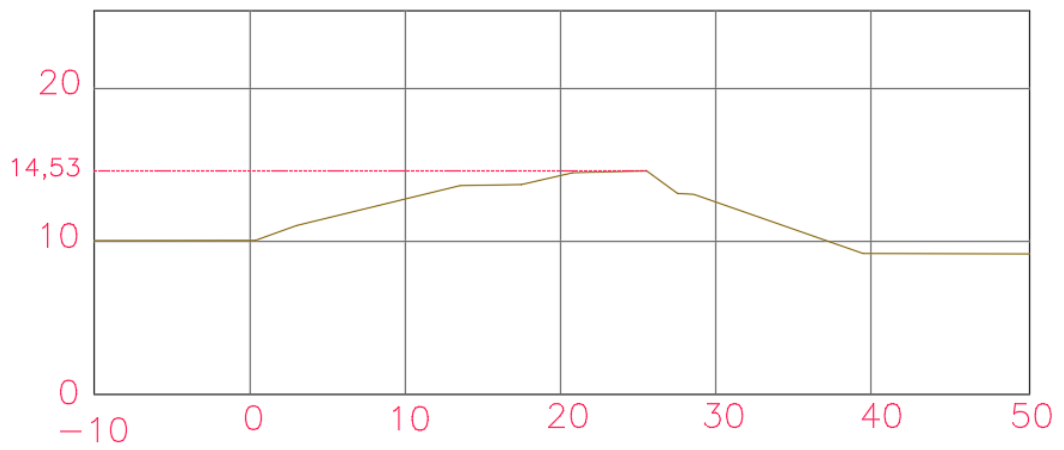
3+500,00



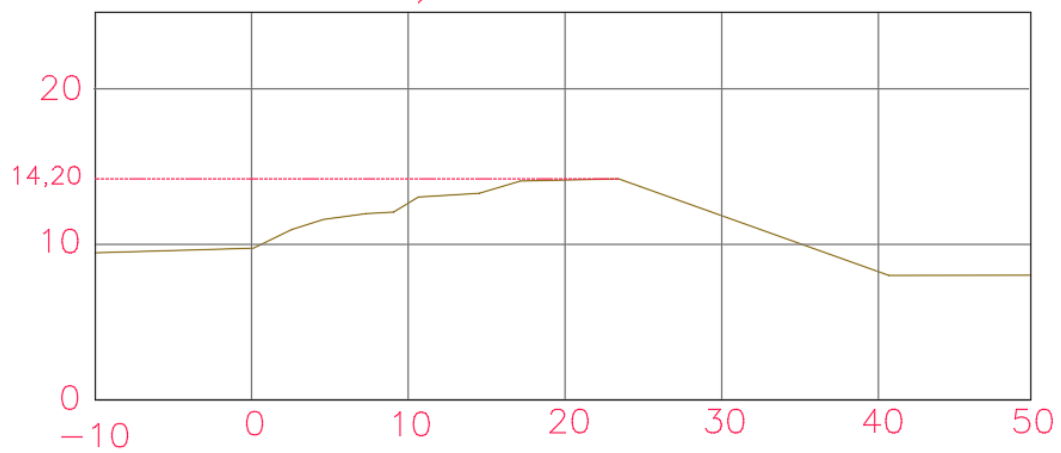
$$4 + 000,00$$



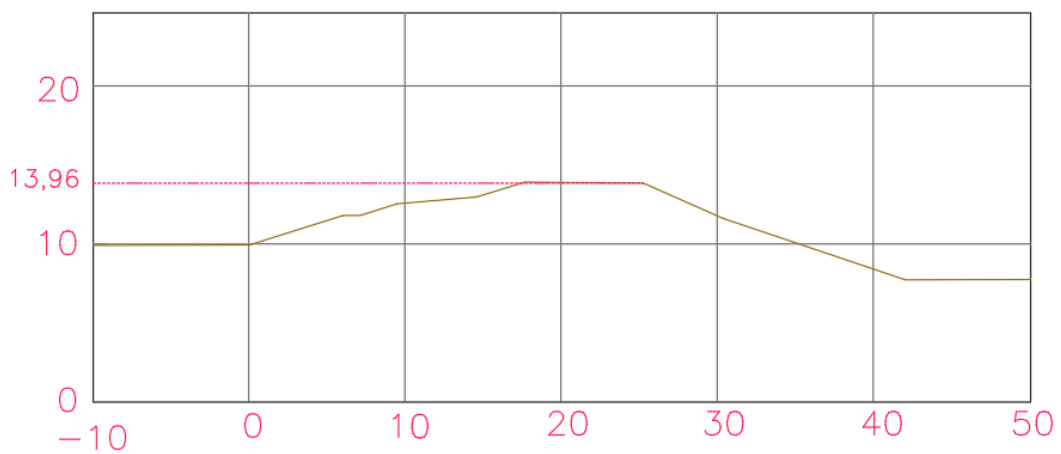
$$4 + 500,00$$



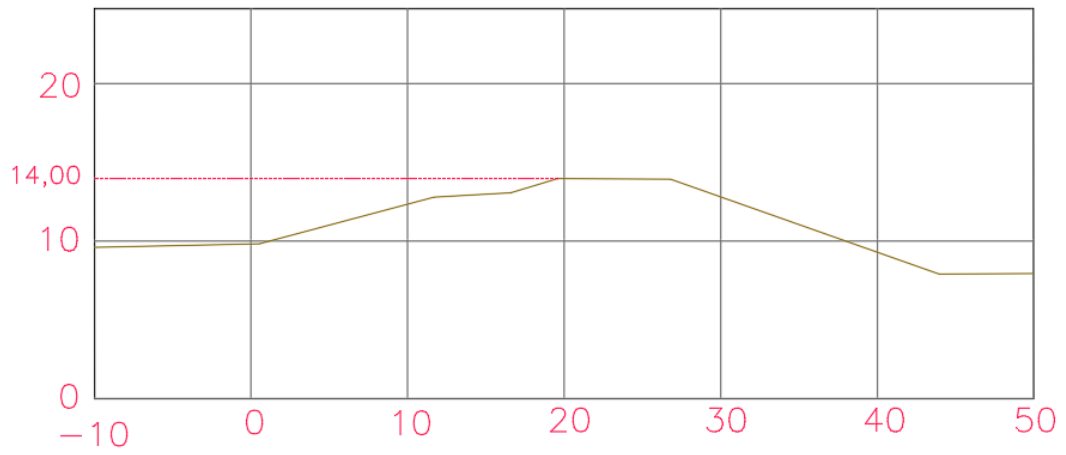
5 + 000,00



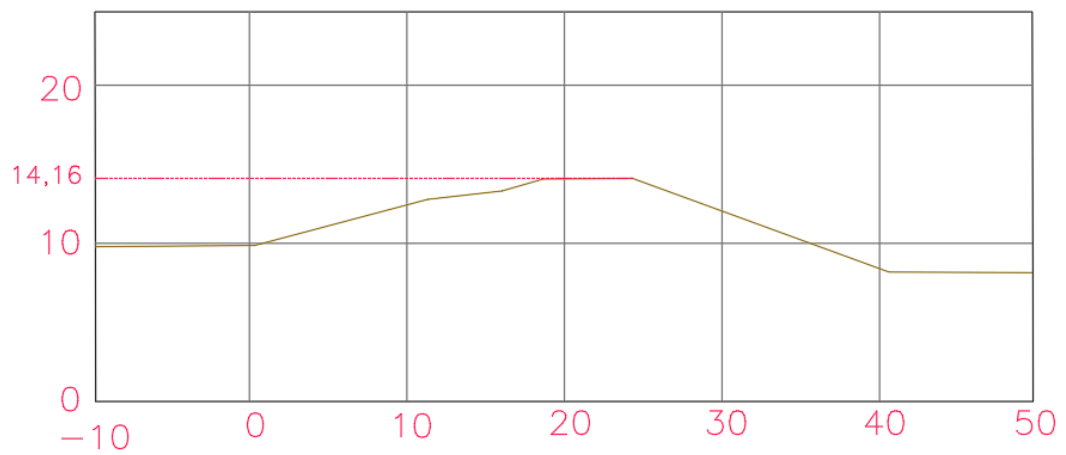
5 + 500,00



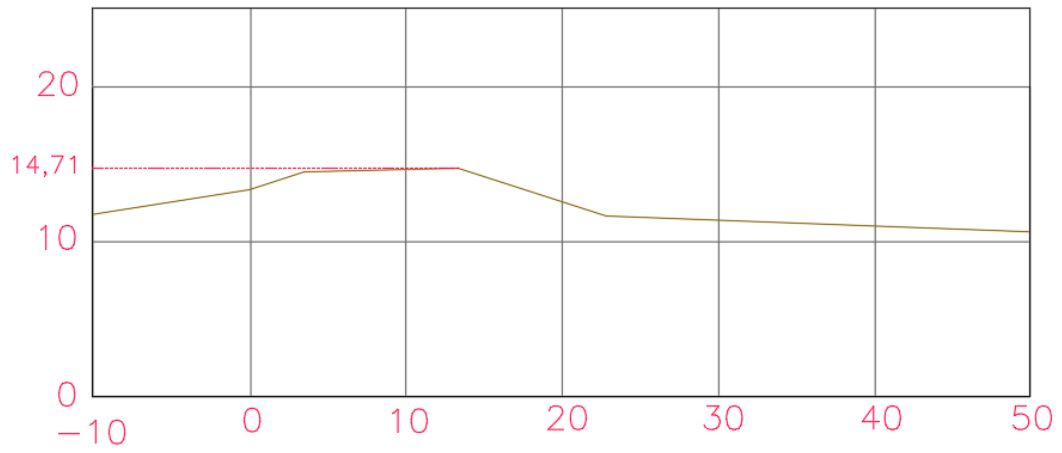
6 + 000,00



6 + 500,00



7+000,00



A seguir é apresentado o projeto original do barramento. Os selos foram ocultos para preservação das entidades envolvidas:

Os principais dados que caracterizam a obra em estudo, são:

a) Dados do Vertedor:

- Largura: 600 metros
- Altura: 1,75 metros.
- Vazão máxima: 152,64 m<sup>3</sup> para uma altura de lâmina de 31 centímetros.

b) Dados do Canal de Fuga

- Largura: 8,50 metros
- Altura: 1,5 metros
- Comprimento do canal: 7.300 metros
- Declividade dos taludes: 1:1,5

c) Largura da Crista: 6,50

d) Orla de segurança: 1,45 metros

e) Altura da Barragem: 5,25 metros

f) Desenvolvimento da Barragem: 7.120 metros

g) Inclinação dos Taludes:

MONTANTE: 1:3

JUSANTE: 1:2

O talude de JUSANTE foi executado mantendo inicialmente , em 10 metros um talude de 1:20 e depois o talude de 1:2.

- h) Características da Tomada de Água: As tomadas d'água são feitas por meio de tubos de 80 cm de diâmetro reduzindo na comporta para 50 cm.
- i) Descrição do Filtro: O filtro executado é do tipo TAPETE com 30 cm de espessura.
- j) Tipo de proteção do talude de montante: Revestimento em pedras irregulares, na espessura de 35 cm.
- k) Características do Maciço e do Reservatório:
- Volume de água a reservar: 9.490.880 m<sup>3</sup> na cota do vertedor (99,5 m).
  - Volume de aterro: 969.182,72 m<sup>3</sup>

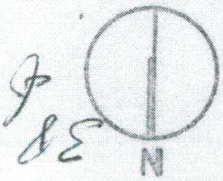
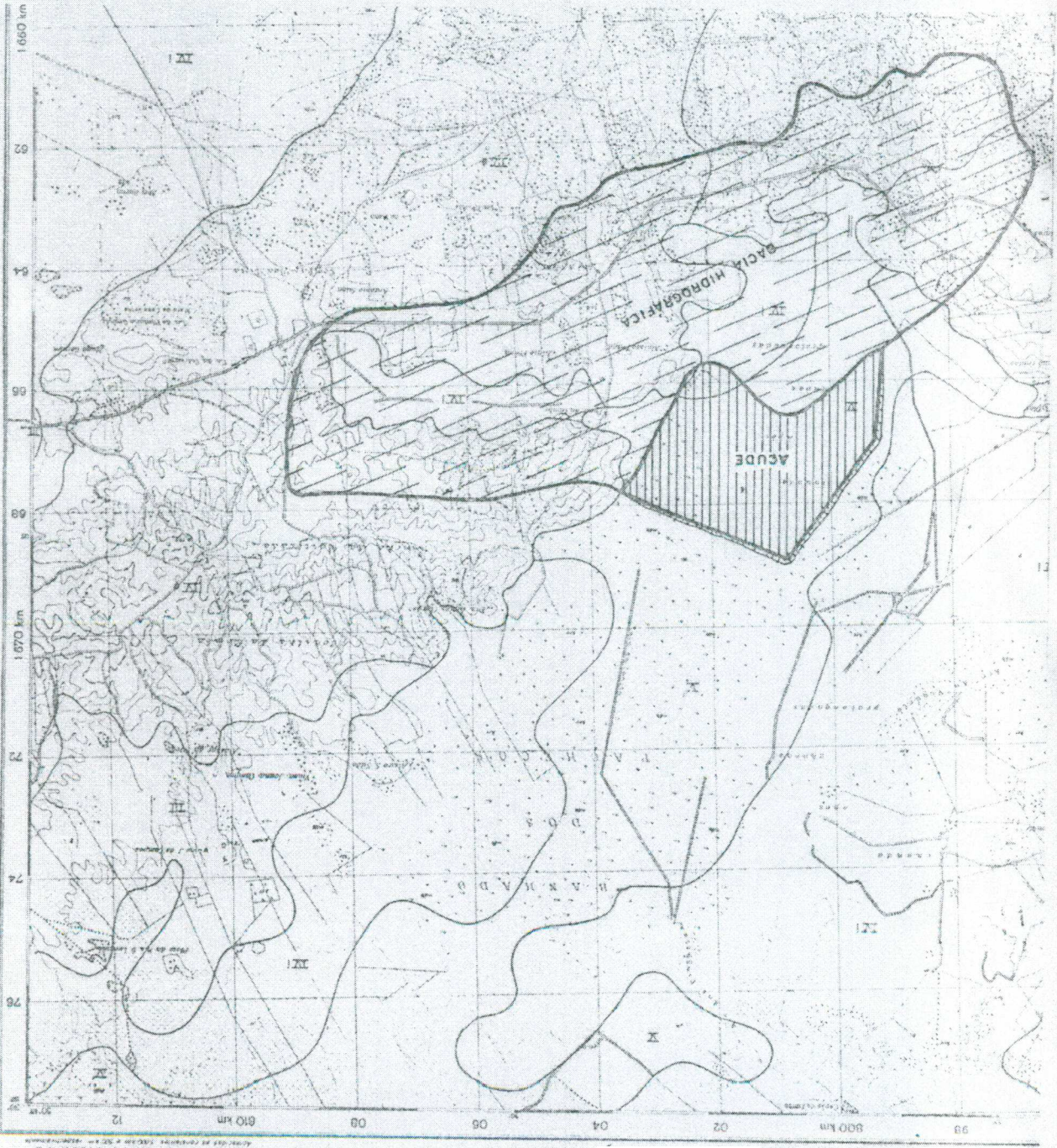


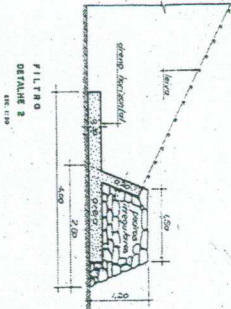
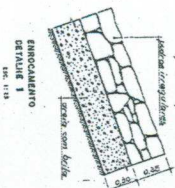
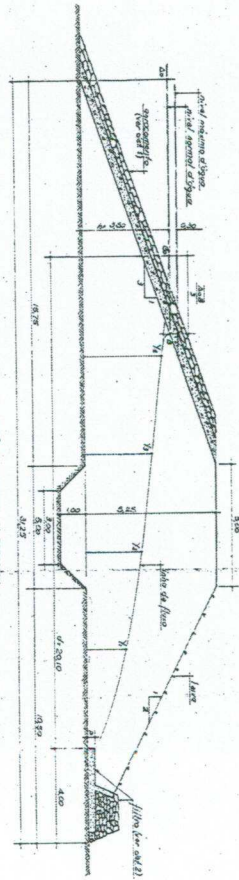
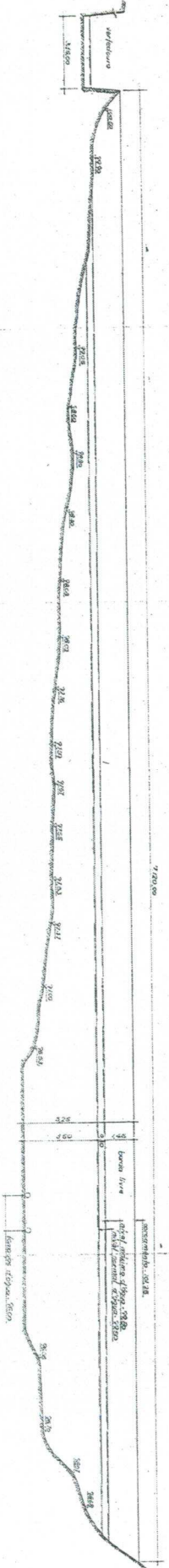
- Área da Bacia de contribuição: 7791,40 hectares.

1) Fotografias:

DEMONSTRATIVO DAS ÁREAS E VOLUMES						
COTAS m	ÁREAS m <sup>2</sup>	SEMI-SOMA DAS ÁREAS m <sup>2</sup>	V O L U M E S		ÁREA A IRRIGAR (20.000 m <sup>3</sup> /99)	
			PARCIAIS m <sup>3</sup>	TOTAIS m <sup>3</sup>		
96,00	915.000	-	-	-	-	
97,00	3.175.000	2.045.000	2.045.000	2.045.000	102,25	
98,00	5.164.000	4.169.500	4.169.500	6.214.500	310,73	
99,00	7.143.000	6.153.500	6.153.500	12.368.000	618,40	
99,50	8.496.000	7.819.500	3.909.750	16.277.750	813,89	
99,80	9.120.000	8.808.000	2.642.400	18.920.150	-	

MOVIMENTO DE TERRA DA BARRAGEM						
COTAS m	COMP. m	LARG. m	ÁREAS m <sup>2</sup>	SEMI-SOMA DAS ÁREAS m <sup>2</sup>	V O L U M E S	
					PARCIAIS m <sup>3</sup>	TOTAIS m <sup>3</sup>
96,00	1.300	31,25	40.625	-	-	-
97,00	2.180	26,25	57.225	48.925	48.925	48.925
98,00	4.030	21,25	85.637	71.431	71.431	120.356
99,00	5.660	16,25	91.975	88.806	88.806	209.162
100,00	6.870	11,25	77.287	84.631	84.631	293.793
101,25	7.120	5,00	35.600	56.443	70.554	364.347





**DIAGRAMA DAS CAPACIDADES**

TIPO	USO	VOLUME
TOTAL	1	14.227,200
	2	8.329,400
	3	1.200,000
TOTAL	4	71,400
	5	75,000

1cm = 20000m³

