

**RICARDO ROSSATO ABREU**

**DIMENSIONAMENTO E ACOMPANHAMENTO EXECUTIVO DE UMA  
BARRAGEM DE TERRA PARA IRRIGAÇÃO – UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: M. Sc. Jaelson Budny

**Alegrete**

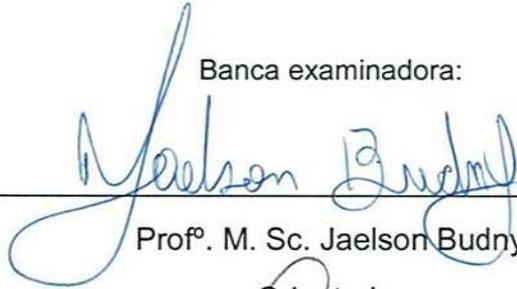
**2015**

**DIMENSIONAMENTO E ACOMPANHAMENTO EXECUTIVO DE UMA  
BARRAGEM DE TERRA PARA IRRIGAÇÃO – UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30/11/2015

Banca examinadora:

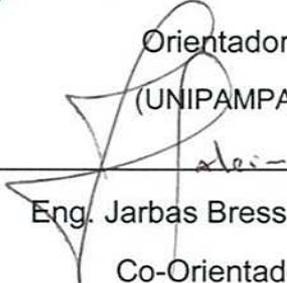


---

Prof<sup>o</sup>. M. Sc. Jaelson Budny

Orientador

(UNIPAMPA)

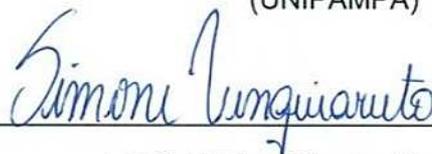


---

Eng. Jarbas Bressa Dalcin

Co-Orientador

(UNIPAMPA)



---

Prof<sup>o</sup>. M.Eng. Simone Venquiaruto

(UNIPAMPA)



---

Prof<sup>o</sup> M.Eng. Rodrigo Klamt

(UNIPAMPA)

## AGRADECIMENTOS

O primeiro e mais importante agradecimento vai a minha família, pessoas que sempre estiveram ao meu lado nos momentos que mais precisei, em nome da família falo em meu pai Jorge Renato de Campos Abreu e minha mãe Maria Angélica Rossato, meu muito obrigado, por todos os esforços que fizeram para que hoje eu possa estar a um passo da grande realização do meu sonho, ser Engenheiro Civil, saibam que sem vocês não sou e não serei ninguém na vida.

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho e proporcionar os 5 anos mais felizes e bem vividos da minha vida, fazendo amizades e absorvendo conhecimentos que irão durar para a vida inteira.

A minha namorada Gabriela Bonotto que mesmo tendo acompanhado apenas o final da graduação me deu muita força e esteve sempre ao meu lado, mesmo que de longe, dando motivação, apoio, e aquele carinho que conforta o coração e acalma a alma. Te amo muito.

Aos meus irmãos de coração, Arinaldo Carvalho (Pará), Paulo Cima e Jeferson Resende, que desde o início estiveram ao meu lado e hoje vivem comigo essa realização, que no início parecia tão distante, mas hoje percebemos que esta muito mais perto do que imaginamos.

A faculdade, que proporcionou um ensino de qualidade com professores capacitados para que pudesse me transformar em um profissional capaz de suprir as necessidades do mercado de trabalho.

Ao meu professor orientador M. Sc Jaelson Budny, que em momento algum poupou esforços para me auxiliar e suprir dúvidas que eventualmente iriam surgindo no caminho da realização deste trabalho.

Às bancas avaliadoras dos meus trabalhos de conclusão de curso 1 e 2, obrigado Jarbas Dalcin, Magnos Baroni, Rodrigo Klamt e Simone Venquiaruto.

Ao proprietário da Estância Recreio Sr Décio Prates da Silveira, que nos cedeu seu estabelecimento para que este estudo fosse realizado e sempre incentivou a presença da instituição na execução da barragem.

Enfim, meu muito obrigado a todas as pessoas que cruzaram meu caminho nessa jornada, nenhuma experiência foi em vão, todos vocês marcaram e muito minha passagem por Alegrete e pela Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS.....	9
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Justificativa.....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Recursos Hídricos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Região do estudo de caso - Bioma Pampa.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Barragens para Irrigação.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Tipos de Barragem.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1 Barragens não convencionais.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.2 Barragens Convencionais.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Barragem de Terra.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.1 Tipos de barragens de terra.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2 Elementos de uma barragem de terra.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6 Bacia Hidrográfica.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6.1 Tempo de Concentração.....</b>	<b>30</b>
<b>2.6.2 Intensidade de precipitação.....</b>	<b>30</b>
<b>2.6.3 Estimativa da Vazão de projeto.....</b>	<b>31</b>
<b>2.6.4 Produção Hídrica da Bacia.....</b>	<b>31</b>
<b>2.7 Irrigação.....</b>	<b>31</b>
<b>2.8 Estabilidade de taludes.....</b>	<b>34</b>
<b>2.8.1 Método de Fellenius.....</b>	<b>34</b>
<b>2.8.2 Método de Bishop simplificado.....</b>	<b>35</b>
<b>2.8.3 Software GeoSlide.....</b>	<b>36</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 Dados do projeto.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2 Dimensionamento da barragem.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.1 Cálculo de Borda Livre.....</b>	<b>43</b>

3.2.2	Orla de Segurança .....	44
3.2.3	Cálculo da Largura da Crista .....	45
3.2.4	Cálculo do Vertedouro .....	45
3.2.5	Determinação da linha de infiltração.....	47
3.3	Estabilidade de taludes.....	47
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	49
4.1	Barragem de terra .....	49
4.2	Dimensionamento da Barragem.....	52
4.2.1	Cálculo de borda livre .....	52
4.2.2	Orla de Segurança .....	52
4.2.3	Cálculo da largura da crista .....	53
4.2.4	Vertedouro .....	53
4.2.5	Linha de Infiltração.....	54
4.3	Estabilidade dos taludes do aterro .....	54
4.4	Estabilidade dos taludes do aterro sem a presença do filtro de pé e linha de infiltração presente.....	55
4.5	Estabilidade dos taludes do aterro com a presença do filtro de pé e linha de infiltração presente.....	57
5.	<b>ACERVO REFERENTE À EXECUÇÃO DA BARRAGEM</b> .....	62
6.	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	73
6.1	Conclusões .....	73
6.2	Sugestões para trabalhos futuros .....	74
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75
	<b>APÊNDICE A</b> .....	80
	<b>APÊNDICE B</b> .....	81
	<b>APÊNDICE C</b> .....	82
	<b>APÊNDICE D</b> .....	83

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Estratigrafia do local de estudo.....	17
FIGURA 2 – Barragens não convencionais.....	18
FIGURA 3 – Barragens de encorcamento.....	21
FIGURA 4 - Barragem de concreto de gravidade retilínea e em arco.....	22
FIGURA 5 - Barragem em contraforte.....	22
FIGURA 6 - Barragens mistas.....	23
FIGURA 7 - Barragem de terra construída no interior da cidade de Alegrete.....	24
FIGURA 8 - Linha de saturação terminando fora do maciço.....	26
FIGURA 9 - Linha de saturação terminando dentro do maciço.....	26
FIGURA 10 - Barragens de terra do tipo homogênea e zonada.....	27
FIGURA 11 - Elementos básicos em uma barragem de terra.....	28
FIGURA 12 - Bacia Hidrográfica.....	29
FIGURA 13 - Irrigação por superfície ou gravidade.....	32
FIGURA 14. Irrigação por bombeamento ou recalque.....	33
FIGURA 15 - Irrigação pressurizada ou sob pressão.....	33
FIGURA 16 - Composição do talude.....	34
FIGURA 17 - Análise da estabilidade de taludes com superfície curva de ruptura.....	35
FIGURA 18 – Forças atuantes.....	36
FIGURA 19 - Layout de resultados GeoSlide.....	37
FIGURA 20 - Localização da região de estudo.....	38
FIGURA 21 - Localização da barragem.....	39
FIGURA 22 - Bacia Hidrográfica pertencente a barragem.....	40
FIGURA 23 - Bacia de acumulação.....	40
FIGURA 24 - Fetch de comprimento L em Km.....	44
FIGURA 25 - Aterro com taludes de montante e jusante.....	48
FIGURA 26 - Planta baixa - maciço de terra.....	50
FIGURA 27 - Seção transversal do maciço.....	50
FIGURA 28 - Linha de infiltração no talude.....	51
FIGURA 29 - Seção transversal do vertedouro.....	52
FIGURA 30 - Fellenius ruptura left to right.....	55
FIGURA 31 - Método de Fellenius ruptura Right to Left.....	56

FIGURA 32 - Método de Bishop Simplificado ruptura Left to Right.....	56
FIGURA 33 – Método de Bishop Simplificado ruptura Right to Left.....	57
FIGURA 34 - Método de Fellenius ruptura left to right.....	58
FIGURA 35 - Método de Fellenius ruptura right to left.....	59
FIGURA 36 - Método de Bishop Simplificado ruptura left to right.....	59
FIGURA 37 - Método de Bishop Simplificado ruptura right to left.....	60
FIGURA 38 - Decapagem e enchimento do maciço.....	62
FIGURA 39 - Maciço de montante.....	63
FIGURA 40 - Dimensão do filtro executado.....	63
FIGURA 41 - Aplainamento e compactação do sistema.....	64
FIGURA 42 - Coleta de solo para o núcleo do barramento.....	65
FIGURA 43 - Carregamento dos motoscaper.....	65
FIGURA 44 – Compactação e despejo do material.....	66
FIGURA 45 - Barramento começando sua captação.....	67
FIGURA 46 - Grandes volumes de água já armazenado na área armazenamento.....	67
FIGURA 47 - Talude de jusante.....	68
FIGURA 48 - Material de 3ª categoria utilizado no filtro.....	69
FIGURA 49 - Enrocamento realizado.....	69
FIGURA 50 - Vertedouro para alagues excepcionais.....	70
FIGURA 51 – Vertedouro.....	71
FIGURA 52 - Crista da barragem.....	71
FIGURA 53 - Vertedouro em local de jusante da barragem.....	72
FIGURA 54 - Lâmina de água no nível máximo do barramento.....	72

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Inclinação dos taludes.....	41
TABELA 2 – Cotas, áreas e volumes do reservatório.....	43
TABELA 3 – Valores encontrados a partir da parábola de Kozeny.....	54
TABELA 4 - Resumo valores de Fator de Segurança dos taludes da barragem.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADAM = Atlas Digital Das Águas de Minas;

ANA = Agência Nacional de Águas;

FAO = Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura);

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IBF = Instituto Brasileiro de Florestas;

KN/m<sup>3</sup> - QuiloNewton por metro cúbico;

KPa = QuiloPascal;

Km<sup>2</sup> = Quilômetros quadrados;

FS = Fator de Segurança;

$\tau$  = Tensão cisalhante;

## RESUMO

Em muitas partes do Mundo, os benefícios financeiros derivados do cultivo da terra são raramente suficientes para permitir a construção de estruturas de concreto, as quais são consideravelmente mais caras, bem como tecnologicamente avançadas, para o armazenamento de águas, sendo assim, se torna viável a construção da barragem de terra ou açude simples. A capacidade de armazenamento do reservatório deverá ser superior à procura durante o ciclo duma cultura. Há vários objetivos para a construção de uma barragem além da irrigação de cultivos, dentre eles estão: abastecimento de água, navegação, aproveitamento hidrelétrico entre outros. O maior objetivo de uma barragem é sua construção respeitando os limites de segurança mínimos para a manutenção desta no seu local de origem, salientando que qualquer problema que venha a ocorrer no seu maciço, todo o conjunto à jusante do mesmo será muito afetado, tendo impactos ambientais e sociais enormes. Diante deste contexto, relata-se neste trabalho o dimensionamento de todos os componentes hidráulicos de uma barragem de terra na propriedade de Décio Prates da Silveira, no município de Quaraí-RS, fazendo a utilização destes valores encontrados para simulação da mesma no software GeoSlide, o qual permite dentre o contexto da barragem delimitar a superfície de ruptura dos taludes de jusante e montante, realizando a verificação do fator de segurança de cada talude. O acompanhamento prático da execução da barragem foi verificado bem como montado um acervo fotográfico sobre o mesmo. O volume de água encontrado será suficiente para irrigação de 63,06 hectares na propriedade. Como resultado determinou-se uma altura total da barragem de 12,6 metros, sendo que o nível normal de água na mesma é e 11 metros e o nível máximo da mesma em 11,4 metros, essa diferença se dá pela altura do vertedouro de 0,4 metros, tendo uma orla de segurança de 1,2 metros. A largura da crista encontrada foi de 5 metros, a qual possibilita a passagem de veículos e animais pela mesma. Om relação ao fator de segurança dos taludes, para várias simulações eles tiveram valores acima do seu limite, tendo como base um valor mínimo de 1,5, obedecendo assim esse limite.

Palavras-Chave: Barragem de terra, Dimensionamento, Segurança, Estruturas Hidráulicas

## ABSTRACT

In many parts of the world, derivate financial benefits of cultivating the land are rarely enough to allow the construction of concrete structures, which are considerably more expensive and technologically advanced, for the water storage, therefore, it becomes viable the construction of earth dam or weir simple. The storage capacity of the reservoir should be greater than the demand during the cycle of a crop. There are several objectives for the construction of a dam in addition to irrigation crops, among them are: water supply, navigation, hydroelectric and others. The ultimate goal of a dam is its construction respecting the minimum safety limits for the maintenance of this in its place of origin, noting that any problems that may occur in its massive, all set downstream of it will be greatly affected with enormous environmental and social impacts. Given this context, it is reported in this paper the design of all hydraulic components of an earth dam on the property of Decius Prates da Silveira, in the municipality of Quaraí-RS, making the use of these values found for simulation of it in Slide software, which allows from the dam context delimit the failure surface of the downstream slope and amount, making the verification of the safety factor of each slope. The practical monitoring of the dam execution was checked and set up a photographic collection on it. The volume of water found is sufficient for irrigation of 63.06 hectares on the property. As a result, it was determined total height of the dam of 12.6 meters, and the normal level of water in it is 11 meters and the maximum level is 11.4 meters, the difference is given by the weir height 0.4 meters, with a safety edge 1.2 meters. The width of the comb was found 5 meters, which allows the passage of vehicles and animals. Against the slope safety factor for various simulations they had values above their limit, based on a minimum value of 1.5, thus obeying the limit.

Keywords: earth dam, Design, Security, Hydraulic Structures

## 1. INTRODUÇÃO

Grandes civilizações que se localizavam as margens de rios como o Nilo, Tigre e Eufrates, eram as quais utilizavam seus recursos hídricos sem a necessidade de irrigar, porém com a expansão das populações e exploração de outras áreas, a irrigação teve seu papel fundamental no desenvolvimento destes povos (LEÃO, 2012).

O barramento de cursos d'água para a formação de lagos artificiais são dotados de mecanismos de controle com a finalidade de obter a elevação do nível de água ou criar um reservatório de acumulação de água ou de regularização de vazões. Esta técnica para maior disponibilidade hídrica é uma das mais antigas já conhecidas pelo homem, as quais eram realizadas para atender as demandas de águas para povoados e sociedades. (ADAM, 2011).

Em áreas rurais utiliza-se a construção da barragem de terra para uma série de finalidades, destacando-se a irrigação, seguida de: abastecimento da propriedade, criação de peixes, recreação, bebedouro, elevação de água por bombeamento e outros (CARVALHO, 2008).

A agricultura irrigada é a atividade que mais demanda água no mundo, sendo que das terras produtivas 20% é irrigada e esta parcela é responsável por 33,33% da produção mundial de alimentos. Estudos indicam que a partir de 2025, 80% da produção de alimentos virá de terras irrigadas e a construção de mais projetos de reservatórios se tornam necessários mesmo com procedimentos de economia de água por meio de melhorias na tecnologia de irrigação (CIGB, 2008).

Segundo Carvalho (2008); Sthepens (2011), a construção da barragem deve obedecer a critérios básicos fundamentais de segurança, no entanto é comum encontrar em propriedades rurais barragens construídas sem nenhum dimensionamento técnico, assim se tornando estruturas com alto risco de rompimento.

Desta forma, a construção de uma barragem de terra requer a elaboração de um projeto técnico que contemporize conhecimentos de diversas áreas da engenharia, de forma a atender tecnicamente todas as partes que formam o complexo “barragem” (CARVALHO, 2008).

Um enorme problema principalmente do lado econômico é construir uma barragem sem o correto dimensionamento, pois os custos com a obra elevam, em vezes saem do panorama inicial estipulado, como por exemplo, uma barragem ser construída

com dimensões extravagantes, onde não se fará uso de toda a estrutura em momento algum durante sua vida útil.

## **1.1 Objetivo Geral**

Dimensionar e realizar o acompanhamento da execução de uma barragem de terra para irrigação, localizada na Estância Recreio, situada no 2º subdistrito de Quaraí, município de Quaraí – RS, propriedade de Décio Prates da Silveira.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Dimensionar as estruturas hidráulicas do complexo barragem, ou seja, os componentes essenciais para o perfeito funcionamento com segurança da mesma;
- Delimitar a bacia hidrográfica, com o auxílio do programa ArcGis 10.1, que se encaixa na região de estudo, com isto definir parâmetros para o dimensionamento da barragem;
- Analisar o método empregado na execução da barragem analisada, fazendo análise dos resultados obtidos para que este documento sirva como material de consulta acadêmica para trabalhos afins da área;
- Acompanhar toda a execução da barragem, partindo da decapagem até sua conclusão, com estes dados montar um acervo fotográfico para que sirva de material didático técnico para este tipo de obra de engenharia;
- Fazer a análise da estabilidade dos taludes do barramento com uso de software de elementos finitos (GeoSlide V 5.0 – Rocscience), para verificar se a inclinação indicada pelos métodos de dimensionamento para barragens está dentro dos requisitos mínimos de segurança.

## **1.3 Justificativa**

Com o crescente aumento da população mundial, e em contrapartida a redução da produção de alimentos produzidos no campo, um aprimoramento dos materiais utilizados neste meio para a produção mais eficiente destes produtos se faz necessária. Neste contexto entra o porquê se faz imprescindível um dimensionamento correto e um

acompanhamento rigoroso das obras hidráulicas, neste caso, o barramento de água realizado por barragem de terra.

Com estas inquietações, pode-se maximizar a produção e minimizar perdas, pois nenhum cultivo consegue responder da melhor forma com deficiência hídrica.

Tomando-se por base a diversidade dos solos brasileiros, a extensão da campanha gaúcha, e sua importância econômica com a agricultura e pecuária, tenta-se cada vez mais produzir mais com o mesmo espaço utilizado. Dentro deste contexto surge a técnica da irrigação como solução para atingir esta produtividade esperada.

Com a urbanização, o campo e suas atividades começaram a ficar escassas, e os produtores que ainda estão inseridos nesse mercado devem aprimorar suas técnicas e encontrar soluções para contornar essas dificuldades, uma delas é com a irrigação.

É importante ainda, selecionar e preparar um material para estudo, sendo este didático e prático, para que discentes e profissionais possam utilizá-lo como base de estudos.

Faz-se necessária ainda à conscientização da importância com cuidados executivos, para evitar problemas funcionais da barragem bem como evitar falhas construtivas por desconhecimento das técnicas corretas de construção.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Recursos Hídricos**

A água é essencial à vida sendo que o planeta Terra é o único planeta do sistema solar que tem água nos três estados (sólido, líquido e gasoso), e as mudanças de estado físico da água no ciclo hidrológico são fundamentais e influenciam os processos biogeoquímicos nos ecossistemas terrestres e aquáticos (TUNDISI, 2003).

Somente 3% da água do planeta está disponível como água doce. Destes 3%, cerca de 75% estão congelados nas calotas polares (estado sólido), 10% estão confinados nos aquíferos e, portanto, a disponibilidade dos recursos hídricos no estado líquido é de aproximadamente 15% destes 3% (TUNDISI, 2003).

O Brasil é um país de dimensões continentais com uma área de 8,5 milhões de Km<sup>2</sup>, com uma costa de cerca de 8500 km de extensão, onde se concentra a maior parte da população. O país possui uma diversidade biológica rica nos três seguintes aspectos: genético, variedade de espécies e de ecossistemas – como consequência de uma grande variedade climática e geomorfológica (LORENSI et al,2010).

O país é dotado de uma vasta e densa rede hidrográfica, sendo que muitos de seus rios destacam-se pela extensão, largura e profundidade. Em decorrência do relevo, predominam os rios de planalto, que possuem alto potencial para geração de energia elétrica. Dentre os grandes rios em território nacional, o Amazonas e o Paraguai são os principais rios de planície enquanto o São Francisco e o Paraná são os principais rios de planalto (LORENSI et al,2010).

De acordo com Barros (2008), aproximadamente 89% do volume de água total, no Brasil, encontra-se nas regiões Centro-Oeste e Norte, onde reside uma pequena porcentagem da população do país. Já as regiões Nordeste, Sudeste e Sul, onde reside cerca de 85% da população do país, dispõem apenas de 11% do potencial hídrico brasileiro.

Segundo Castro (2012), os brasileiros detêm 12% de toda a água disponível na Terra. Sendo que o Rio Grande do Sul detém 3,314% do potencial hídrico do País (REBOUÇAS, 2006).

Com o rápido crescimento populacional, a demanda de água vem aumentando e, em contrapartida, a sua disponibilidade tem diminuído velozmente (LORENSI et al,2010).

## 2.2 Região do estudo de caso - Bioma Pampa

O Pampa é de extensão imensa e de mesmas condições físicas, de natureza monótona, sendo uma região que caracteriza grandes áreas na América do Sul, realidade muito diferente da grande variedade de regiões e formações vegetais da Europa (Lindman e Ferri, 1974).

Além disso, Lindman e Ferri (1974) citam que, embora o número de formações vegetais fora pequenos, a riqueza florística era notadamente opulenta e talvez o seu relato tenha dado início à polêmica nomenclatura dos campos sul-rio-grandenses, reportada por Marchiori (2004), quando refere que, por sinonímia, europeus chamariam estas planícies de urzes, bem como por vezes, estepes.

O Pampa também é o centro e fronteira de um bloco macroeconômico em construção, o Mercado comum do Sul ou MERCOSUL, e participa de um novo ciclo de profundas transformações derivadas dos processos produtivos (GUIBERT, 2008).

O Pampa está restrito ao estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa uma área de 176.496 km<sup>2</sup> (IBGE, 2004).

No Brasil, o bioma está presente do estado do Rio Grande do Sul, ocupando 63% do território gaúcho e também territórios da Argentina e Uruguai (MMA, 201-?; IBF, 2015).

As paisagens naturais são variadas, de serras a planícies, de morros rupestres a coxilhas. As paisagens naturais do Pampa se caracterizam pelo predomínio dos campos nativos, mas há também a presença de matas ciliares, matas de encosta, etc (MMA, 201-?).

A estrutura da vegetação é mais simples e menos exuberante, comparada às florestas e savanas. Mas os campos têm uma importante contribuição no sequestro de carbono e no controle da erosão. (MMA, 201-?).

À primeira vista, a topografia determina as primeiras alternativas para o tipo de barragem. Se o local estudado estiver localizado num vale estreito com paredes rochosas, a sugestão será de uma barragem de concreto. Porém, em áreas de topografia aplainada e vales bastante abertos, indica-se normalmente a barragem de terra (MARANGON, 2004).

A região geomorfológica do planalto de Campanha, a maior extensão de campos do Rio Grande do Sul, é a porção mais avançada para oeste e para o sul do domínio morfoestrutural das bacias e coberturas sedimentares (IBF, 2015).

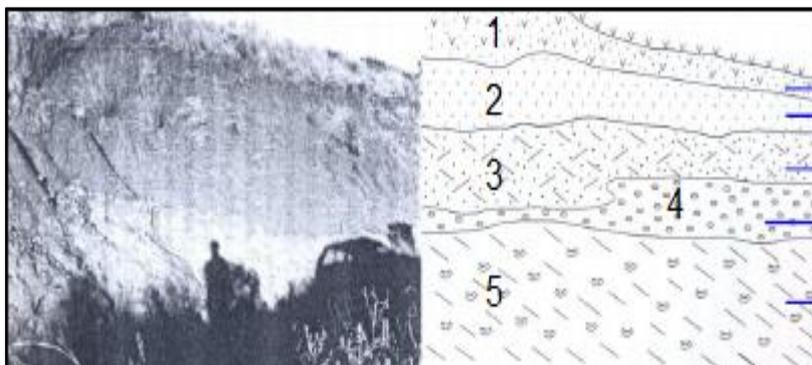
O Pampa é formado por quatro conjuntos que caracterizam seu relevo: Planalto da Campanha; Depressão Central; Planalto Sul-Rio-Grandense; Planície Costeira (IBF, 2015).

Conforme Nimer (1977) e Ab' Saber (1995), o sudoeste do Rio Grande do Sul, localiza-se sob zona subtropical, com invernos frios, verões quentes e quase que inexistência de estação seca. As precipitações anuais indicam que a região, onde ocorrem os areiais, possui condições de umidade que ultrapassam, em muito, os valores anuais de climas áridos. Apresentam médias superiores a 1400mm, enquanto uma zona árida é definida por precipitações menores que 200mm anuais. A umidade bem distribuída ao longo do ano, associada a temperaturas médias (14,3° no inverno, bem como, 26,3° no verão) não justificam a denominação de áreas de desertificação para as áreas com presença de areia exposta, que ocorrem na região.

O solo, fértil em sua maior parte, é bastante utilizado para a agropecuária: desde a colonização ibérica, a pecuária extensiva sobre os campos nativos tem sido a principal atividade econômica da região (IBF, 2015).

Nas áreas de contato com o arenito botucatu, ocorrem os solos podzólicos vermelho-escuros, principalmente a sudoeste de Quaraí e a sul e sudeste de Alegrete, onde se constata o fenômeno da desertificação (IBF, 2014). A Figura 1 demonstra a estratigrafia do solo do bioma pampa, de um modo geral, com característica específica da região oeste do Rio Grande do Sul.

Figura 1. Estratigrafia do local de estudo.



Fonte: Adaptado de Suetegaray (1998)

A camada 1 é formada por solo com cobertura de gramíneas; a camada 2 é arenito com estratificação paralela; a camada 3 é arenito com estratificação cruzada; a camada 4 é conglomerado basal e a camada 5 é constituída por arenito Botucatu (LEMES e SILVA, 2013).

Segundo Lemes e Silva (2013), a sequência acima descrita indica uma variação ambiental, onde nada mais é do que a passagem de um depósito tipicamente fluvial para um depósito de águas calmas.

Através desse processo, a tendência à erosão nesses sedimentos promove a formação de ravinas (sulcos da erosão) que seguem linhas de fraturas, sendo mais intensas nos depósitos mais superficiais (LEMES e SILVA, 2013).

### **2.3 Barragens para Irrigação**

As barragens surgiram inicialmente com a função de utilização dos recursos hídricos para consumo humano e combate as secas, sendo que hoje é utilizada para fins diversos. A barragem mais comum no Brasil é a barragem de terra e enrocamento, correspondendo a 82% do total, onde nos 18% faltantes, se encaixam os demais tipos, principalmente barragens de concreto (SAYÃO, 2009).

Os benefícios financeiros derivados do cultivo da terra são insuficientes para a construção de estruturas de concreto, caras e tecnologicamente avançadas para o armazenamento de águas, e a alternativa é normalmente uma barragem de terra ou açude simples (STEPHENS, 2011, p. 6).

Desde os tempos antigos, barragens de terra foram construídas com a finalidade de armazenar água para irrigação (MARANGON, 2004).

Stephens (2011) salienta que em regiões áridas e semiáridas poderá ser aconselhável avaliar o rendimento da bacia hidrográfica num ano seco e usar esta estimativa para calcular a quantidade de água disponível para irrigação ou outras utilizações.

Barragens até 15 m de altura, quando construídas nos locais apropriados e corretamente projetadas, podem ser construídas com o recurso e equipamentos poucos sofisticados. Tratores agrícolas (equipados com pá carregadora, pá de arrasto e rolo compactador) são normalmente adequados para a construção de barragens de terra (STEPHENS, 2011, p. 7).

Podem ser obtidas vantagens adicionais construindo o aterro com materiais provenientes da escavação da área do reservatório. Isto dá um pequeno aumento da capacidade de armazenamento e redução de custos (STEPHENS, 2011, p. 7).

## **2.4 Tipos de Barragem**

Desde os remotos tempos em que o homem tenta barrar o curso d'água com as mais variadas finalidades, as barragens evoluíram muito em tecnologia. Todavia, ainda hoje, alguns tipos mais primitivos de barragens são eventualmente utilizados quando a obra assume pequenas proporções, principalmente quando executada por pequenos fazendeiros com o objetivo de armazenar água (COSTA, 2012).

Barragem pode ser definida como sendo um elemento estrutural, construída transversalmente à direção de escoamento de um curso d'água, destinada a criação de um reservatório artificial de acumulação de água (MARANGON, 2004).

Cada barragem deve ser classificada de acordo com as consequências de sua ruptura. A classificação constitui a base para a análise da segurança da barragem e para fixar níveis apropriados de atividades de inspeção (STEPHENS, 2011).

Historicamente, as barragens têm permitido que as pessoas coletassem e armazenassem água em períodos chuvosos para que pudessem usá-la nos períodos de seca, sendo assim, elas têm sido essenciais para o estabelecimento e o sustento de cidades e fazendas, e para o abastecimento de alimentos por meio da irrigação de plantações (ICOLD – CIGB, 2008).

Segundo Costa (2012), as barragens devem ser divididas em dois grandes grupos: convencionais, que são as mais utilizadas e cujo mecanismo é de amplo conhecimento na literatura especializada; e não convencionais, que incluem as que são pouco utilizadas, embora algumas delas possam ter sido desenvolvidas recentemente.

### **2.4.1 Barragens não convencionais**

- **Barragens de gabião**

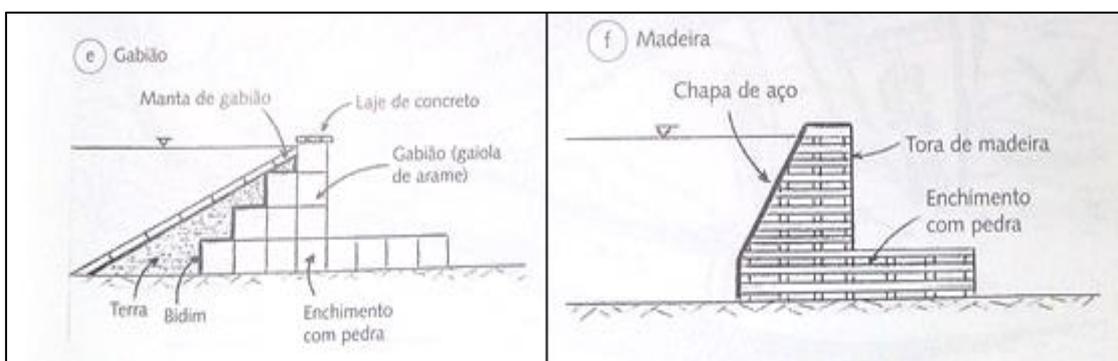
Segundo Costa (2012), a barragem de gabião é uma obra de pequeno porte (geralmente inferior a 10m de altura) projetada para ser parcial ou totalmente vertedoura. Esta obra é constituída por uma parede de gabião com extensão para jusante formando a bacia de dissipação e aterrada a montante com material argiloso.

Sendo assim, ela necessita de uma manta de bidim entre a argila e o gabião para evitar o carreamento dos finos. Uma placa de concreto na parte de vertência deverá garantir a proteção do coroamento para grandes vazões efluentes. A Figura 2e, evidência esta construção.

- **Barragens de Madeira**

Essa barragem exige madeira de boa qualidade e deve ser revestida com uma chapa de aço que garantirá a sua vedação. As caixas formadas pela armação de madeira devem ser preenchidas com rocha para evitar o seu deslocamento pelas pressões hidrostáticas (COSTA, 2012). Demonstra-se este tipo na Figura 2f.

Figura 2. Barragens não convencionais



Fonte: Costa (2012), modificada por Abreu (2015)

## 2.4.2 Barragens Convencionais

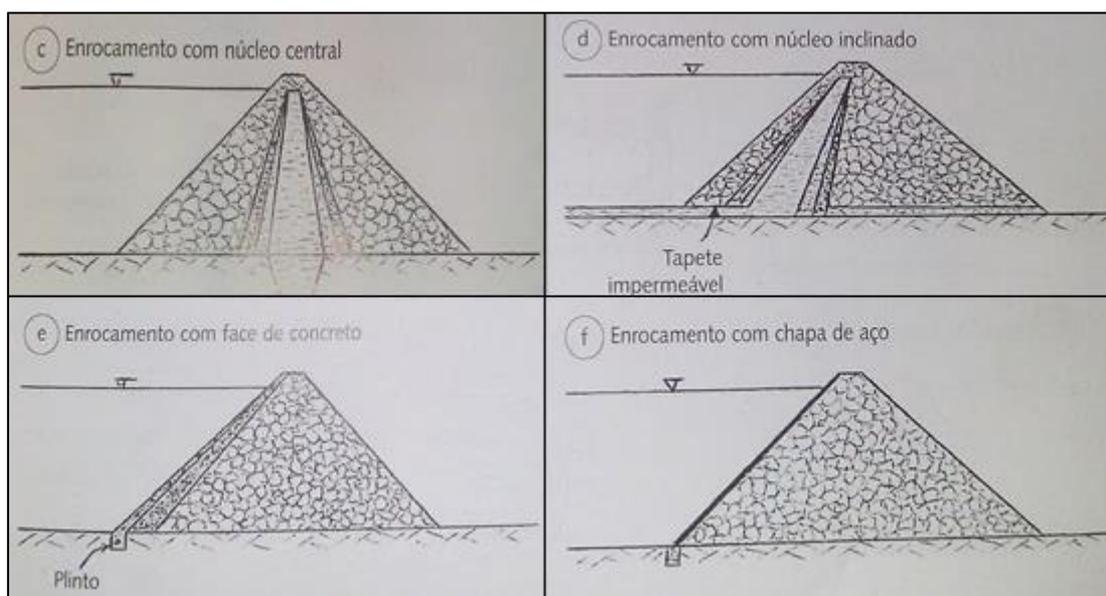
- **Barragem de enrocamento**

Esse tipo de barragem é aquele em que são utilizados blocos de rocha de tamanho variável e uma membrana impermeável na face de montante. O custo para a produção de grandes quantidades de rocha, para a construção desse tipo de barragem, somente é econômico em áreas onde o custo do concreto fosse elevado ou onde ocorresse escassez de materiais terrosos e houvesse, ainda, excesso de rocha dura e resistente (MARANGON, 2004).

- *Com núcleo impermeável:* na barragem de enrocamento, o material rochoso é predominante e a vedação da água, nesse caso, é feita por meio de um núcleo argiloso, separado do enrocamento por zonas de transição, para evitar o carreamento do material fino para o interior do enrocamento. O núcleo pode ficar centralizado ou inclinado, conforme Figura 3c e 3d respectivamente (COSTA, 2012).

- *Com face impermeável*: nesse tipo de barragem, a vedação da água é garantida pela impermeabilização da face à montante da barragem, seja por uma camada de asfalto, seja por uma placa de concreto (Figura 3e), ou ainda, por uma chapa de aço (Figura 3f) (COSTA, 2012).

Figura 3. Barragens de Enrocamento



Fonte: Costa (2012), modificada por Abreu (2015)

- **Barragens de concreto**

- *Gravidade*: é o tipo de barragem mais resistente e de menor custo de manutenção. Este tipo pode ser adaptado para todos os locais, mas a sua altura é limitada pela resistência das fundações. No caso de a fundação ser de rocha sã, porém situada a considerável profundidade da superfície do terreno, é mais adequado e econômico construir-se uma barragem de terra, porque a mesma não necessita repousar sobre fundação em rocha e assim evita-se uma quantidade de escavação (MARANGON, 2004).

Essas barragens podem ter seu traçado retilíneo (crista) ou em curva (em arco) (COSTA, 2012). A Figura 4 exemplifica os diferentes tipos de barragens.

*Arco*: são mais raras, uma vez que o comprimento dessas barragens deve ser pequeno em relação à sua altura, o que exige a presença, nas encostas do vale, de material rochoso adequado e de grande resistência, capaz de suportar os esforços a elas transmitidos. Essas barragens são mais comuns na Europa, onde os vales são profundos e fechados (MARANGON, 2004).

Figura 4. Barragem de concreto de gravidade retilínea e em arco

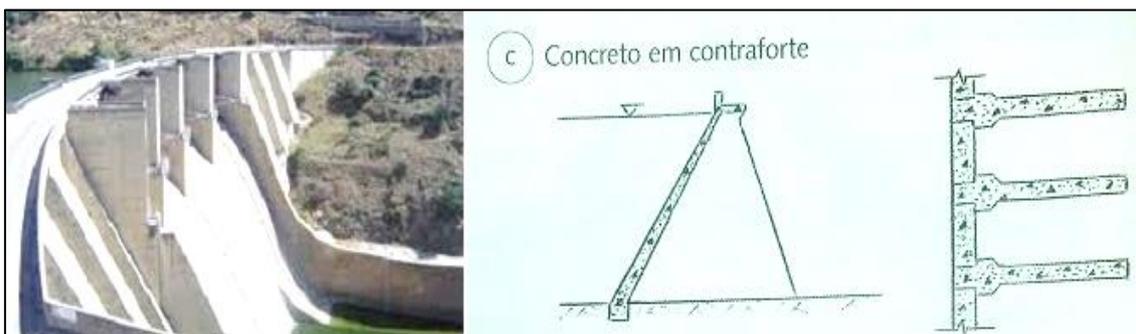


Fonte: Dam Safety (2012)

Pode-se perceber à esquerda a barragem de concreto de gravidade do tipo retilínea, e em contraste com esta, à direita analisamos uma barragem do mesmo tipo, mas com sua estrutura em arco, evidenciando com clareza os tipos distintos aplicados.

*Com contraforte:* a barragem é formada por uma laje impermeável a montante, apoiada em contrafortes verticais, exercendo compressão na fundação maior do que na barragem de concreto gravidade, Figura 5. Sendo assim, a fundação onde será apoiada uma barragem de concreto com contrafortes deve ser rocha com elevada rigidez (SAYÃO, 2009).

Figura 5. Barragem em contraforte

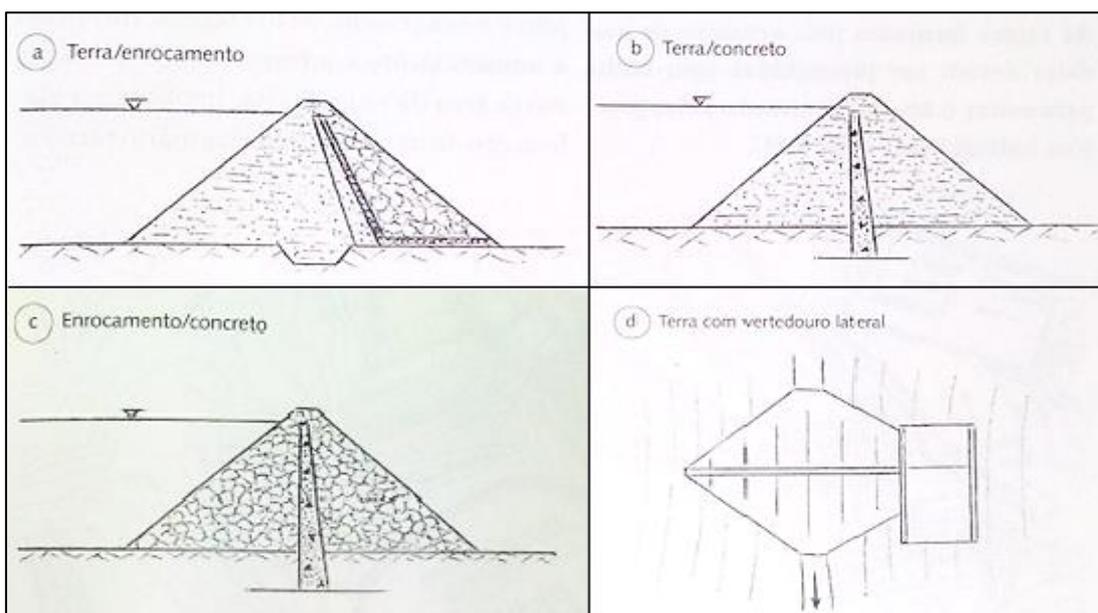


Fonte: Adaptada de Costa (2012)

- **Barragens Mistas**

A barragem pode ser considerada mista em sua seção ou em seu traçado. A barragem de seção mista é aquela constituída por diferentes materiais ao longo de uma seção transversal, a Figura 6 exemplifica os diferentes tipos de barragens mistas.

Figura 6. Barragens mistas



Fonte: Adaptada de Costa (2012)

Os tipos conhecidos são: terra/enrocamento (Figura 6a); terra/concreto (Figura 6b); e enrocamento/concreto (Figura 6c). A barragem é mista ao longo do seu traçado quando a parte da obra é de um tipo e parte, de outro, entre as barragens convencionais. Não se considera barragem mista aquela em que o corpo principal é de terra ou enrocamento e o vertedouro é de concreto, mesmo que constitua uma continuidade do traçado (Figura 6d) (COSTA, 2012).

## 2.5 Barragem de Terra

A barragem de terra é a mais comum no Brasil, por se ter vales muito largos e ombreiras suaves, necessitando de grandes extensões de crista, ao mesmo tempo em que se dispõe abundantemente de solo. Por não ser uma estrutura rígida estas barragens permitem ser assentes em fundações mais deformáveis, transmitindo esforços baixos para as fundações se comparadas com as barragens citadas anteriormente (MENDONÇA, 2012).

As barragens de terra são utilizadas em vários meios, seja ele urbano, para geração de energia elétrica, bem como no meio rural, onde a mesma se destina à irrigação de cultivos e reservas para abastecimento de propriedades rurais. Segundo

Leão (2012), a utilização deste tipo de barragem se dá pela facilidade de execução e pelo custo reduzido.

Segundo FAO (2011), as barragens de terra são estruturas simples compactadas que dependem de sua massa para resistir ao deslizamento e tombamento e são encontradas em todo o mundo. Demonstra-se na Figura 7 uma barragem de terra finalizada, com volume d'água em face de acúmulo.

Figura 7. Barragem de terra construída no interior da cidade de Alegrete



Fonte: Imagem própria

Nas propriedades rurais, a barragem de terra possui várias vantagens, são elas: projeto muito mais simples comparado aos demais tipos de barragem, fundações muito menos exigentes.

Mas esta mesma possui algumas desvantagens, são elas: mais susceptível a problemas que a água em contato com a mesma possa causar, extremo cuidado na compactação, verificação e acompanhamento periódico para detecção de possíveis pontos frágeis ou possíveis vazamentos na estrutura.

Levando em consideração vantagens e desvantagens deste tipo de construção, pode-se definir parâmetros e ideias, ambas a serem pensadas, analisadas e levadas em consideração na definição final da utilização da barragem de terra como material para sustentação da água.

### 2.5.1 Tipos de barragens de terra

As barragens de terra são as mais elementares obras de barragens e normalmente se prestam para qualquer tipo de fundação, desde a rocha compacta, até terrenos construídos de materiais inconsolidados (MARANGON, 2004).

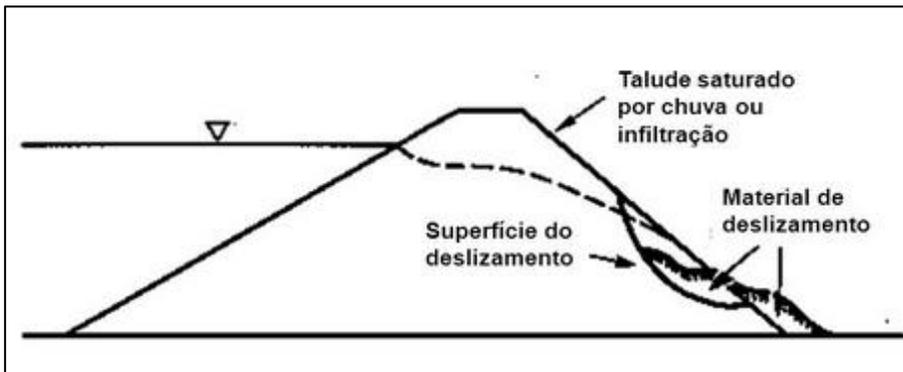
Segundo Baptista e Coelho (2010), a barragem de terra não pode ser considerada como impermeável, pois ocorre em seu corpo a percolação d'água, este fenômeno deve ser tratado com bastante cuidado. A percolação coloca em risco a estabilidade da barragem e por isto deve ser feito o traçado das redes de fluxo em seu corpo. Através das redes de fluxo é possível determinar o local adequado de drenos e camadas impermeáveis.

Os materiais utilizados na barragem devem ser preferencialmente finos, argila ou silte, pois com uma boa compactação estes materiais tem um valor maior de impermeabilidade do que os materiais mais grossos, como areia e cascalhos.

Mas, como a utilização de um mesmo material em toda a construção da barragem é praticamente impossível de haver, o mais indicado seria a utilização de uma mistura dos materiais, ou seja, argila, silte e areia em proporções as quais o maciço fique numa estanqueidade aceitável e se ocupe o máximo do material contido no espaço. Para isso ser realizado, deve ser feita uma sondagem prévia no local, pois as primeiras camadas de material às vezes não são indicadoras de qualidade do mesmo (LEÃO, 2012).

Para Lopes e Lima (2008), o fluxo de água irá causar o umedecimento de parte do maciço de terra, a partir da sua base. Assim se formará no interior da barragem uma linha de fluxo chamada de linha de saturação, esta linha é determinada pela altura máxima do umedecimento do maciço, desta forma toda a parte do maciço que estiver abaixo desta linha estará sempre umedecida. As Figuras 8 e 9 exemplificam os tipos de fluxo de água no interior da barragem.

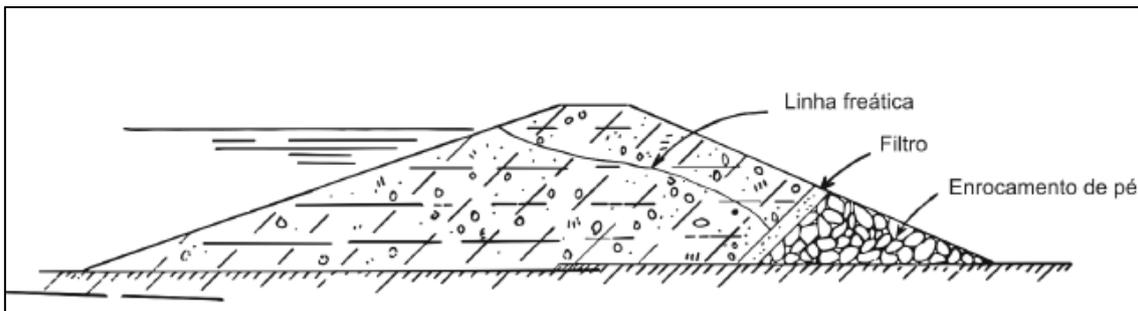
Figura 8. Linha de saturação terminando fora do maciço



Fonte: Lopes e Lima (2008)

Quando a linha de saturação terminar fora do corpo da barragem, como na Figura 8, podem ocorrer desmoronamentos que comprometerão a estabilidade do conjunto.

Figura 9. Linha de saturação terminando dentro do maciço

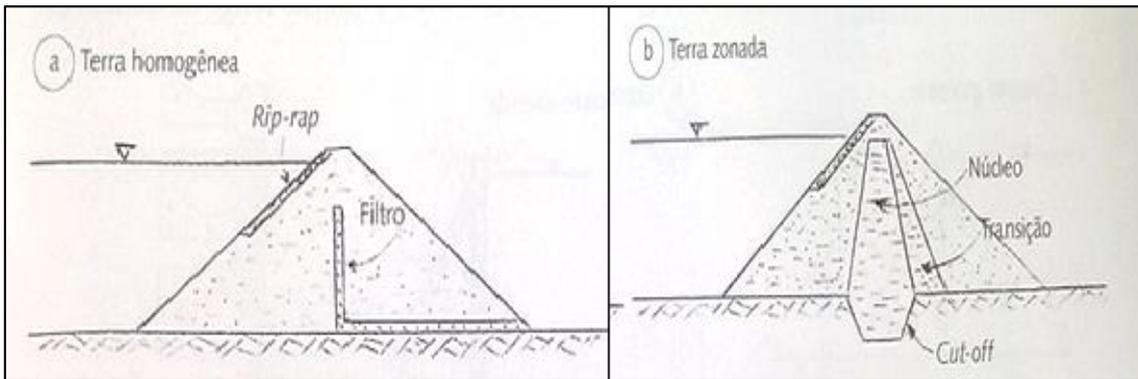


Fonte: Hradilek et al. (2002, p.11)

Porém, se a linha de saturação terminar dentro do corpo da barragem, Figura 9, os riscos de desmoronamentos são eliminados, pois não há o carreamento de material fino (argila e silte) para o exterior do maciço, os mesmos se mantêm no interior do aterro resultando em uma maior estabilidade global do sistema.

As barragens de terra podem ser de dois tipos, homogêneas ou zoneadas, a Figura 10 distingue os tipos de barragens de terra.

Figura 10. Barragens de terra do tipo homogênea e zonada



Fonte: Adaptada de Costa (2012)

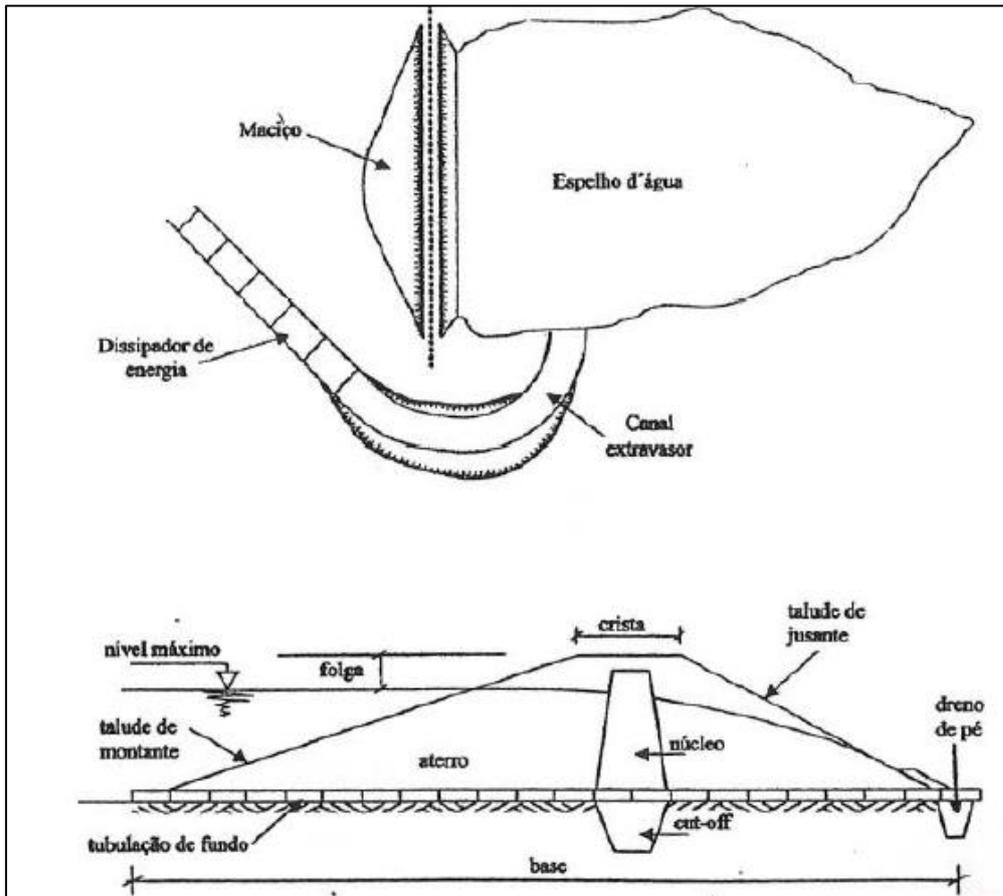
Segundo Marangon (2004), as barragens homogêneas (Figura 10a) são aquelas compostas de uma única espécie de material, excluindo-se a proteção dos taludes. Nesse caso, o material necessita ser suficientemente impermeável, para formar uma barreira adequada contra a água, e os taludes precisam ser relativamente suaves, para uma estabilidade adequada.

Na Figura 10b, as barragens zonadas, são representadas por um núcleo central impermeável, envolvido por zonas de materiais consideravelmente mais permeáveis, zonas essas que suportam e protegem o núcleo. As zonas permeáveis consistem de areia, cascalho ou fragmentos de rocha, ou uma mistura desses materiais (MARANGON, 2004).

## 2.5.2 Elementos de uma barragem de terra

Segundo Carvalho (2008), para um melhor entendimento de uma barragem de terra alguns componentes precisam ser identificados, a Figura 11 demonstra tais componentes.

Figura 11. Elementos básicos em uma barragem de terra



Fonte: Carvalho (2008)

- **ATERRO:** é o maciço, ou seja, é a estrutura com a função de reter a água;
- **ALTURA:** é a distância vertical entre a superfície do aterro e a parte superior;
- **BORDA LIVRE OU FOLGA:** distância vertical entre o nível da água e a crista do aterro, quando a represa estiver cheia;
- **TALUDES:** são as faces laterais do aterro, sendo o de montante aquele que está em contato com a água, e o de jusante aquele que está do lado seco da barragem;
- **CRISTA:** é a parte superior do aterro;
- **ESPELHO D'ÁGUA:** superfície d'água acumulada no reservatório;
- **BASE OU SAIA DO ATERRO:** projeção dos taludes de montante e jusante;
- **CUT-OFF:** vala construída no eixo da barragem e preenchida com terra de boa qualidade devidamente compactada;
- **NÚCLEO:** construído no centro do aterro para diminuição da infiltração;

- **EXTRAVASOR OU VERTEDOIRO:** estrutura com a finalidade de escoar o excesso de água da represa;
- **DESARENADOR:** também conhecido como tubulação de fundo, tem a função de controle do nível da represa e garantir o escoamento à jusante;
- **DISSIPADOR DE ENERGIA:** tem a função de diminuir a energia cinética da água, ao voltar ao seu leito natural.

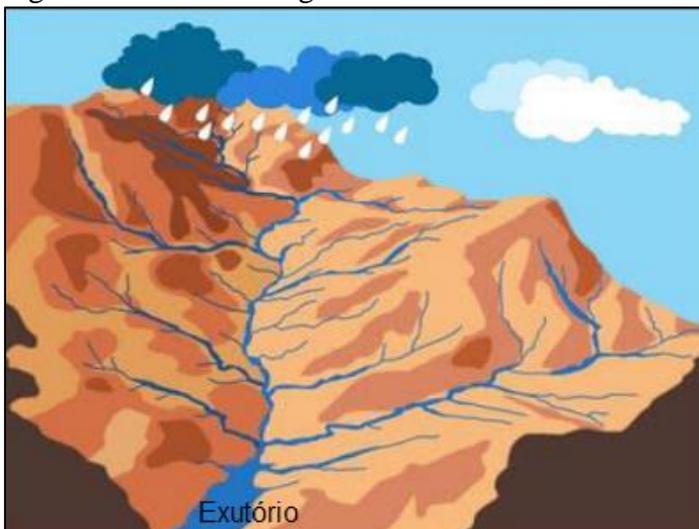
Esses elementos caracterizam o tipo de barragem e qual sua utilização, pois com a mudança do tipo de construção pode haver mudanças também na forma inicial da barragem, mas os elementos principais que compõem a mesma não podem ser afetados.

## 2.6 Bacia Hidrográfica

Segundo Salbego (2013), bacias hidrográficas são definidas como áreas nas quais a água escoar para um único ponto de saída, conhecido como seção de controle (exutório).

Portanto, consiste de uma área na qual ocorre uma captação da água proveniente da atmosfera e que é convertida em escoamento, a partir de limites geográficos, conhecidos como divisores de água, e direcionamento do fluxo para a seção de controle (SALBEGO, 2013). A Figura 12 exemplifica as linhas de fluxo em uma bacia, com seu ponto de exutório.

Figura 12. Bacia Hidrográfica



Fonte: Adaptado de Geo – Conceição (2011)

Podem-se analisar na Figura 12, que as linhas de fluxo de águas da bacia convergem todas para um mesmo ponto, ponto este denominado “exutório”, fazendo a comprovação das teorias listadas, tendo este ponto como ponto de acumulação de água.

Para Carvalho e Silva (2006), o sistema de drenagem de uma bacia é constituído por um canal principal e seus afluentes, sendo assim, se faz necessário estudar bem como analisar todas as ramificações do canal principal para uma melhor definição da velocidade de escoamento da água que sai da bacia hidrográfica.

### **2.6.1 Tempo de Concentração**

Segundo Carvalho e Silva (2006), tempo de concentração é definido como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle. Segundo Flizikowski et al. (2008), sua determinação é de grande importância para análise de enchentes para projetos de estruturas, com este dado podem ser tomadas medidas para a segurança dos projetos, aumentando assim a confiabilidade do material estudado.

Para Lima et al. (2007), o tempo de concentração em bacias rurais é maior do que em bacias urbanas, pois possuem terrenos com maior infiltrabilidade e sua vegetação causa o retardamento do escoamento superficial.

### **2.6.2 Intensidade de precipitação**

Segundo Carvalho (2008), é a quantidade de chuva que cai por unidade de tempo e está relacionado ao tamanho da bacia analisada, seu valor é fornecido por pluviógrafo o qual registra a altura de precipitação em função do tempo.

A partir de uma série histórica dos valores lidos pelos pluviógrafos e, utilizando-se de processos estatísticos, pode-se estimar o valor da intensidade de precipitação possível de ocorrer dentro de um tempo e com uma determinada duração (CARVALHO, 2008).

Dentro da intensidade de precipitação deve ser levado em consideração também o tempo de retorno, valor ao qual é utilizado para o dimensionamento de obras hidráulicas (valores dados como exemplo: 1, 5, 50 anos).

### **2.6.3 Estimativa da Vazão de projeto**

De acordo com Tucci et al. (2004) a estimativa das vazões máximas possui importância fundamental na determinação dos custos e da segurança dos projetos de engenharia, servindo de base para a aplicação de medidas de ordem estrutural e não estrutural visando o controle e atenuação das cheias.

Para a sua determinação são utilizadas várias equações ajustadas. Tais equações deveriam ser utilizadas apenas nos locais onde foram concebidas, porém pela falta de informações hidrológicas podem ser utilizadas nos mais variados locais desde que estes apresentem similaridade com o local para onde a equação foi ajustada (LEÃO, 2012).

Para Carvalho (2008) a vazão máxima ou vazão de projeto representa um dado de crucial importância, pois dela depende o dimensionamento da obra.

### **2.6.4 Produção Hídrica da Bacia**

Em pequenas bacias, não se dispõem de dados de vazão. Na grande maioria das vezes, a construção de pequenas barragens envolve pequenas bacias hidrológicas para as quais não se tem registro de vazão. Em casos assim, lança-se mão da translação de dados a partir do conhecimento da produção hídrica de bacias vizinhas, consideradas homogêneas, ou da bacia maior, para as quais se tem registros, à qual está inserida a área em estudo (CARVALHO, 2008).

De acordo com ANA (2010), a vazão na bacia deve ser compatível com os usos previstos para o projeto, para as infraestruturas e para a hidrologia (vazão que deve ser mantida a jusante da obra), sendo que a água deve ter a qualidade adequada para o fim a que se destina.

## **2.7 Irrigação**

A irrigação é uma técnica milenar que tem como finalidade disponibilizar água às plantas para que estas possam produzir de forma adequada. A técnica, ao longo dos séculos, vem sendo aprimorada, chegando aos dias de hoje a sistemas pontuais, onde a água é gotejada no momento, local e quantidade correta ao desenvolvimento das plantas

(EMBRAPA, 2010).

Denomina-se irrigação o conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região. A irrigação visa corrigir a distribuição natural das chuvas, fazendo com que em épocas de escasso o recurso hídrico, se tenha mesmo assim uma quantidade considerável de água disponível para os diversos fins (LIMA et al., 1999).

Hoje a irrigação é uma estratégia para elevar a rentabilidade da propriedade agrícola por meio do aumento da produção e produtividade, de forma sustentável, ao contrário de antigamente onde a mesma era apenas uma técnica onde se buscava combater a luta contra a seca (LEÃO, 2012).

Segundo Leão (2012), a irrigação engloba dois métodos, a irrigação por superfície ou gravidade e irrigação sob pressão ou pressurizada, estas estão representadas nas Figuras 13, 14 e 15 respectivamente.

Figura 13. Irrigação por superfície ou gravidade



Fonte: Viana e Oliveira (2011)

Na irrigação por superfície a água é levada até a planta através de sulcos, faixas de inundação pré-estabelecidas, conforme mostra a Figura 13.

A Figura 14 demonstra a irrigação por bombeamento ou recalque, onde a única diferença da irrigação por gravidade é que a água neste caso se encontra em uma cota inferior a das lavouras tendo portanto de ser elevada por meio de equipamentos mecânicos em grande quantidade para poder fazer lâmina de água e banhar o arroz deixando-o submerso (EMBRAPA, 2011).

Figura 14. Irrigação por bombeamento ou recalque



Fonte: Faerr (2014)

Figura 15. Irrigação pressurizada ou sob pressão



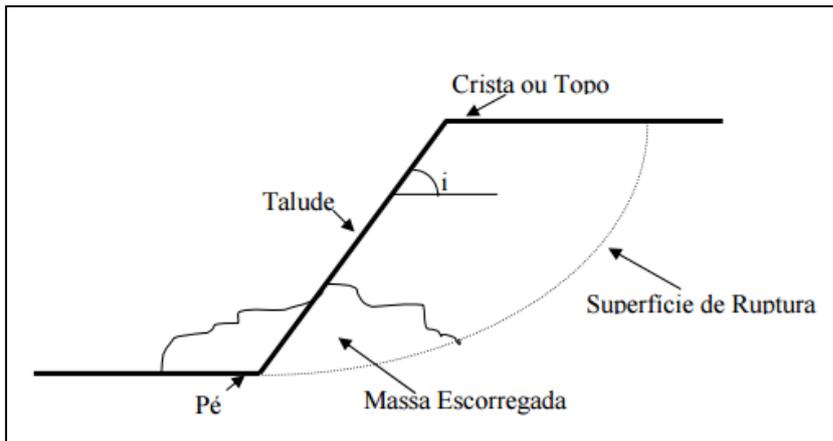
Fonte: Lima (200?)

A Figura 15 depara-se com irrigação sob pressão, onde a água é levada até a planta através de condutos forçados, impulsionada na maioria das vezes por uma estação de bombeamento e distribuída na área a ser irrigada através de aspersores e gotejadores.

## 2.8 Estabilidade de taludes

Talude pode ser definido como uma superfície inclinada que delimita um maciço terroso ou rochoso (DYMINSKI, 200?). A Figura 16 demonstra do que é composto um talude.

Figura 16. Composição do talude



Fonte: Dyminski (200?)

Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1998) a execução de cortes nos maciços pode condicionar escorregamento de taludes, este se dá se as tensões cisalhantes (mobilizada) ultrapassarem a resistência ao cisalhamento dos materiais constituintes do talude (atuante), ao longo de determinadas superfícies de ruptura. Assim de maneira geral deve ser respeitado o fator de segurança, o qual se dá pela Equação 1.

$$FS = \frac{\tau (atuante)}{\tau (mobilizada)} \quad \dots (1)$$

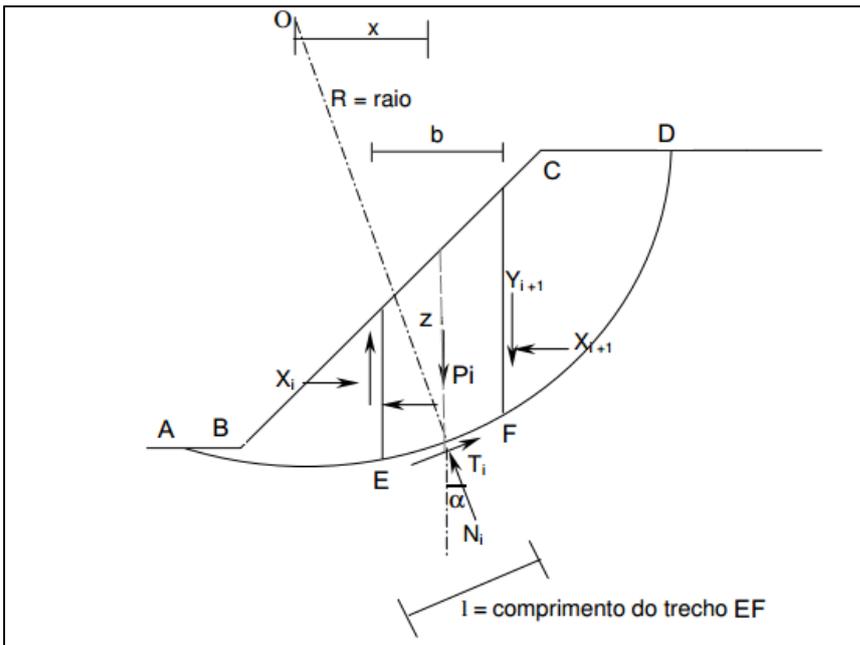
Segundo Dyminski (200?), cada vez mais, o estudo dos processos de instabilização de taludes e suas formas de contenção tornam-se necessários, devido a desastrosas conseqüências que os escorregamentos acarretam.

### 2.8.1 Método de Fellenius

Este método foi desenvolvido pelo engenheiro sueco Fellenius em 1936, e é

conhecido como método sueco ou das fatias. Realiza a análise estática do volume de material situado acima de uma superfície potencial de escorregamento de seção circular onde este volume é dividido em fatias verticais (FIORI; CARMIGNANI, 2009). A Figura 17 apresenta os parâmetros envolvidos na análise para uma determinada fatia de solo (coesão e ângulo de atrito), peso ( $P$ ), largura ( $b$ ), altura ( $Z$ ) e comprimento unitário, tomado perpendicularmente ao plano da figura.

Figura 17. Análise da estabilidade de taludes com superfície curva de ruptura



Fonte: Pereira (2013).

Com este processo há a decomposição da força ( $P$ ) nas suas componentes paralelas ( $T_i$ ) e normal ( $N_i$ ) ao plano de ruptura da base da fatia ( $i$ ), de largura ( $b$ ).

As equações referentes ao método não serão citadas nesse trabalho.

## 2.8.2 Método de Bishop simplificado

Este método foi proposto por Bishop (1955) e considera a análise da estabilidade de um talude, utilizando a divisão da cunha de escorregamento em diversas fatias. Representa uma modificação do método de Fellenius, levando em conta as reações entre as fatias vizinhas. É o método mais utilizado para verificação da estabilidade dos taludes.

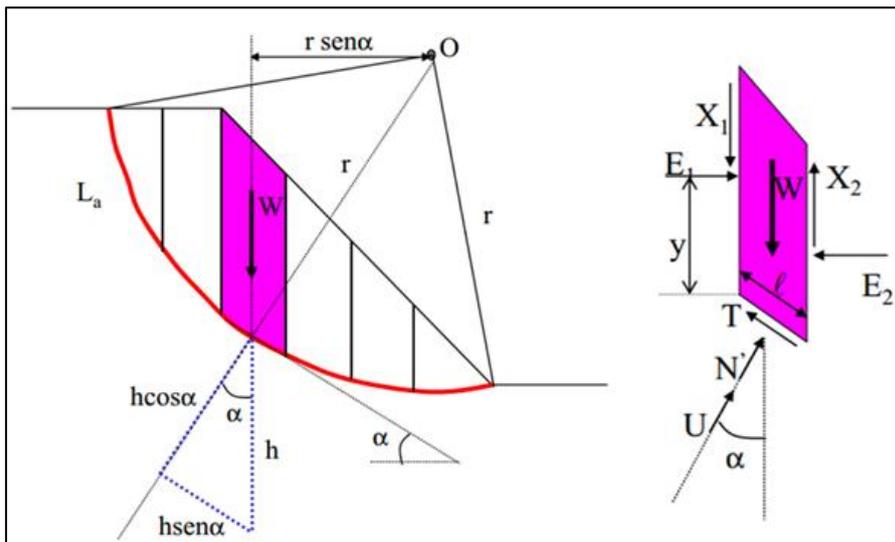
A hipótese admitida é que as forças entre fatias são nulas. Conforme Strauss

(1998) não há satisfação do equilíbrio de forças horizontais.

O fator de segurança é derivado de um somatório de momentos em um ponto comum, porém difere de Fellenius pela consideração da força normal  $P$ . Observa-se a necessidade de iterações para a determinação do fator de segurança. Este método procura vários fatores de segurança selecionando o menor entre todos os encontrados.

A Figura 18 demonstra as forças atuantes no maciço.

Figura 18. Forças atuantes



Fonte: Fernandes (2014).

Com o equilíbrio das forças na vertical temos as equações do sistema, as quais não serão descritas neste trabalho.

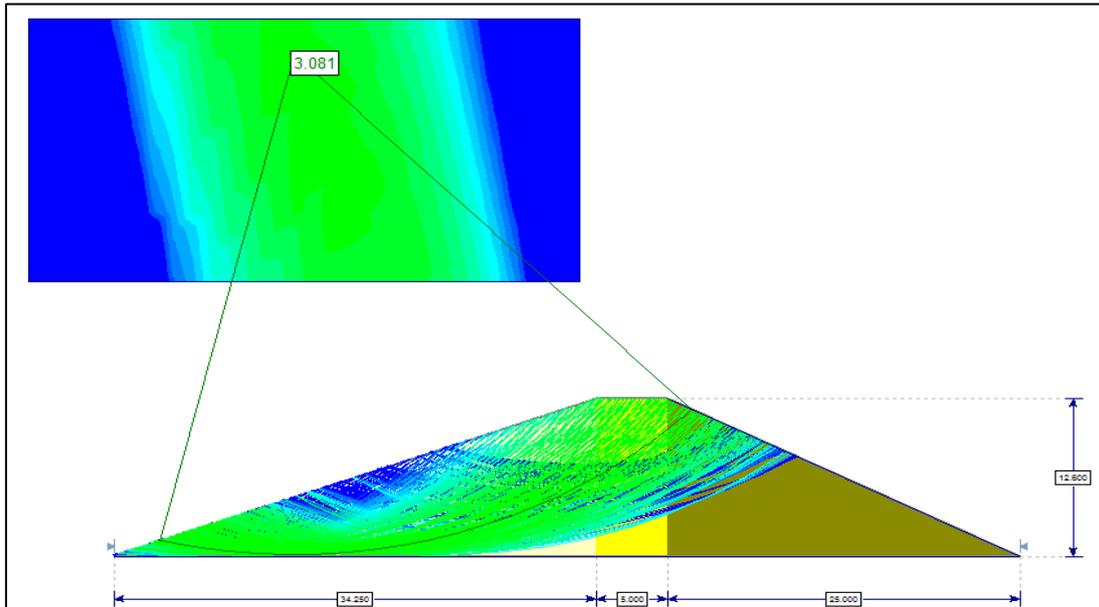
### 2.8.3 Software GeoSlide

GeoSlide é o software disponível mais abrangente na análise de estabilidade de taludes, completo com análise de elementos finitos, sensibilidade e análise probabilística. Considera todos os tipos de solos e rochas podendo ser utilizado para verificação da segurança em encostas, aterros, barragens de terra, e muros de contenção. Com a capacidade de arte CAD, permite que você crie e edite modelos complexos com muita facilidade, (ROSCIENCE, 2015).

De fácil aplicação, o software permite inserção de dados, bem como: geometria do talude, peso específico dos materiais, ângulo de atrito, coesão e nível d'água. Se

necessário é possível informar mecanismos que foram utilizados para auxiliar na estabilidade do maciço, como tirantes e geotêxtis (FERNANDES, 2014). A Figura 19 demonstra a forma de resultados encontrados no GeoSlide.

Figura 19. Layout de resultados GeoSlide



Fonte: Elaboração própria, 2015.

A Figura 19, serve apenas como ilustração do resultado obtido no GeoSlide, com cotas verticais e horizontais, círculos de ruptura determinado pelo método de elementos finitos e resultado final com o fator de segurança desejado, este valor encontra-se no retângulo acima à esquerda da Figura 19.

### 3. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, foi realizado um estudo detalhado do local de inserção da barragem, bem como o estudo do método de dimensionamento ao qual o projeto se baseará, além do acompanhamento da construção da barragem.

#### 3.1 Dados do projeto

O presente projeto foi elaborado para a construção de uma barragem de terra, localizada na Estância Recreio, situada no 2º subdistrito de Quaraí, Quaraí – RS, na propriedade de Décio Prates da Silveira. A Figura 20 demonstra a região onde a barragem está inserida.

Figura 20. Localização da região de estudo



Fonte: Adaptado de IBGE, 2004.

Percebe-se que a localização está inserida entre a cidade de Alegrete e Quaraí, destacada na imagem. Pode-se então aproximar a imagem, como mostrado na Figura 21.

Figura 21. Localização da barragem



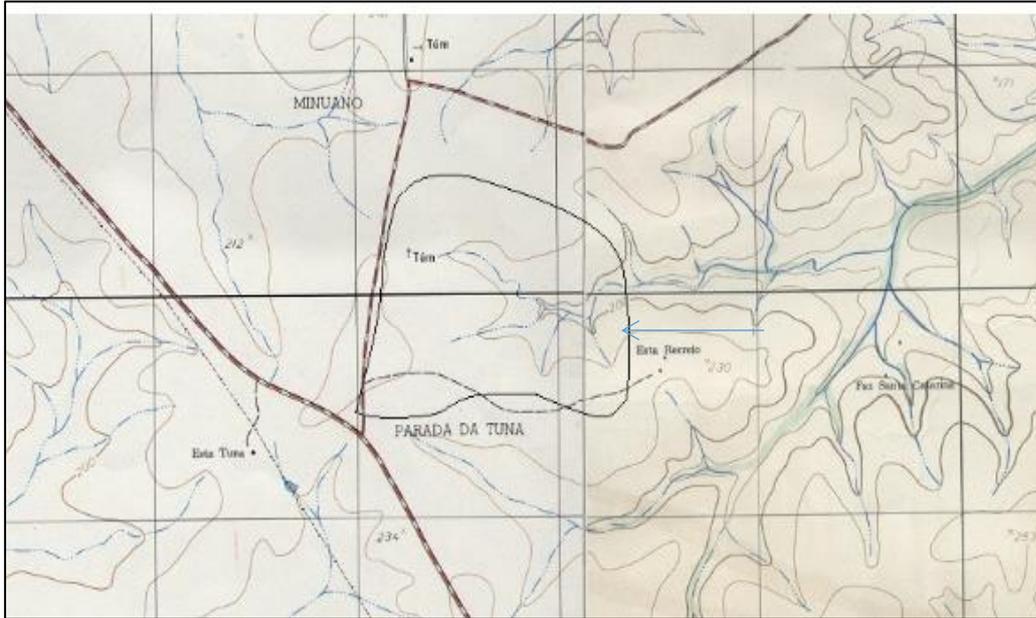
Fonte: GOOGLE EARTH, adaptada pelo autor, 2015.

A Figura 21 demonstra a localização da barragem construída em relação a sede da propriedade que ela está inserida.

A irrigação na propriedade se dá por inundação, à qual a água chega até seu local de destino por bombeamento, sendo conduzida por sulcos construídos no terreno.

A bacia de acumulação, que está inserida na divisa das bacias hidrográficas Severino Ribeiro e Arroio Pai Passo, conforme mostra na Figura 23, bem como na Figura 22 estão contidas as bacias descritas.

Figura 22. Bacia Hidrográfica pertencente a barragem

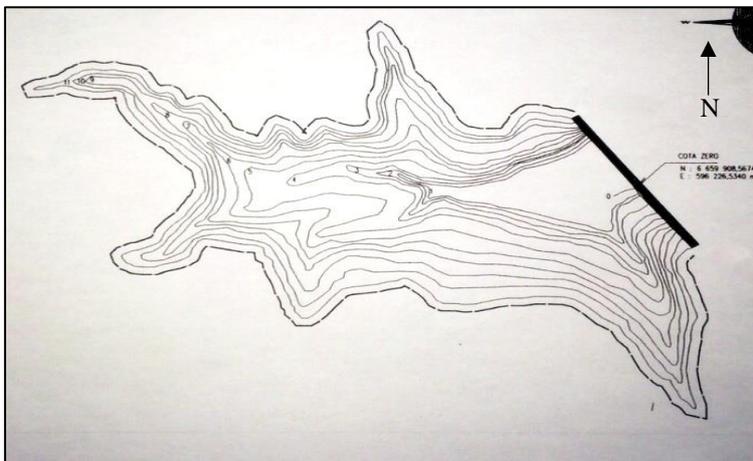


Fonte: Adaptada de Cartas topográficas, 2015.

Na Figura 22, percebe-se a carta das bacias hidrográficas contribuintes, com sua delimitação, esta foi realizada com o auxílio do software ArcGis 10.1, ao qual foram inseridas as cartas no programa, realizou-se o georreferenciamento da imagem, com coordenadas reais e posteriormente fez-se a delimitação da região contribuinte.

A bacia de acumulação está delimitada na Figura 23. Esta vai da cota zero que se encontra com coordenadas N 6659908.5674 m e E 596223.5340 m, no maciço construído, até a cota 11 metros, cotas essas que definem as curvas de níveis da bacia.

Figura 23. Bacia de acumulação



Fonte: Cartas topográficas, 2015

No local onde foi assentado o maciço foi removida toda a camada orgânica e feita uma trincheira, conforme o projeto, até atingir a rocha alterada, com a resistência desejada, mais ou menos a 1 metro de profundidade.

O solo utilizado na confecção da barragem foi retirado de pontos estratégicos, aos quais por sondagem do subsolo pode-se retirar amostras para realização de ensaios em laboratório, definindo assim as características do material disponível.

Verificando a resistência deste material, pode-se assim definir ilhas de escavação para que o solo utilizado no maciço resultasse em um conjunto homogêneo de boa compactação e alta estabilidade.

Pela dificuldade de solo de 2ª categoria (solo resistente), vários foram os pontos escolhidos para retirada de material, fazendo com que boa parte do material do leito do barramento fosse retirado e posto em bota-foras.

A compactação se deu em camadas de 0,15 metros de espessura, utilizando os pneus dos equipamentos de transporte do solo, dentro das recomendações da NB-33.

O talude de montante foi protegido por enrocamento de pedras e o de jusante por gramínea proveniente do próprio terreno. A Tabela 1 demonstra a classificação da inclinação do talude pelo tipo de solo, através da classificação Unificada.

Tabela 1. Inclinação dos taludes.

Não sujeita a esvaziamento rápido		
Classificação dos Solos	Taludes	
	Montante	Jusante
GW, GP	-----	-----
GC, GM, SC, SM	2 ½ : 1	2 : 1
CL, ML	3 : 1	2 ½ : 1
CH, MH	3 ½ : 1	2 ½ : 1

Tabela 1. Fonte: Nazar (200?)

A classificação se dá pela combinação do tipo de material que compõe o talude e sua compactação, conforme Tabela 1. O significado de cada sigla contido na Figura citada está descrito abaixo, onde os quatro primeiros itens são referentes ao tipo de material do talude, e os quatro subsequentes referem-se ao grau de compactação e graduação dos agregados dos mesmos.

- G - gravel (pedregulho);

- S - sand (areia);
- M - moan (silte);
- C – clay (argila),
- W - well (bem graduada);
- P - poorly (mal graduada);
- H - hígh (alta compactação);
- L - low (baixa compactação).

As características do reservatório são:

Acumulação:

- Nível mínimo – Cota 0,00 m – 0,00 m<sup>3</sup>;
- Nível normal – cota 11,00 m – 796280,50 m<sup>3</sup>;
- Nível máximo – cota 11,40 m – 865920,30 m<sup>3</sup>;

Volume de Terra:

- Volume total – cota 12,6 m – 59606,85 m<sup>3</sup>;
- Área a irrigar – 63,06 hectares (ha).

### 3.2 Dimensionamento da barragem

A altura da barragem foi dada em função do volume de água mínimo a ser armazenado, encontrado pelo balanço hídrico da micro bacia. As curvas de nível, de metro em metro, pode ser observada na Figura 23.

De acordo com a área entre as curvas de nível foi possível encontrar o volume de água acumulado entre elas e definir em qual cota este volume se igualaria ou superaria o volume mínimo do reservatório.

A altura normal da barragem foi determinada pela diferença da cota do nível da água (105) e a cota de fundo da barragem (94).

As cotas, áreas e volumes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Cotas, áreas e volumes do reservatório.

Cota	Área	Volume		Capacidade
		Parcial	Total	Irrigação
m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	hectare
0	94	0	0	-
1	95	15645	7822,5	7822,5
2	96	19127	17386	25208,5
3	97	24131	21629	46837,5
4	98	32506	28138,5	74976
5	99	48375	40440,5	115417
6	100	76875	62625	178042
7	101	92935	84905	262947
8	102	112546	102740,5	365687
9	103	138564	125555	491242
10	104	152654	145609	636851
11	105	165845	159250	796101
11,4	105,4	182354	69639,8	865740

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Na Tabela 2, verifica-se o limite máximo de irrigação de 63,06 hectares pelo simples motivo de o cálculo levar em consideração a relação entre o volume de água disponível no nível normal da barragem, ou seja, 796280,50 m<sup>3</sup>, e a exigência hídrica da cultura a ser irrigada, levando em consideração as perdas de água por infiltração, evaporação, etc.

### 3.2.1 Cálculo de Borda Livre

É a diferença entre o nível do coroamento e o nível máximo estipulado do reservatório. Para tal, utilizou-se a fórmula empírica criada por Stivenson-Molitor para determinação da altura “h” da camada do projeto, fazendo relações com a velocidade do vento que atinge a lâmina de água bem como a onda que este impacto gera. A representação está contida na Equação 2:

$$h_o = 0,032 \times (V \times F)^{\frac{1}{2}} + 0,75 - 0,27 \times (F)^{\frac{1}{4}} \quad \dots (2)$$

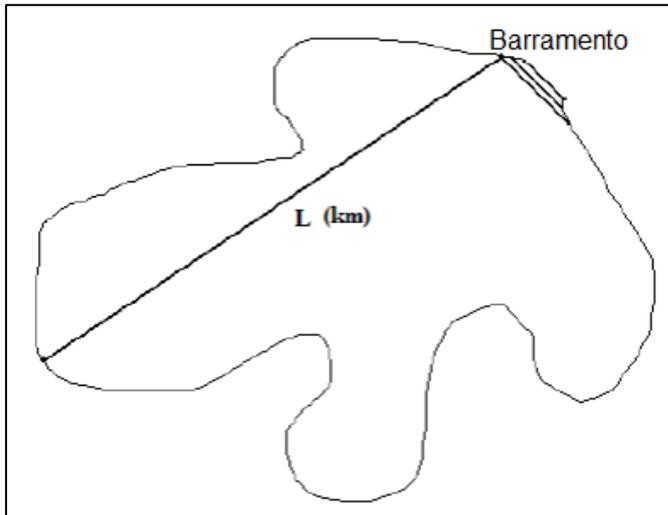
Onde:

$h_o$  = altura da onda (m);

V = velocidade do vento (Km/h). Valor referente à região de estudo.

F = Máxima distância livre de exposição em linha reta na direção do vento (fetch), tomada em km, este valor está representada na Figura 24.

Figura 24. Fetch de comprimento L em Km



Fonte: Adaptado de Tomaz (2010)

Com a altura da onda encontrada, pode-se verificar a altura necessária de borda livre, contida na Equação 3:

$$h = 1,4 \times h_0 \quad \dots (3)$$

Onde:

h = Borda livre (m);

$h_0$  = Altura da onda (m).

### 3.2.2 Orla de Segurança

É a diferença entre o nível de coroamento do reservatório e o nível normal do mesmo. Para o cálculo deste parâmetro, leva-se em conta a altura da lâmina de água no vertedouro, pois este deve estar alinhado ao nível normal do reservatório, bem como a borda livre calculada. A Equação 4 demonstra:

$$OS = R + hv \quad \dots (4)$$

Onde:

R = borda livre (m);

h<sub>v</sub> = altura da lâmina de água no vertedouro (m).

### 3.2.3 Cálculo da Largura da Crista

Tal valor leva em referência à altura total da “taipa” da barragem, ou seja, a altura máxima em que o maciço construído de solo atinge. Para efeito de dimensionamento a fórmula analisada foi estudada por Preece, e está representada na Equação 5:

$$b = 1,1 \times (H)^{\frac{1}{2}} + 1,0 \quad \dots (5)$$

Onde,

b = largura da Crista (m);

H = altura total da taipa (m).

### 3.2.4 Cálculo do Vertedouro

Para o dimensionamento com segurança do vertedouro, o qual servirá como válvula de escape em cheias não programadas, utilizou-se o cálculo da vazão por ele passada para uma precipitação de 24 horas seguidas. A vazão para tal precipitação está demonstrada na Equação 6.

$$Q = \frac{s \times p \times r}{86400} \quad \dots (6)$$

Onde:

s = área da bacia hidráulica (Km<sup>2</sup>);

p = precipitação máxima de 24 horas (mm);

r = coeficiente de deflúvio.

Com a vazão para precipitação de 24 horas encontrada, calculou-se a dimensão

necessária do vertedouro para dado valor de escoamento. A Equação 7 destaca o cálculo necessário.

$$L = \frac{Q}{0,35 \times h \times (2 \times g \times h)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots (7)$$

Onde:

L = largura do vertedouro (m);

Q = vazão para precipitação de 24 horas (m<sup>3</sup>/s);

h = altura do vertedouro (m);

g = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

Com a largura e a vazão já definidas, por fim determinou-se a velocidade, Equação 9, de escoamento no vertedor, à qual levamos em consideração a área do mesmo, Equação 8.

$$A = L \times h + h^2 \times \cot g \varnothing \quad \dots (8)$$

Onde:

A = área do vertedouro, (m<sup>2</sup>);

L = largura do vertedouro, (m);

h = altura do vertedouro, (m);

$\varnothing$  = inclinação do talude do vertedouro, (graus);

Com a área determinada, parte-se para a Equação 9.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \dots (9)$$

Onde:

V = velocidade de escoamento (m/s);

Q = vazão para precipitação de 24 horas (m<sup>3</sup>/s);

A = área do vertedouro (m<sup>2</sup>).

### 3.2.5 Determinação da linha de infiltração

Para tal definição e construção gráfica de Casagrande utilizaram-se as equações 10 e 11 a partir da parábola de Kozeny.

$$p = (h^2 + d^2)^{0,5} - d \quad \dots (10)$$

Onde:

p = Altura na qual a água saía à jusante do barramento, valor fixo para x = 43,15m (metros);

h = altura do nível normal da barragem (metros);

d = distância horizontal da linha de influência.

$$y = (2px + p^2)^{0,5} \quad \dots (11)$$

Onde:

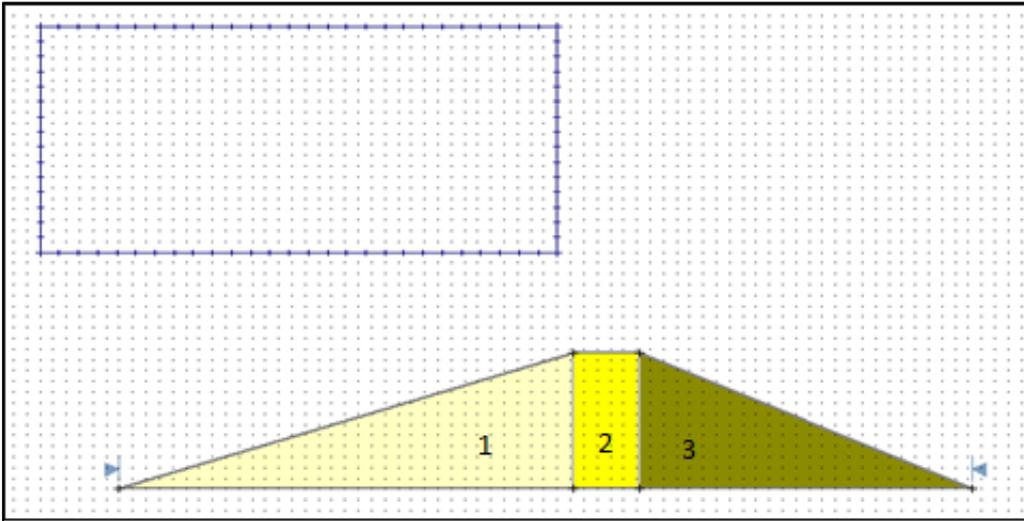
x = distância horizontal arbitrada, até encontrar o valor do nível normal de água (metros).

### 3.3 Estabilidade de taludes

Como forma de verificar a estabilidade dos taludes do barramento foram feitas simulações das linhas de ruptura à qual o maciço será submetido, por meio do software já citado. Segundo Diminsky (200?) estas linhas de ruptura de um solo, representada de maneira ideal, se produz por cisalhamento ao longo de uma superfície, ocorre o deslizamento de uma parte do maciço sobre uma zona de apoio que permanece fixa.

O modelo que será inserido no software GeoSlide é mostrado na Figura 25.

Figura 25. Aterro com taludes de montante e jusante



Fonte: Elaboração própria, 2015.

As medidas que compõem a Figura 25 são: “1” = 34,25 metros; “2” = 5 metros; “3” = 25 metros, totalizando uma largura de 64,25 metros e Altura = 12,6 metros.

No modelo exposto na Figura 24, foram utilizados parâmetros de identificação do solo, que consiste:

- Peso específico natural do solo utilizado na barragem = 17,29 KN/m<sup>3</sup>;
- Peso específico submerso do solo utilizado na barragem = 7,29 KN/m<sup>3</sup>;
- Coesão do solo = 45,25 KPa;
- Ângulo de atrito do solo = 16,1°.

O círculo de ruptura é locado no pé do talude, de acordo com indicações de Fellenius, sendo a seção considerada como homogênea.

Considerando a condição mais crítica que é o esvaziamento rápido do reservatório, justifica-se assim a utilização do peso específico saturado para o cálculo do valor da estabilidade. Os taludes são considerados estáveis quando o FS for maior que 1,5. Sendo os cálculos realizados com os parâmetros de resistência ao cisalhamento em termos de pressões totais.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Barragem de terra

Para o balanço hídrico da micro bacia do arroio Pai-Passo e Severino Ribeiro utilizou-se dados anuais, sendo que o volume de água a ser armazenado foi definido pelo mês de maior déficit no ano, valor este ao qual definiu-se a altura necessária da barragem dada em função do volume mínimo do reservatório para suprir o maior déficit mensal somando algumas parcelas, são elas, altura da lâmina de água normal, altura de água no vertedouro e altura da borda livre. A altura total da barragem ficou em 12,6 metros.

O decorrido projeto teve como nível máximo da barragem em 11,4 metros, valor este que se encontra na cota do terreno 105,4 metros, sendo o nível zero da barragem na cota 96 metros. Na altura máxima o volume armazenado de água será de 865920,3 m<sup>3</sup>, volume este superior ao maior déficit hídrico da região em que a barragem está inserida, comprovando assim o porquê da inserção da barragem no local. O nível normal da barragem está numa altura de 11 metros, na cota do terreno 105 metros, nesse nível o volume de água armazenado é de 796280,5 m<sup>3</sup>.

Conforme Leão (2012), a probabilidade estocástica seria capaz de garantir uma melhor análise do balanço hídrico da micro bacia, porém este trabalho se concentrou no dimensionamento básico da barragem, sem análises estatísticas.

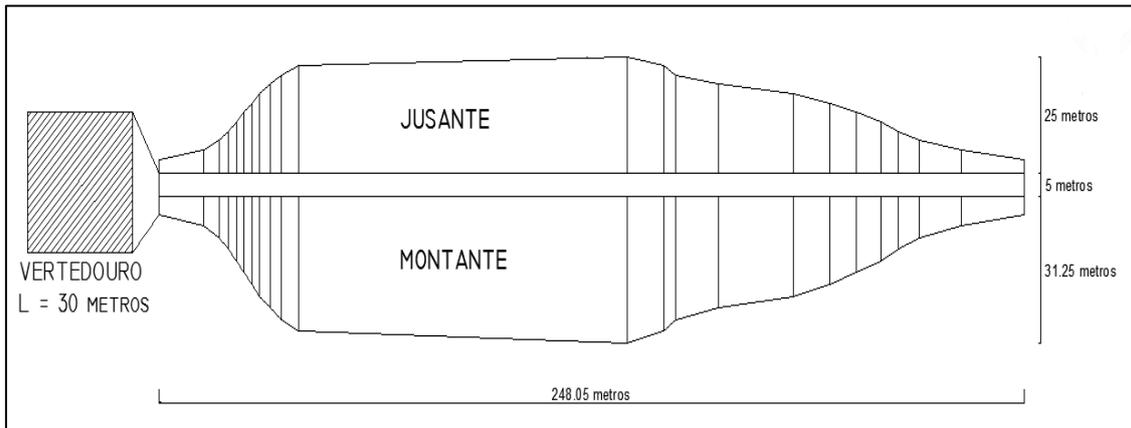
O talude de montante possui inclinação de 1:2,5 (V:H), bem como o de jusante 1:2,0 (V:H), valores estes retirados da Figura 20.

A projeção horizontal do talude de montante foi de 34,25 metros, sendo o de jusante de 25 metros, com centro (crista) de 5 metros, totalizando 64,25 metros.

A largura de fundo da barragem é de 104,6 metros, bem como sua largura total de 248,05 metros.

A planta baixa do maciço com suas características e dimensões reais é mostrada na Figura 26. Para melhor visualização a Figura 26 está contida no APÊNDICE A deste trabalho.

Figura 26. Planta baixa - maciço de terra.

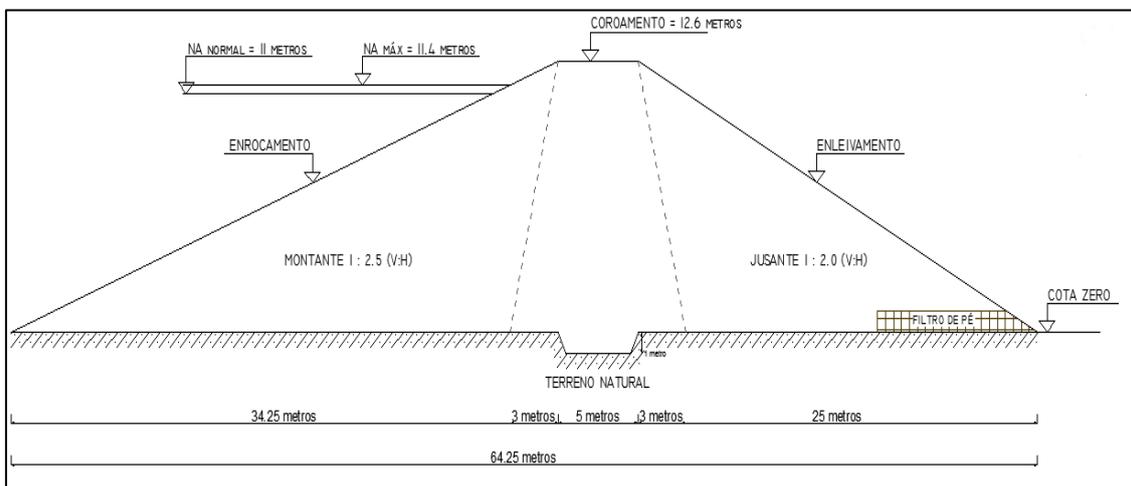


Fonte: Elaboração própria, 2015.

Como se percebe na Figura 26, entre os taludes de montante e jusante tem-se a crista da barragem com largura final de 5 metros. À esquerda temos o vertedouro com um comprimento já definido pelo dimensionamento de 30 metros.

A seção transversal da barragem está contida na Figura 27. Para melhor visualização a mesma está contida no APÊNDICE B, deste trabalho.

Figura 27. Seção transversal do maciço



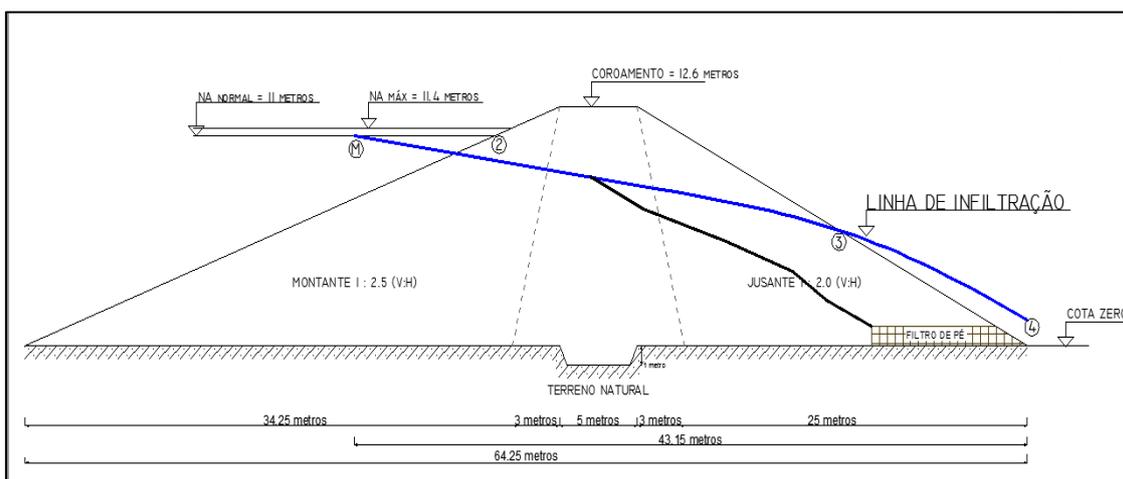
Fonte: Elaboração própria, 2015.

A inclinação da linha de saturação foi determinada pelas equações 10 e 11. Foi necessária a execução de um filtro de pé, pois a linha de infiltração localizou-se fora do aterro, podendo assim provocar escorregamento do maciço de jusante e com o tempo provocar o rompimento da barragem. O filtro recebe a água infiltrada endereçando a

mesma a um talvegue natural de regime intermitente tributário ao canal de drenagem da barragem. A linha pontilhada contida na Figura 27 é uma pequena representação da zona “impermeável” da barragem à qual foi realizada com o material de 2ª categoria.

A seção com as linhas de infiltração está contida na Figura 28.

Figura 28. Linhas de infiltração no talude

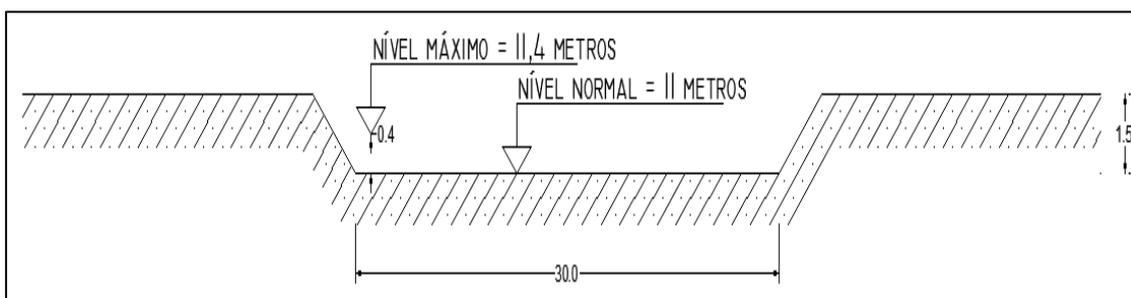


Fonte: Elaboração própria, 2015.

Na Figura 28 pode-se perceber os pontos designados M, 2, 3 e 4 estes pontos são relacionados ao cálculo da posição desta linha. O ponto “M” equivale a 30% da distância do ponto 2 até a extremidade de jusante. O ponto 3, equivale a um valor de  $x = 10$  metros, bem como o 4 equivale à posição de  $x = 0$  metros. Estes parâmetros revelam o local de saída da água infiltrada, no caso, no talude de jusante, fazendo-se assim necessário a construção de um filtro de pé. O APÊNDICE C melhor exemplifica a Figura 28.

O vertedouro possui dimensões em sua seção transversal conforme Figura 29, com um canal de fuga de 0,4 metros já calculado no seguimento deste projeto.

Figura 29. Seção transversal do vertedouro



Fonte: Elaboração própria, 2015.

A Figura 29 para melhor visualização encontra-se no APÊNDICE D deste trabalho.

Com análise e demonstração dos componentes existentes na barragem estudada, realizou-se então o dimensionamento propriamente dito, para análise dos resultados obtidos e discussão de possíveis melhorias a serem implementadas.

## 4.2 Dimensionamento da Barragem

### 4.2.1 Cálculo de borda livre

Considerando para o projeto  $v = 100$  Km/h e a máxima distância livre  $F = 0,45$  Km, tem-se uma altura de onda de 0,742 metros.

Com a altura da onda encontrada, tem-se a borda livre no valor de 1,04 metros. No presente projeto, o valor da borda livre adotou-se de 1,2 metros, o qual respeita o mínimo de 1,04 metros encontrado pelos cálculos, sendo assim um valor a favor da segurança dos componentes da barragem.

### 4.2.2 Orla de Segurança

Como a lâmina de água no vertedouro não deverá ultrapassar  $1/3$  da borda livre adotou-se  $h_v = 0,4$  metros. Assim, o valor para orla de segurança ficou em 1,6 metros.

### 4.2.3 Cálculo da largura da crista

Para este cálculo, apenas considerou-se a altura total da taipa com valor de 12,6 metros, assim chegou-se a uma largura de 4,89 metros, sendo considerada uma largura de crista de 5 metros, tendo em vista que esta poderá ser utilizada para trânsito de máquinas sobre o maciço. A largura do maciço tem por consequência um maior tamanho do mesmo, pois dependendo do solo contido o talude deverá ser mais inclinado, fazendo com que o conjunto barragem se torne mais estável e seguro, porém quanto maior o volume de solo transportado mais onerosa se torna a obra, devendo ser realizado o aumento apenas se houver necessidade.

### 4.2.4 Vertedouro

Cálculo da vazão para 24 horas levou-se em consideração:

- $p = 230$  mm (precipitação máxima de 24 horas);
- $s = 3,95$  Km<sup>2</sup> (área da bacia hidráulica);
- Área da bacia de acumulação = 0,1658 Km<sup>2</sup>;
- $r = 0,80$  (coeficiente de deflúvio).

Assim, a vazão encontrada foi de 8,41 (m<sup>3</sup>/s). Com esta vazão e valor de  $h = 0,4$  metros, começou a ser definida a geometria do vertedouro, sendo que sua largura “L” definiu-se no valor de 21,44 metros. Em fase ainda de projeto adotou-se dois vertedouros de 15 metros cada um, um em cada extremo do maciço. Mas, ao realizar a execução, por motivos técnicos e topográficos os dois vertedouros foram substituídos por apenas um, visto do talude de montante, na extremidade da esquerda.

A área do vertedouro se deu no valor de 16,16 m<sup>2</sup>, com velocidade de escoamento de aproximadamente 0,5 m/s. Como o vertedouro foi executado sob rocha alterada, a velocidade máxima permitida é de 1,15 m/s, sendo portanto compatível as dimensões hidráulicas calculadas.

#### 4.2.5 Linha de Infiltração

Com as equações utilizadas, sendo  $M = 43,15$  metros encontra-se  $p = 1,38$ . Com este valor fixo e alterando o valor de “x” na equação 13 chegou-se então à Tabela 3, à qual consta os valores encontrados.

Tabela 3. Valores encontrados a partir da parábola de Kozeny

x (metros)	y (metros)
0	1,38
5	3,97
10	5,44
15	6,59
20	7,57
25	8,44
30	9,22
35	9,95
40	10,62
43,15	11,00

Fonte: Elaboração própria, 2015

Como exemplificação, podemos verificar que “x” são valores encontrados na seção transversal do barramento, ao qual o valor zero é no pé do talude de jusante, e o valor de 43,15 metros é no encontro da linha de saturação com o nível de água normal no barramento.

#### 4.3 Estabilidade dos taludes do aterro

Para análise crítica da estabilidade dos taludes fez-se várias simulações com o Software GeoSlide, ao qual foi considerada para cada simulação uma particularidade. Vale salientar que devido a linha de infiltração ter sua cota final no talude de jusante, este se torna o mais crítico para análise. Foram analisadas as seguintes situações.

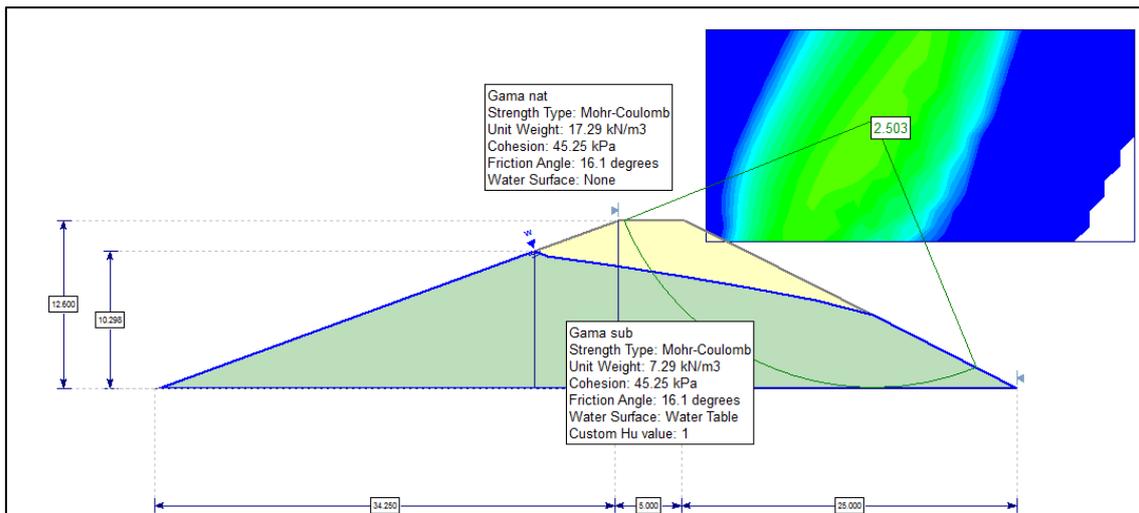
A) Análise com a linha de infiltração presente com filtro de pé no talude de jusante e de montante por Fellenius.

- B) Análise com a linha de infiltração presente com filtro de pé no talude de jusante e de montante por Bishop Simplificado.
- C) Análise com a linha de infiltração presente sem filtro de pé no talude de jusante e montante por Fellenius.
- D) Análise com a linha de infiltração presente sem filtro de pé no talude de jusante e montante por Bishop Simplificado.

#### 4.4 Estabilidade dos taludes do aterro sem a presença do filtro de pé e linha de infiltração presente.

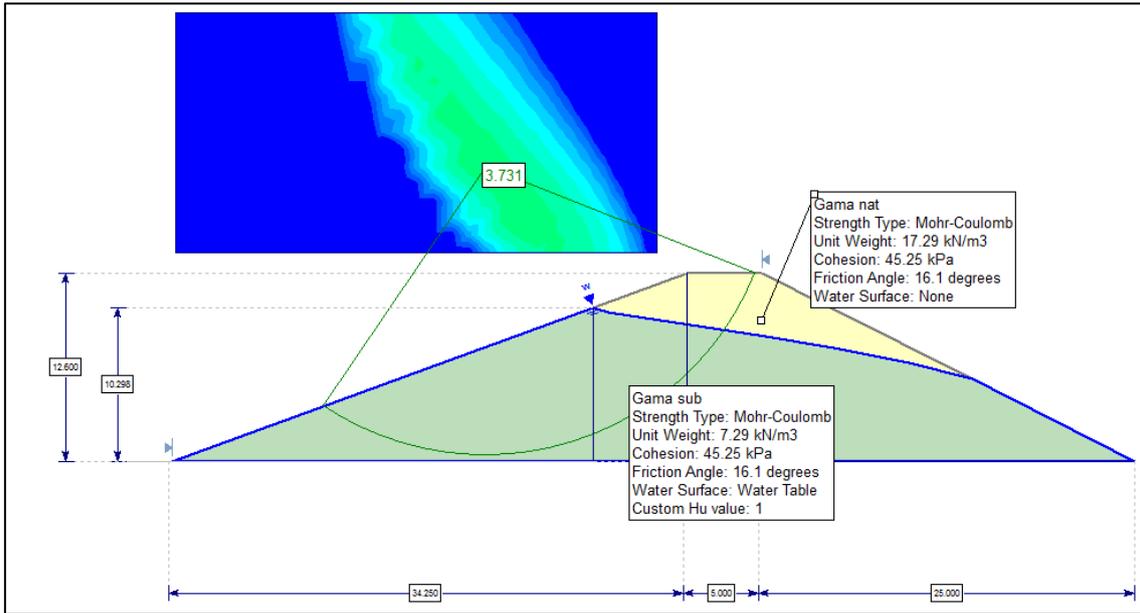
Analisando o maciço com a linha de infiltração, mas sem a presença do filtro obtemos os seguintes parâmetros, segundo Figuras 30, 31, 32 e 33.

Figura 30. Fellenius ruptura left to right



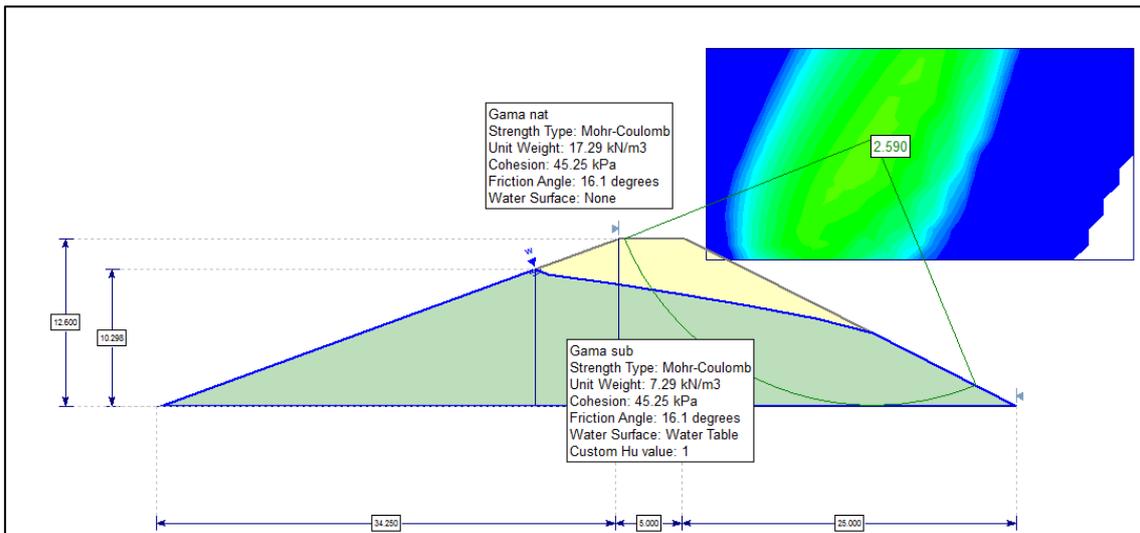
Fonte: Elaboração própria, 2015

Figura 31. Método de Fellenius ruptura Right to Left



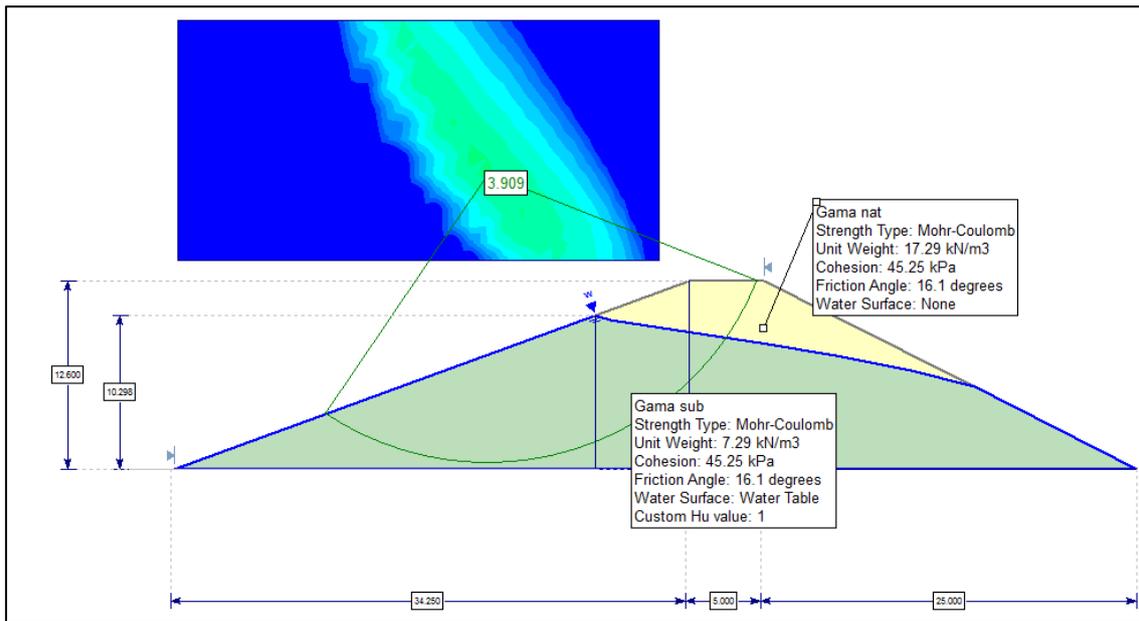
Fonte: Elaboração própria, 2015

Figura 32. Método de Bishop Simplificado ruptura Left to Right.



Fonte: Elaboração própria, 2015

Figura 33. Método de Bishop Simplificado ruptura Right to Left



Fonte: Elaboração própria, 2015

Percebe-se nas Figuras 30, 31, 32, 33 a linha de infiltração do solo sem a presença do filtro de pé, o qual a água percorre o maciço tendo como caminho final o talude de jusante, o qual é prejudicial para a segurança da mesma, pois com a saída da água no seu interior pode haver carreamento de finos e posteriores erosões e possíveis deslizamentos de terra. Mesmo com esse parâmetro levado em consideração temos para todos os casos valores superiores ao 1,5, o qual é o fator de segurança limitante para taludes. Pode-se verificar uma pequena diferença entre métodos, onde Bishop Simplificado tem um valor ligeiramente superior à Fellenius, isso se dá pela consideração de Bishop, da interferência de fatias próximas entre si, fazendo com que as mesmas elevem o valor de segurança do fator global.

Estes parâmetros serão considerados para posterior análise com a linha de infiltração onde há a presença do filtro de pé, podendo haver mudanças no fator de segurança da barragem, ao qual pode se dar pela presença do filtro de pé.

#### 4.5 Estabilidade dos taludes do aterro com a presença do filtro de pé e linha de infiltração presente.

Esta análise difere um pouco das demais por possuir o filtro de pé, o qual possui material de 3ª categoria, material este com característica drenante. O restante do

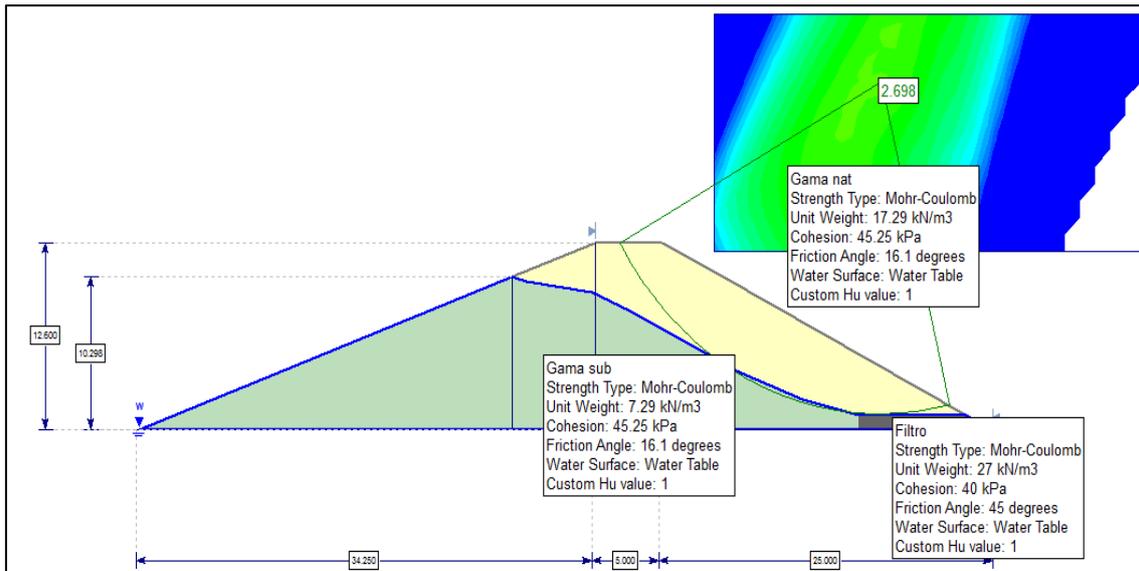
material do maciço é considerado material de 2ª categoria, havendo uma grande variância entre esses materiais devidos seus pesos específicos e também o ângulo de atrito, fazendo com que a área que possui o filtro se torne um ponto de fim de linha de ruptura.

Salientamos aqui, que considerando a linha de infiltração de água no maciço, pode-se atribuir valores de peso específico submerso para o solo, sendo que onde a mesma não passa o peso específico utilizado foi o natural. Para filtro foram atribuídos valores de peso específico = 27 KN/m<sup>3</sup>, ângulo de atrito = 45° e coesão = 40.

Será realizada a simulação (left to right) e (right to left) nos taludes, analisando a influência do filtro nos dois métodos analisados.

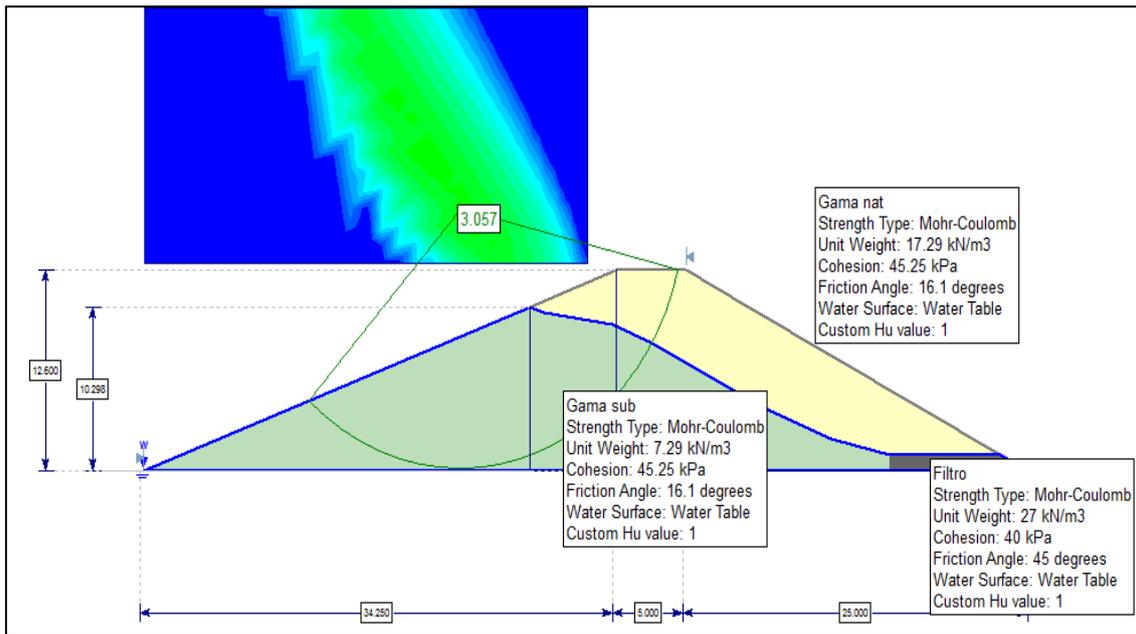
A Figura 34, 35, 36 e 37 demonstra a ruptura left to right e right to left para os métodos de Bishop simplificado e Fellenius.

Figura 34. Método de Fellenius ruptura left to right



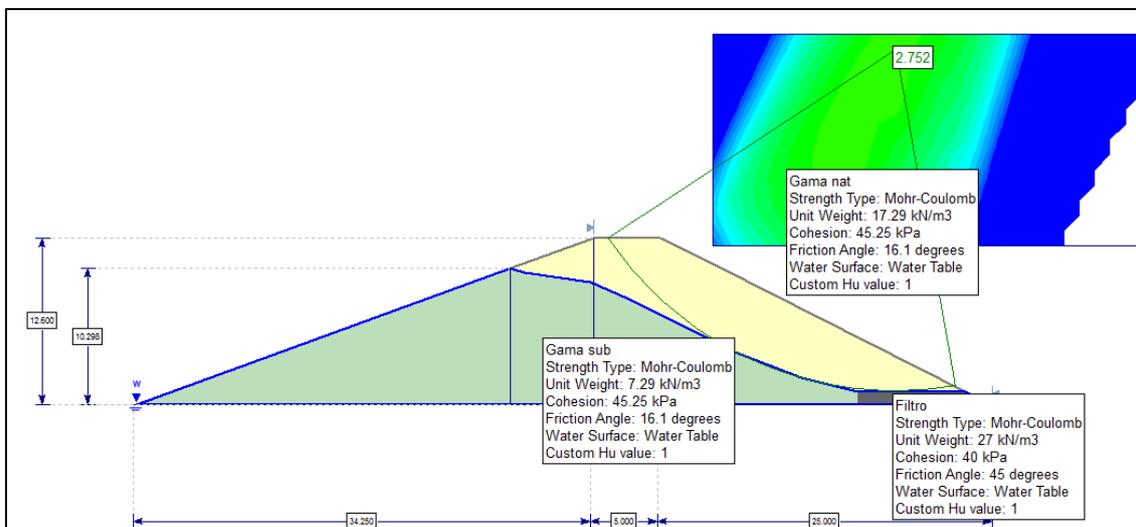
Fonte Elaboração própria, 2015

Figura 35. Método de Fellenius ruptura right to left.



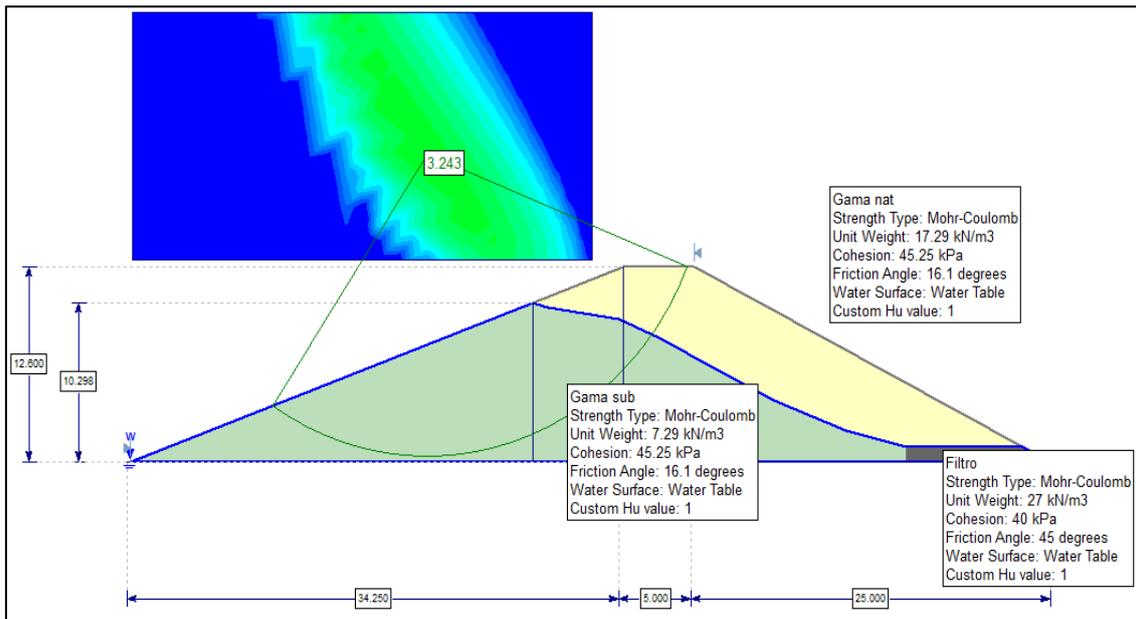
Fonte: Elaboração própria, 2015.

Figura 36. Método de Bishop Simplificado ruptura left to right



Fonte: Elaboração própria, 2015

Figura 37. Método de Bishop Simplificado ruptura right to left



Fonte: Elaboração própria, 2015

Pode-se perceber nos casos analisados acima, onde não ha presença de água, mas o solo na área azul é considerado saturado com seu respectivo valor, que o FS no talude de jusante houve um acréscimo de FS, comparando com as Figuras 34, 35, 36 e 37, sendo que o de montante teve um decréscimo, esse devido a inclinação da linha de saturação ter diminuído, fazendo com que o talude de montante estivesse com menor FS. Tais simulações foram realizadas apenas para comprovar a eficiência do filtro utilizado, onde cresceu a segurança global da barragem quase meio ponto a mais, dos referidos anteriormente.

A área admitida como a linha de infiltração encontrada no solo, levou em consideração os valores da Tabela 3 do referido trabalho.

A Tabela 4 abaixo demonstra um resumo dos valores encontrados.

Tabela 4. Resumo valores de Fator de Segurança dos taludes da barragem

<b>Sem a presença de filtro</b>			
Jusante		Montante	
Bishop	Fellenius	Bishop	Fellenius
2,59	2,503	3,909	3,731
<b>Com a presença de filtro</b>			
Jusante		Montante	
Bishop	Fellenius	Bishop	Fellenius
2,752	2,698	3,243	3,057

Fonte: Elaboração própria, 2015

## 5. ACERVO REFERENTE À EXECUÇÃO DA BARRAGEM

Neste capítulo é apresentado o processo construtivo da barragem, em ordem cronológica de execução, fazendo a demonstração e comentários com relação à evolução de construção da mesma. Podem-se perceber em vários momentos, pontos importantes e cruciais para que a segurança e funcionabilidade da barragem sejam atendidas.

Foi realizado o acompanhamento periódico da obra pelo engenheiro responsável pela execução da mesma, Jarbas, com o acompanhamento de professores da instituição.

Primeiramente, realizou-se a remoção de toda a camada vegetal e do material orgânico constituído no local, sendo feita uma trincheira, conforme projeto, atingindo assim a rocha alterada, a mais ou menos 1 metro de profundidade. A Figura 38 demonstra o início da execução da barragem.

Figura 38. Decapagem e enchimento do maciço



Fonte: Imagem própria, 2015

A Figura 38 capturada no dia 23/10/2014, relata o começo da estrutura do maciço (núcleo), o qual foi realizado a impermeabilização do conjunto. Nessa fase leva-se em consideração o acompanhamento periódico da execução, principalmente no que se diz respeito a compactação do maciço. Fase inicial do barramento, onde na extremidade à direita, pode-se perceber o local onde será realizado o filtro de pé.

A Figura 39 mostra uma continuação à imagem.

Figura 39. Maciço de montante



Fonte: Imagem própria, 2015

No dia 27/10/2014 tem-se uma visão à montante do maciço, onde o espelho d'água já está se formando. Este ficará a uma cota máxima de 11,40 metros após a barragem concluída. Percebem-se os variados locais de onde o solo está sendo retirado para a realização do maciço impermeável, pois o local de obra não dispunha de material de muito boa qualidade.

Á jusante foi realizado um filtro, o qual está contido na Figura 40, capturada no mesmo dia 27/10/2014.

Figura 40. Dimensão do filtro executado



Fonte: Imagem própria, 2015

Nesta fase vale salientar o acompanhamento da execução do filtro de pé à jusante do maciço, o qual por definições técnicas do engenheiro projetista foi determinado com uma largura de 10 metros e altura de 1 metro. Pode-se notar o material pedregulhoso presente no solo, material este indicado para execução de drenos, pois tem uma maior facilidade de passagem de água por entre seus vazios, diminuindo assim a água no interior do maciço e minimizando riscos de ruptura do mesmo. Pode-se perceber na Figura 41 a regularização do solo do sistema, após o filtro.

Figura 41. Aplainamento e compactação do sistema



Fonte: Imagem própria, 2015

Após a execução do filtro à jusante do maciço, concluída no dia 07/11/2014, o mesmo foi regularizado para a elevação da barragem. Vale salientar a inclinação dos taludes já comentada no corpo do texto.

A Figura 42, capturada no dia 18/11/2014, demonstra a coleta do solo para o barramento.

Figura 42. Coleta de solo para o núcleo do barramento



Fonte: Imagem própria, 2015

Neste momento, o solo adequado para a confecção do núcleo da barragem estava contido dentro da bacia de contribuição, o que em grande maioria é benéfico, pois ao mesmo tempo em que o material de boa qualidade é utilizado no núcleo do barramento, este é retirado do interior da barragem (local de inundação), aumentando assim o volume de água armazenado e a disponibilidade hídrica da fazenda.

Figura 43. Carregamento dos motoscraeper



Fonte: Imagem própria, 2015

A Figura 43, capturada no dia 22/01/2015, explicita um motoscaper trabalhando no local de retirada do solo, faz-se a carga com a escavadeira, o motoscaper despeja a carga no maciço e faz a compactação com seu próprio peso, segundo NB-33, utilizando os pneus. A Figura 44 de mesma data da anterior exemplifica melhor o relato.

Figura 44. Compactação e despejo do material



Fonte: Imagem própria, 2015

Conforme Figura 44, faz-se o despejo do solo no maciço, e o próprio motoscaper rebocado por trator faz o despejo já realizando a compactação do aterro, em camadas de 0,15 metros aproximadamente. Por ser um método menos rigoroso de controle de compactação, deve-se sempre ter um acompanhamento intransigente sobre a etapa de compactação, fazendo testes em laboratórios e à campo, nunca esquecendo que para obter uma boa compactação do solo, este sempre deve estar em sua umidade ótima, umidade a qual o solo tem maior capacidade de suporte.

Na Figura 45 do dia 22/01/2015 evidencia-se o crescente aumento do volume de água no interior do barramento.

Figura 45. Barramento começando sua captação



Fonte: Imagem própria, 2015

Com o aumentar do maciço de solo, a área de inundação, à montante do aterro, começa a acumular água, começando então o processo de cheia da barragem. A Figura 46, capturada no dia 16/03/2015, demonstra esse processo.

Figura 46. Grandes volumes de água já armazenado na área armazenamento



Fonte: Imagem própria, 2015

Percebe-se a grande elevação no nível do reservatório, com consequência da quase finalização do maciço terroso, onde o enrocamento já iniciado à montante do aterro e a orla de segurança acima do enrocamento, o qual se faz necessário para que a

segurança global da barragem esteja dentro dos limites de FS mínimos, no caso 1,5.

Na Figura 47 é mostrado o talude à jusante do alague.

Figura 47. Talude de jusante



Fonte: Imagem própria, 2015

No dia 16/03/2015, à jusante do maciço a proteção do talude foi dada pela implantação de capim, o qual tem grande importância na sustentação ao desmoronamento e erosão do mesmo. Nesta imagem percebe-se o filtro, no pé do talude, em pleno funcionamento com lâmina d'água aparente, demonstrando que o mesmo está em funcionamento. A parte onde se encontra a escavadeira será destinada às eventuais águas que possam vir do vertedouro em períodos de cheias, fazendo com que elas escapem do barramento, pelo vertedouro contido no extremo direito (visto de jusante) do maciço e sigam o seu fluxo, sem influenciar na segurança do barramento.

A grande quantidade de água que estava saindo pelo filtro, pode ser justificada como água que estava passando pelo fundo da barragem onde se tinha material de terceira categoria bem fragmentado, pelas características geológicas do material, de apresentar alta resistência a escavação, mesmo apresentando essa permeabilidade elevada neste estágio, foi feita uma camada de solo argiloso na parte que não teria filtro, a fim de com o tempo, permitir que as partículas finas fossem careadas e com o passar do tempo essa vazão fosse estancada. A Figura 48 demonstra o material utilizado no filtro de pé.

Figura 48. Material de 3ª categoria utilizado no filtro



Fonte: Imagem própria, 2015.

Figura 49. Enrocamento realizado



Fonte: Imagem própria, 2015

A Figura 49 também do dia 16/03/2015, exhibe a construção do enrocamento, realizado com pedras de mão e que tem por objetivo a proteção, à montante, do talude executado, onde as ondas em virtude do vento batem no talude, mas com a presença deste material não causam erosão, promovendo maior segurança ao conjunto. Percebe-

se que acima do enrocamento, temos a orla de segurança, outra execução que visa à estabilidade e segurança de todo o maciço.

Na Figura 50, de mesma data, percebe-se a área do vertedouro.

Figura 50. Vertedouro para alagues excepcionais



Fonte: Imagem própria, 2015

Por fim, verifica-se o vertedouro, o qual inicialmente tinha lima largura de 15 metros em cada lado da barragem, mas com o andamento da construção, se fez necessário colocar o total, ou seja, 30 metros de vertedouro apenas de um dos lados da barragem, lado esse que se olhado a montante da barragem se encontra à esquerda, e serve para extravasões na barragem em períodos de cheias, ou seja, se o volume de água vier a ser maior do volume estipulado no dimensionamento, este excesso se dissipará pelo vertedor lateral, este obrigatório na execução de barramentos e indispensáveis para a segurança do sistema.

A Figura 51 dá continuação à demonstração do vertedouro contido ao lado do maciço.

Figura 51. Vertedouro



Fonte: Imagem própria

Na Figura 51, percebe-se o local aonde a água que virá do alague e correrá para a parte posterior da barragem, ou seja, para trás do talude de jusante. A elevação em solo e rocha aparente na imagem é para que a água que virá no vertedouro não penetre no barramento e sua trajetória seja exclusivamente de um contorno sobre o mesmo e despejo atrás do talude de jusante.

As Figuras 52, 53, 54 e 55 demonstram a barragem no seu nível máximo de água.

Figura 52. Crista da barragem



Fonte: Elaboração própria

Figura 53. Vertedouro em local de jusante da barragem



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 53, percebe-se o vertedouro da barragem ao qual escoo o excesso de água presente no interior da lâmina de água.

Figura 54. Lâmina de água no nível máximo do barramento



Fonte: Elaboração própria

## **6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **6.1 Conclusões**

A construção da barragem na Estância Recreio vai trazer grandes benefícios para o proprietário gerando um grande diferencial no cultivo da cultura do arroz, fechando um ciclo de águas dentro da propriedade à qual não haverá mais desperdício da mesma após a irrigação, pois fecha-se um ciclo, onde a água que excede nas lavouras são conduzidas as barragens à jusante das mesmas.

As dimensões da barragem em estudo foram de: Altura total da barragem de 12,6 metros, com nível máximo em 11,4 metros e nível normal em 11 metros. O talude de montante possui inclinação de 1:2,5 (V:H), bem como o de jusante 1:2,0 (V:H), valores estes retirados da Figura 20. A projeção horizontal do talude de montante foi de 34,25 metros, sendo o de jusante de 25 metros, com centro (crista) de 5 metros, totalizando 64,25 metros. A largura de fundo da barragem é de 104,6 metros, bem como sua largura total de 248,05 metros.

O extravasor (vertedouro) teve geometria conforme um canal retangular com largura de 30 metros e altura de 0,4 metros, situado (visto de montante) à esquerda do conjunto.

A linha de saturação do maciço localizou-se dentro do mesmo, sendo assim constatada a necessidade do filtro para garantia da segurança do mesmo, com dimensões de 10 metros de largura e 1 metro de altura, construído no pé de jusante do barramento.

Nas simulações realizadas no software percebe-se que depois de realizadas, as mesmas respeitaram o limite de  $FS=1,5$  comprovando assim que a segurança do maciço por hora está assegurada, tendo em vista que para manter a mesma deve haver inspeções periódicas.

O acervo fotográfico montado foi de grande importância para que possamos conciliar na prática a teoria adquirida durante o período de graduação, acompanhando o andamento da execução da barragem, fazendo com que este se torne um memorial para trabalhos futuros, relatando dificuldades e particularidades detectadas em cada fase de sua construção.

Observou-se a elevação do fator de segurança com a presença do filtro, e desta forma, além do mesmo não permitir o fenômeno de “piping” auxilia na estabilidade do maciço.

## **6.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Em trabalhos futuros pode-se levar em consideração a análise e acompanhamento futuro do comportamento do maciço, para que seja relatado como se comporta a barragem após sua cheia e como seus principais elementos trabalham, verificando se o dimensionamento dos mesmos foi realizado de maneira correta.

Instalar inclinômetros dentro do maciço para acompanhar o comportamento da estrutura ao longo do tempo.

Instalar piezômetros para verificar como se dá a saturação da barragem, fazendo comparativos com os valores de projeto tendo assim parâmetros para definir como a segurança da barragem está sendo influenciada pela presença de água em seu interior.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **A revanche dos ventos – Derruição dos solos areníticos e formação de areais na Campanha gaúcha.** Ciência e Ambiente. Santa Maria: Imprensa Universitária. UFSM. vol 11. P.53-64. 1995.

ANA. **Manual de estudos de disponibilidade hídrica para aproveitamentos hidrelétricos:** Manual do usuário. Agência Nacional de Águas, Brasília: ANA, SOF, 2010. 71p.

ADAM. **ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. Roteiro básico para o dimensionamento de pequenas barragens de terra no estado de MG.** Disponível em: <[http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos\\_aplicativos/roteiro\\_dimensionamento\\_barragens.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html)>. Acesso em: 27 maio 2015.

BAPTISTA, M.B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica.** 3ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2010. P. 371 – 391.

BARROS, J. G. do C. **Origem, Distribuição e Preservação da Água no Planeta Terra.** São Paulo. Revista das Águas, n. 6, 2008.

BIBLIOTECA DIGITAL, EMBRAPA: **Cultivo de arroz irrigado no Brasil;** disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap01.htm>. Acesso em: 30/11/2015.

BISHOP, A. W. “**The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes**” Geotechnique, Vol 5, No. 1, 1955, pp 7-17.

CARVALHO, J. de A. **Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação.** Lavras: Ed. UFLA, 2008. 153p.

\_\_\_\_\_, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia.** Agosto/2006. p. 15 – 32.

CASTRO, C. N. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira.** Textos para discussão, n. 1477. Brasília: IPEA, 2012.

CIGB. **As Barragens e a Água do Mundo**: um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo. Tradução de Texto Faz Comunicação S/S Ltda. Paraná: NPR, 2008.

COSTA, W. D. **Geologia de Barragens**. Oficina dos textos. 352f. 1ª Edição. 2012.

DYMINSKI, S. A. **Notas de aula – Noções de estabilidade de taludes e contenções**. UFPR, 2007.

EMBRAPA. **Embrapa Semiárido**. Sistema de produção, 6. Versão eletrônica. 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/irrigacao.htm>>. Acesso em: 25 maio 2015.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicação na estabilidade dos taludes**. Curitiba: Editora da UFPR, 2009.

FLIZIKOWSKI, L. C.; PELEGRINO, E. C. F.; MAIA, A. G. **Análise comparativa entre equações de tempo de concentração na Bacia Hidrográfica do Arroio dos Pereiras**. In: Semana de estudos da engenharia ambiental, 6, 2008. Irati.

GUIBERT, M. **Re-territorialización del sector agropecuario cuencaplataense: apuntes de base sobre las reconfiguraciones productivas actuales**. In: Agricultura, Desenvolvimento e transformações sócio-espaciais, Atas do III encontro dos grupos de pesquisa, UFRGS, Porto Alegre, 30/07 ao 01/08/2007, livro no prelo, 2008.

ICOLD - CIGB. **As barragens e a água do mundo**: Um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo. Tradução Texto Faz Comunicação S/S Ltda. Curitiba: Núcleo regional do Paraná, 2008.

HRADILEK, P. J. et al. **Avaliação de pequenas barragens**. Brasília: Bureau of Reclamation, 2002. 74f. : il. (Manual de Irrigação, v.6).

IBF. INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. Londrina/PR, 2006. Disponível em: <<http://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa.html>>. Acesso em: 28 abril 2015.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: 12 maio 2015.

Faerr. **Arroz irrigado será destaque na abertura oficial da colheita em RR.** Disponível em: <<http://ruralcentro.uol.com.br/noticias/arroz-irrigado-sera-destaque-na-abertura-oficial-da-colheita-em-rr-76295>>. Acesso em: 30 novembro 2015.

FERNANDES, D. W. **Verificação da resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de um solo natural e melhorado com cimento, cal e cinza da casca de arroz.** Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de bacharel – Engenharia Civil, Unipampa, Alegrete, 2014.

LEÃO, F.R. **Dimensionamento de uma pequena barragem de terra para produção de energia hidrelétrica e irrigação em uma propriedade rural.** 2012. 110f. Monografia para obtenção do título de Bacharel – Engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2012.

LEMES, L; SILVA, B.G. **A paisagem regional da fronteira Oeste e o Areal de Quaraí/RS.** Laboratório de estudos e pesquisas arqueológicas. Santa Maria/RS. Vol 1. 2013. 32f.

LIMA, F. **Água na dose certa.** Reportagens/tecnologia. 200?. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT332287-18283,00.html>>. Acesso: 26 maio 2015.

LIMA, H. M.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES,0020A.; RAMINHOS, C. **Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso.** REM: R. Esc. Minas. Ouro Preto, v.60, n.3, p. 525 – 536, 2007.

LINDMAN, C.A.M.; FERRI, M.G. **A vegetação no Rio Grande do Sul.** Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/EDUSP, 1974. 391p.

LORENSI, R. P.; ZARDO, K.; MATTAR, D. M. P.; NISHIJIMA, T. **A utilização dos recursos hídricos no sistema de irrigação por superfície (inundação) na cultura do arroz mediante as normatizações**. Paraná: Ambiência Guarapuava. v.6, n.2, 2010.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Barragens de Terra e Enrocamento, Cap 5, 2004.

MARCHIORI, J.N.C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004. 110p.

MENDONÇA, M. B. de. **Notas de aula da disciplina Obras de Terra**. UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2012.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasília/DF, 201-?. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>>. Acesso: 12 maio 2015.

NIMER, R. **Clima. Geografia do Brasil**. Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. P35-79.

REBOUÇAS, A.C. **Água doce no mundo e no Brasil**. In: REBOUÇAS, A. C, BRAGA, B.B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

SALBEGO, A.G. **“Notas de aula da disciplina de Hidrologia”**. UNIPAMPA/CAMPU ALEGRETE, Alegrete/RS, 2013.

SAYÃO, A. **“Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento”**. Curso de Mestrado da PUC -RJ, Rio de Janeiro, 2009.

STEPHENS, T. **FAO - Manual sobre pequenas barragens de terra: guia para localização, projeto e construção**. Roma: Organização das Nações Unidas para a alimentação e agricultura, 2011. 120p. (Publicação de FAO sobre rega e drenagem, 64).

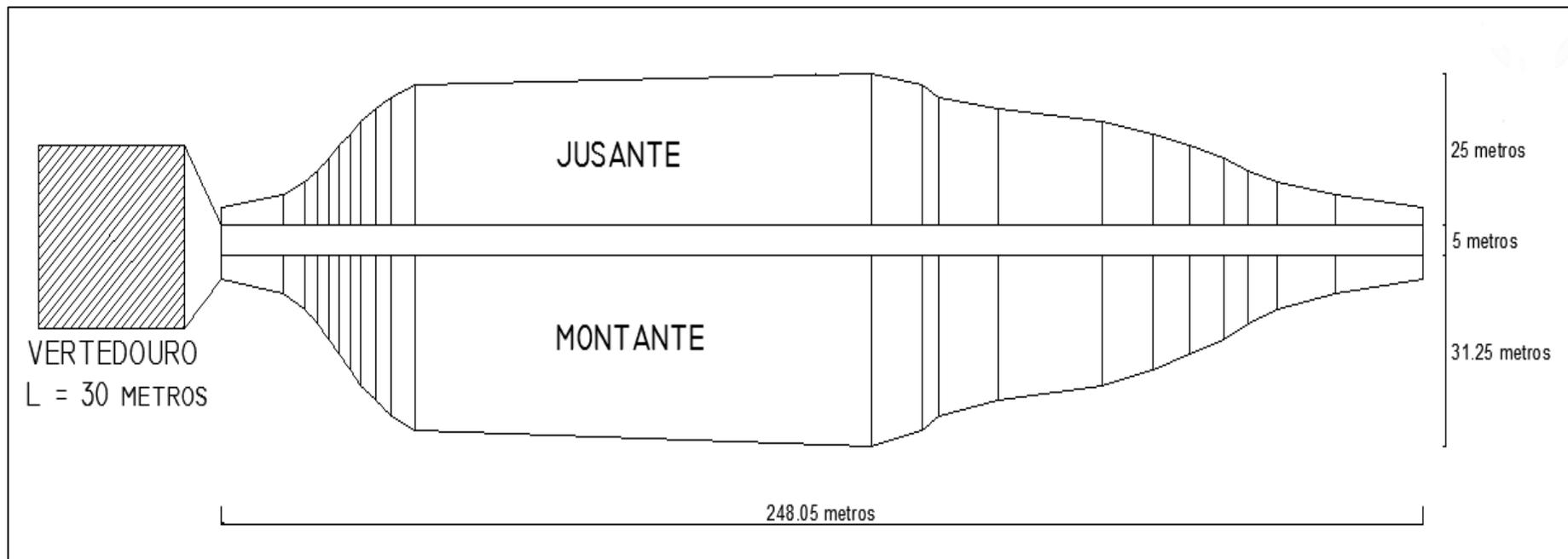
TOMAZ. P. **Manejo de Águas pluviais**. Cap. 80. 2010. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo\\_80\\_efeito\\_vento.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo_80_efeito_vento.pdf)>. Acesso em: 28 maio 2015.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 3ª ed. Porto Alegre, 2004.

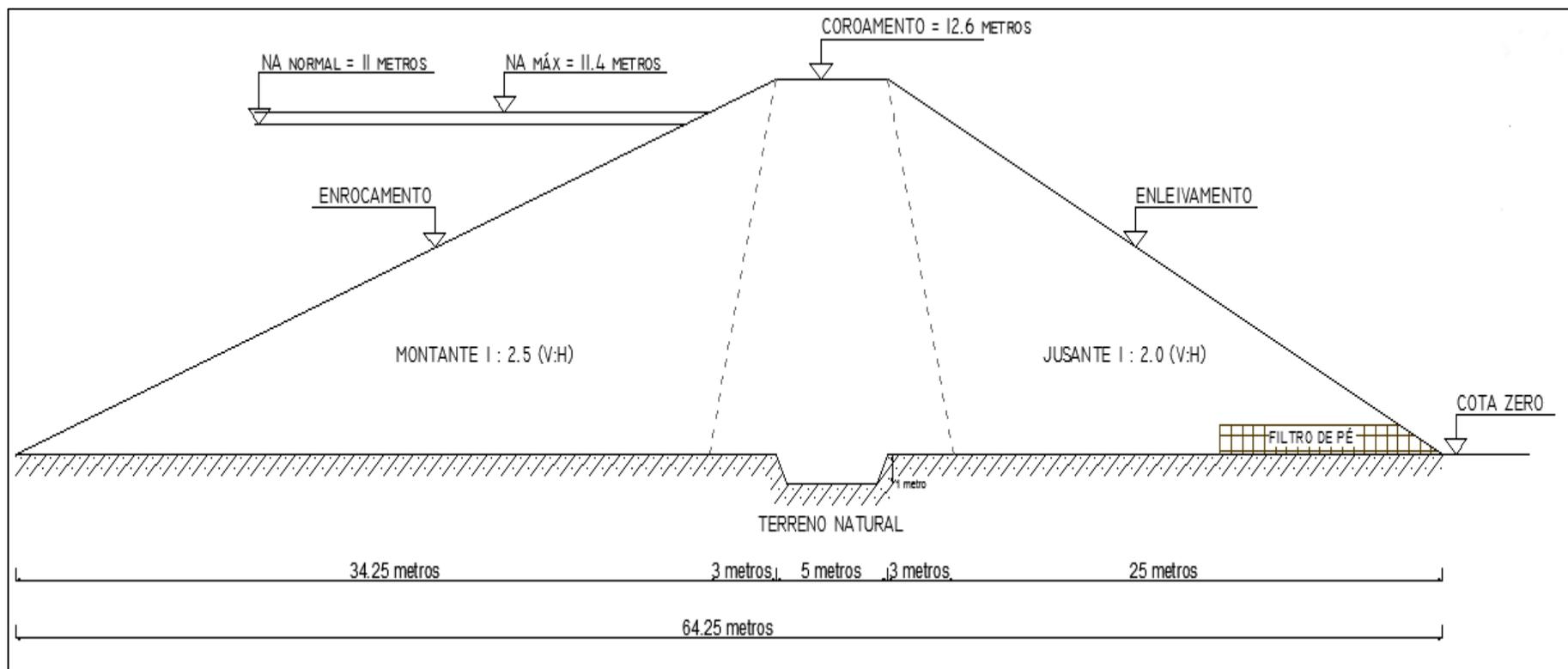
TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos**. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos-SP, 2003. Disponível em: <<https://www.multiciencia.unicamp.br/art03.htm>>. Acesso em: 12 maio 2015.

VIANA, R; OLIVEIRA. K. DE. **Irrigação por superfície**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2011. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe8kAAG/apresentacao-irrigacao-pdf?part=3>>. Acesso em: 26 maio 2015.

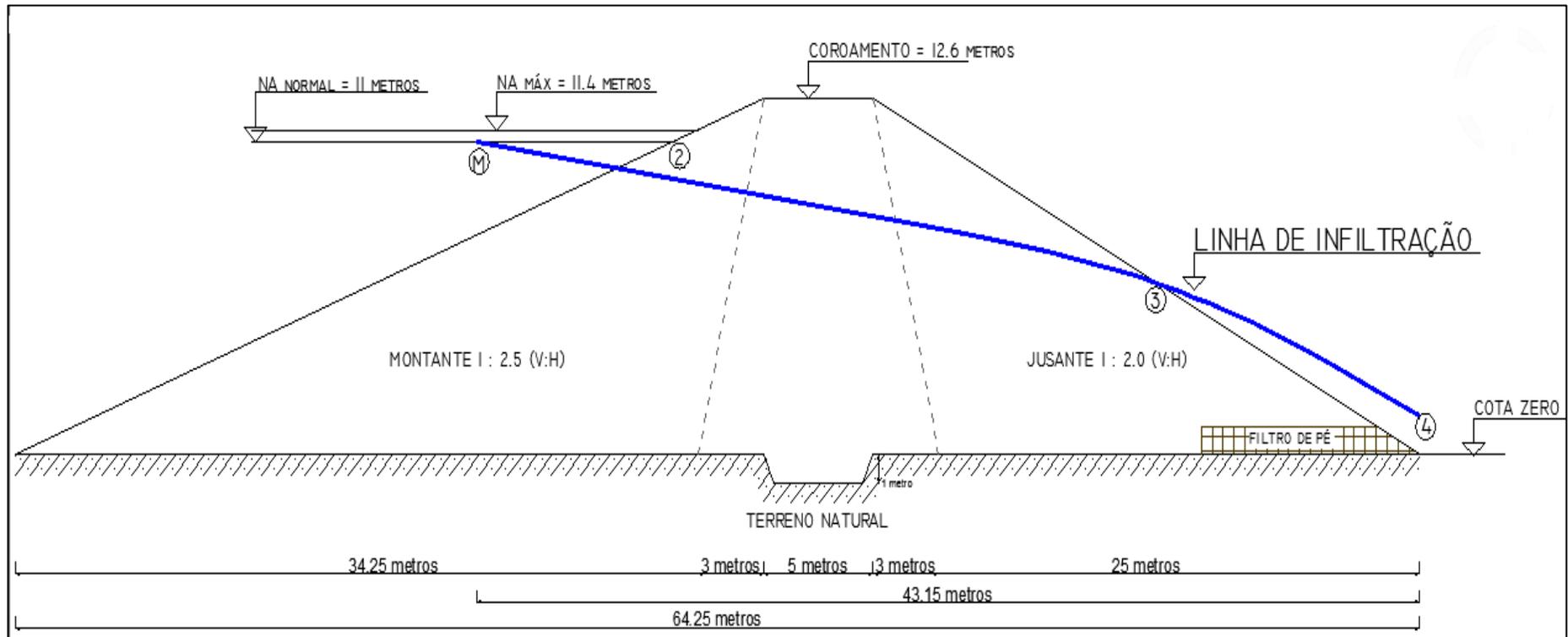
**APÊNDICE A**  
**Planta baixa - maciço de terra.**



**APÊNDICE B**  
**Seção transversal do maciço.**



**APÊNDICE C**  
**Linhas de infiltração no talude.**



## APÊNDICE D

### Seção transversal do vertedouro.

