



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

ANÁLISE DE CONDICIONANTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS PARA
O ROMPIMENTO DE PEQUENAS E MÉDIAS BARRAGENS DE TERRA:
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO JAGUARI MIRIM NO
MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA, SP

Laura Ursino Pereira Vinaud

Rio Claro (SP)

2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



LAURA URSINO PEREIRA VINAUD

ANÁLISE DE CONDICIONANTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS PARA O
ROMPIMENTO DE PEQUENAS E MÉDIAS BARRAGENS DE TERRA: ESTUDO
DE CASO NA BACIA DO RIO JAGUARI MIRIM NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO
DA BOA VISTA, SP

*Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro
(SP), da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental*

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Rio Claro (SP)

2013

624.151 Vinaud, Laura Ursino Pereira
V766a Análise de condicionantes geológico-geotécnicos para o rompimento
de pequenas e médias barragens de terra: estudo de caso na bacia do Rio
Jaguari Mirim no município de São João da Boa Vista, SP / Laura Ursino
Pereira Vinaud. - Rio Claro, 2013
71 f. : il., figs., quadros, fots., mapas + mapa

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia ambiental) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

1. Geologia de engenharia. 2. Obras de terra. 3. Reservatórios. 4.
Riscos. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



LAURA URSINO PEREIRA VINAUD

**ANÁLISE DE CONDICIONANTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS PARA O
ROMPIMENTO DE PEQUENAS E MÉDIAS BARRAGENS DE TERRA:
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO JAGUARI MIRIM NO MUNICÍPIO
DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA, SP.**

*Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro
(SP), da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental*

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis (Orientador)

Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

Eng. Ana Maria Carrascosa do Amaral

Rio Claro, 04 de julho de 2013

assinatura da aluna

assinatura do orientador

Rio Claro (SP)

2013

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que, de alguma forma, apoiaram a minha jornada na UNESP, me dando forças para que esta conclusão de curso fosse possível. Agradeço ao prof. Fábio, por sua disponibilidade e dedicação, me orientando e sempre me ajudando. Agradeço aos meus amigos feitos aqui: Caio, Ana, Japa, Carolzinha, Fer, Isa, Aninha, Cazuzete, Helô, Carol, Verna, dentre tantos outros queridos, que me acompanharam por todos estes anos e me proporcionaram momentos inesquecíveis, os quais levarei comigo com grande carinho. A Jane, minha cachorrinha, companheira de 20 anos de vida e dona de grande saudade.

Agradeço principalmente a minha família, meu grande porto seguro, que me fez quem sou para que este caminho fosse seguido da melhor maneira possível. Rosa, mãe que confundo com amiga, que se fez presente com seu apoio em todos os momentos da minha jornada em Rio Claro, não teria conseguido sem o seu amor e seus conselhos, esta vitória é tão sua quanto minha.

Karla e Ítala, minhas irmãs e melhores amigas, agradeço ao apoio e conselhos que se fizeram luz em minha estrada. Aos meus pequenos anjos, Cecília e Melissa, agradeço pelos sorrisos inocentes e demonstrações de saudade que engrandecem minhas raízes e aumentam a minha força!

E principalmente, não só agradeço como dedico, tudo isto ao meu amado pai. Lázaro, meu maior exemplo de luta e sabedoria, que partiu, mas deixou em mim todos os motivos para nunca desistir. Sua ausência ao meu lado não é nada perto da sua presença em meu coração. Você é a razão pela qual me imaginei Engenheira Ambiental e a força que me fez conseguir. Meu exemplo, minha saudade, meu amor, obrigada por tudo.

RESUMO

O barramento de cursos d'água é uma das técnicas mais antigas utilizada pelas sociedades, visando aumentar a disponibilidade hídrica e atender a múltiplas necessidades. O crescimento da preocupação ambiental distribuído em vários efeitos das atividades humanas favoreceu uma maior atenção dada a este tipo de empreendimento. De fato, as consequências ambientais referentes aos problemas com barragens são proporcionais ao tamanho destas, favorecendo um estudo mais detalhado de projetos de represamentos de grande porte e a criação de políticas que zelem por sua construção, estabilidade e manutenção. Desta maneira, existe uma grande negligência no que tange o projeto de pequenas e médias barragens, sendo este limitado a instrução de manuais técnicos, apostilhas didáticas e recomendações empíricas (PASCHOALIN FILHO, 2002) e a proliferação destas obras é cada vez maior. Tendo em vista estas considerações, o presente trabalho tem como objetivo analisar os condicionantes geológicos e geotécnicos para rompimento de pequenas barragens de terra, realizando um estudo de caso na Bacia do rio Jaguari Mirim, no município de São João da Boa Vista (SP), podendo servir de incentivo ao aumento das preocupações com as construções deste tipo de obra. Na área de estudo foram identificadas, a partir de imagens de satélite, 248 barragens. Foi utilizado o mapa de compartimentação fisiográfica definido por Pilachevsky (2013) para a observação das regiões contidas na área de estudo que possuiriam maior risco segundo o rompimento de barragens. Assim, 9 destas foram observadas em campo, utilizando critérios definidos por Cerri, Reis e Giordano (2011) e foram definidos os seus respectivos riscos de rompimento. É imprescindível um estudo sobre este tipo de obra para que se evitem perdas. Uma análise dos condicionantes geológicos e geotécnicos referentes ao rompimento de barragens direciona o projeto de forma a evitar danosas consequências, principalmente quando da associação com condições adversas observadas no local da construção.

Palavras-chave: Pequenas e médias barragens, condicionantes geológicos e geotécnicos, rompimento de barragens.

ABSTRACT

The act of containing water is one of the most practiced by the civilizations along history, in the will to increase the offer of water to many uses. The raise of environmental worries surround many human activities has given a big attention to dams. Indeed, the environmental consequences about dams are proportional to their size, what gives to the big dams a more detailed Project and a bigger political concerning that increases the built, stability and maintenance of them. Then, the projects of medium and small dams are weak, limited to handbooks, textbooks and empirical recommendations, while the constructions of small dams are growing everytime more. With that being said, the present work intends to analyse the geological and geotechnical conditionants that can cause break of small earth dams by making a case study in the Jaguari Mirim Watershed, located in the city of São João da Boa Vista (SP), and can be used to encourage the concern with small dams. In the area of study were identified, from satellite images, 248 dams. The map of physiographical compartmentalization defined by Pilachevsky (2013) was used to define the locations in the study area that would have bigger risk to the break of dams. Then, 9 of this dams were analysed in field research, using references made by Cerri, Reis e Giordano (2011) and the risk of the analysed dams were defined. A study about this type of structure is highly necessary to avoid big damages. An analysis of the geological and geotechnical conditionants that can cause break of dams guides the project in a way to avoid adverse consequences, especially when integrated with locational conditions observed in the place of the dam's building.

Key words: Small and medium dams, geological and geotechnical conditionants, dam breaking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Barragem de Enrocamento com núcleo argiloso – Barragem de Itaúba	16
Figura 2. Barragem de São Simão – Barragem de Enrocamento	16
Figura 3. Perfil de uma Barragem de Terra	18
Figura 4. Seção de Barragem de Terra – Barragem do Vigário	19
Figura 5. Seção de barragem de terra simples, com corpo homogêneo	21
Figura 6. Seção de Barragem de terra simples com corpo heterogêneo	22
Figura 7. Seção de barragem de terra com núcleo central	22
Figura 8. Seção de barragem de terra com núcleo externo	23
Figura 9. Seção de barragem de terra com núcleo misto	23
Figura 10. Curva Granulométrica	26
Figura 11. Utilização de Filtro Vertical. Exemplo da Barragem de Itumbiara	27
Figura 12. Utilização de Filtro Horizontal. Exemplo da Barragem de Passaúna	27
Figura 13. Estágios de formação de Piping	29
Figura 14. Localização da área de estudo, na Bacia do Jaguari Mirim em São João da Boa Vista (SP).	44
Figura 15. Hidrografia da área de estudo, na bacia do Jaguari Mirim em São João da Boa Vista, SP.	45
Figura 16. Temperatura média mensal de São João da Boa Vista, SP.	50
Figura 17. Pluviosidade média mensal de São João da Boa Vista, SP	50
Figura 18. Localização das cavas de mineração, visitadas nos pontos 1 e 2.	57
Figura 19. Visualização da cava de mineração no ponto 1.	57
Figura 20. Visualização da cava de mineração no ponto 2	58
Figura 21. Visualização das barragens em série visitadas nos pontos 3, 4 e 5	58
Figura 22. Visualização da barragem no ponto 3.	59
Figura 23. Visualização do talude a jusante da barragem no ponto 3, com alta inclinação e presença de processos erosivos	59
Figura 24. Visualização da barragem no ponto 4.	60
Figura 25. Visualização do processo de rastejo na encosta do lado esquerdo da barragem no ponto 4.	60
Figura 26. Visualização da barragem no ponto 5.	61
Figura 27. Visualização do vertedouro da barragem no ponto 5, causando processos erosivos.	61
Figura 28. Localização da barragem no ponto 6.	62

Figura 29. Visualização da barragem no ponto 6.	62
Figura 30. Localização da barragem no ponto 7	63
Figura 31. Visualização da barragem no ponto 7.	63
Figura 32. Visualização de processo erosivo na encosta do lado esquerdo da barragem no ponto 7,mas sem risco de movimento de massa.	64
Figura 33. Localização da barragem no ponto 8.	64
Figura 34. Visualização da barragem no ponto 8, com processo erosivo na margem esquerda, vale fechado, alta probabilidade de movimento de massa à montante em episódios de cheias excepcionais.	65
Figura 35. Localização da barragem no ponto 9.	65
Figura 36. Visualização da barragem no ponto 9.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação do Tipo de Barragem de acordo com sua função	15
Quadro 2. Classificação dos Tipos de Barragens de acordo com sua Seção	15
Quadro 3. Inclinações dos taludes de acordo com o tipo de solo.	21
Quadro 4. Valores de coeficientes de permeabilidade	24
Quadro 5. Frequência média de ruptura por pipping no maciço, por categoria de zoneamento de Barragens	28
Quadro 6. Classificação dos movimentos de massa	31
Quadro 7. Variáveis selecionadas para corridas de massa.	33
Quadro 8. Variáveis selecionadas para eventos de cheias excepcionais.	34
Quadro 9. Listagem de palavras-chave e correlações em português e em inglês selecionadas para o levantamento bibliográfico da pesquisa.	37
Quadro 10. Parâmetros analisados da compartimentação fisiográfica para avaliação das unidades, segundo risco de rompimento de barragens.	40
Quadro 11. Grau de risco para rompimento de barragens de acordo com as unidades de compartimentação fisiográfica propostas por Pilachevsky (2013).	40
Quadro 12. Características das unidades fisiográficas definidas por Pilachevsky (2013)	47
Quadro 13. Principais condicionantes relacionados a fatores internos para o rompimento de barragens.	51
Quadro 14. Características observadas em campo.	53
Quadro 15. Ficha de análise dos parâmetros locais observados nas barragens visitadas.	67
Quadro 16. Definição da potencialidade de rompimento das barragens da área de estudo	67

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	13
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL	14
	3.1 Conceituação dos Principais Tipos de Barragens	14
	3.1.1 <i>Barragens de Enrocamento</i>	<i>16</i>
	3.1.2 <i>Barragens de Concreto</i>	<i>17</i>
	3.1.3 <i>Barragens de Terra</i>	<i>17</i>
	3.2 Características de Pequenas e Médias Barragens de terra	19
	3.2.1 <i>Barragens de Terra simples com corpo homogêneo</i>	<i>20</i>
	3.2.2 <i>Barragens de Terra simples com corpo heterogêneo</i>	<i>21</i>
	3.2.3 <i>Barragens com núcleo</i>	<i>22</i>
	3.3 Fatores Condicionantes para Rompimento de Barragens	23
	3.3.1 <i>Fatores relacionados a causas internas</i>	<i>23</i>
	3.3.2 <i>Fatores relacionados a causas externas</i>	<i>31</i>
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	35
	4.1. Materiais	35
	4.2. Métodos e Etapas de Trabalho	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
	5.1 Caracterização da Área de Estudo	42
	5.1.1. <i>Localização e Contexto hidrográfico</i>	<i>42</i>
	5.1.2. <i>Contextualização Geológico-Geotécnica</i>	<i>45</i>
	5.1.3. <i>Contextualização Geomorfológica</i>	<i>48</i>
	5.1.4. <i>Contextualização Climática</i>	<i>49</i>
	5.1.5. <i>Contextualização pedológica</i>	<i>50</i>
	5.2 Condicionantes geológicos e geotécnicos para o rompimento de barragens	51
	5.3 Situação das barragens na área de estudo	52
	5.4 Potencialidade de rompimento das barragens na área de estudo	66
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	68
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

APÊNDICES

APÊNDICE A: Unidades geológicas da área de estudo

APÊNDICE B: Unidades geomorfológicas da área de estudo

APÊNDICE C: Barragens delimitadas na área de estudo.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O presente trabalho tem como principal tema a definição de critérios geológico-geotécnicos condicionantes de rompimento de pequenas e médias barragens de terra. Para tal, será realizado um estudo de caso da bacia do rio Jaguari Mirim, no município de São João da Boa Vista.

Para a construção de pequenas e médias barragens de terra, na maioria dos casos, não consta um projeto baseado em dados obtidos por meio de ensaios laboratoriais e de campo, ou mesmo na análise criteriosa da estabilidade do barramento, acarretando assim o aparecimento de um grande número de fissuras, vazamentos, solapamentos de taludes, recalques acentuados, etc. (PASCHOALIN FILHO, 2002).

A maior parte das pesquisas geotécnicas são voltadas para as barragens de grande porte, deixando em segundo plano aquelas de pequeno e médio. Assim, para a formulação de projeto para estas últimas, são utilizadas apenas orientações provenientes de manuais técnicos, apostilas didáticas e recomendações empíricas (PASCHOALIN FILHO, 2002).

Em seus estudos, Foster et al. (2000) investigaram os modos pelos quais barragens de grande e pequeno portes se romperam. Trabalharam com 128 casos no mundo que continham informações que permitiam a classificação pelo modo da ruptura. Alguns destes fatores descritos são: Galgamento, Piping e Escorregamento de Taludes. Já Segundo Charles (1997) as principais causas de ruptura de barragens são: baixa resistência ao cisalhamento dos materiais da barragem, altos valores de poropressão, galgamento e erosão interna.

Os prejuízos nos casos de rompimento de barragens são múltiplos, envolvendo perdas ambientais, sociais e econômicas. Somente no Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas, foram contabilizados cerca de 800 acidentes ou incidentes com barragens nos últimos anos, envolvendo desde pequenos problemas de operação ou manutenção até grandes desastres (ANA, 2009).

Para este estudo contemplando os condicionantes geológico-geotécnicos para o rompimento de pequenas e médias barragens de terra, será focada como área de estudo o a bacia do rio Jaguari Mirim, no município de São João da Boa Vista. Este município está situado na porção nordeste do estado de São Paulo, nas proximidades da divisa com Minas Gerais, limitando-se com: Aguaí, Vargem Grande do Sul, Espírito Santo do Pinhal, Santo Antônio do Jardim, Águas da Prata e Andradadas. A região é constituída por rochas do embasamento cristalino, capeadas por sedimentos pertencentes ao Maciço Guaxupé

(WERNICK; PENALVA, 1980), da Formação Itararé, intrusões básicas pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná, e sedimentos Cenozóicos inconsolidados formados por depósitos aluvionares (IPT, 1981).

Dada a grande importância no estudo da estabilidade de barragens, nos danos ambientais, sociais e econômicos e na pequena quantidade de informações referentes ao condicionamento geológico-geotécnico envolvendo o rompimento de pequenas e médias barragens de terra, é fundamentado o presente Trabalho de Conclusão de Curso, orientado pelo docente Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP).

2. OBJETIVO

O objetivo principal do presente projeto é identificar e analisar os principais condicionantes geológico-geotécnicos associados ao rompimento de pequenas e médias barragens de terra. Para tal, um estudo de caso acerca da estrutura dos barramentos, das condições do entorno da obra e bacia hidrográfica em que a barragem está inserida será realizado, tendo definido como área de estudo a bacia hidrográfica do Rio Jaguari Mirim, no município de São João da Boa Vista, SP.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

Nesse capítulo serão abordados os seguintes temas, a partir de revisão bibliográfica, que serviram de fundamentação teórico conceitual para o desenvolvimento do estudo:

- Conceituação dos Principais Tipos de Barragens:
- Caracterização de Pequenas e Médias Barragens de Terra
- Fatores Condicionantes para o Rompimento de Barragens

3.1. Conceituação dos Principais Tipos de Barragens

Segundo a Lei nº 12.334 de 2010, artigo 2º, barragem é definida como “qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas” (BRASIL, 2010). Caputo (1987) define barragens como sendo estruturas construídas em vales e destinadas a fechá-los transversalmente, proporcionando assim um represamento de água.

De acordo com sua função, as barragens podem ser classificadas em dois grupos, as Barragens de Retenção e as Barragens de Regularização. Segundo Moreira (1981) as Barragens de Retenção são construídas com a finalidade de reter água, na maioria das vezes para controle de cheias. Na mineração, este tipo de barragem também é muito usado, para reter os rejeitos advindos do processo industrial.

Já as Barragens de Regularização têm a finalidade de regularizar o regime hidrológico dos rios, equilibrando assim a demanda por água. Assim, o uso destas barragens é diverso, como reter água para o aproveitamento hidrelétrico, para abastecimento e até mesmo para navegação, conforme apresenta o **quadro 1** (MOREIRA, 1981).

As barragens são ainda classificadas em diversos tipos de acordo com sua seção, como as Barragens de Terra Homogêneas, Barragens de Terra Zoneadas, Barragens de Enrocamento e Barragens de Concreto. Segundo Moreira (1981) para a seleção do tipo de barragem o que predomina é a disponibilidade dos diversos materiais, além do arranjo geral do próprio empreendimento.

O **quadro 2** apresenta para cada tipo de barragem uma síntese das características principais e os condicionantes de sua estabilidade. As seguir é apresentado uma caracterização mais detalhada das barragens de enrocamento, de concreto e de terra.

Quadro 1. Classificação do Tipo de Barragem de acordo com sua função

Tipo de Barragem (Função)	Finalidade	Exemplo para sua utilidade
Barragens de Retenção	Reter água (Controle de cheias)	Mineração: Reter resíduos advindos do processo industrial
Barragens de Regularização	regularizar o regime hidrológico dos rios	Reter água para o aproveitamento hidrelétrico, abastecimento e navegação

FONTE: Adaptado de Moreira, 1981.

Quadro 2. Classificação dos Tipos de Barragens de acordo com sua seção.

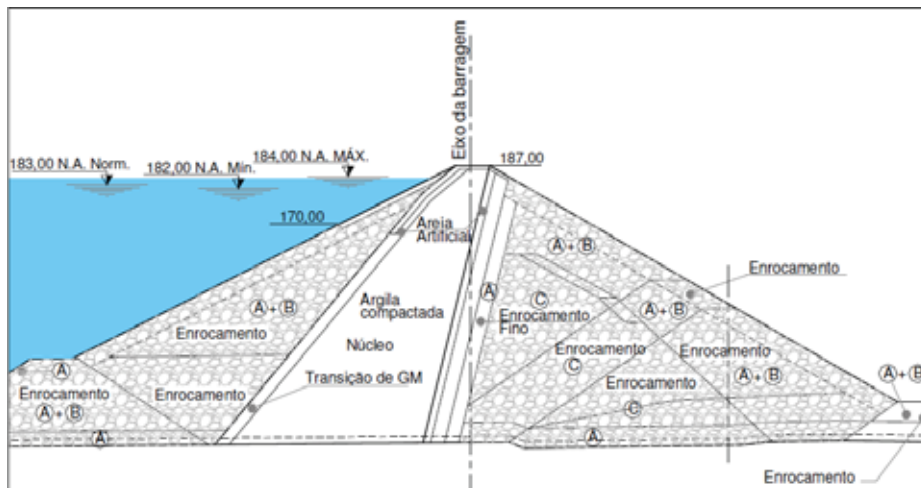
Tipo de Barragem (Seção)	Características	Estabilidade
Barragens de Terra - Homogêneas	Solo compactado de um só material é predominante Melhor adaptação a qualquer tipo de fundação - Menor custo	São requeridos taludes abatidos
Barragens de Terra - Zoneadas	Presença de mais de um tipo de material Presença de um núcleo impermeável	São requeridos taludes abatidos
Barragens de Enrocamento	Aterro de fragmentos de rocha e cascalho, compactados	Baseada nos Ângulos de Atrito gerados pelas camadas com rolos vibratórios
Barragens de Concreto - Gravidade	Constituídas de material aluvião incoerente ou de rocha sã	Baseada no peso da barragem e sua largura de base
Barragens de Concreto - A Rolo	O concreto é lançado em camadas pequenas e compactado com a utilização de um rolo especial	Dependente de defeitos geológicos sub-horizontais, ou seja, zonas sub-horizontais de resistência ao cisalhamento mais baixa
Barragens de Concreto - Em Arco	Construídas em concreto, curvadas para montante e na direção do reservatório	Dependente da resistência do material de apoio nas margens

3.1.1 Barragens de Enrocamento

As barragens de enrocamento são aterros construídos com fragmentos de rocha e cascalho, compactados em camadas com rolos vibratórios. Neste tipo de barragem, os deslizamentos são menos comuns devido ao ângulo de atrito. De acordo com Massad (2003), as estruturas de enrocamento são mais estáveis, não havendo relatos de ruptura de seus taludes.

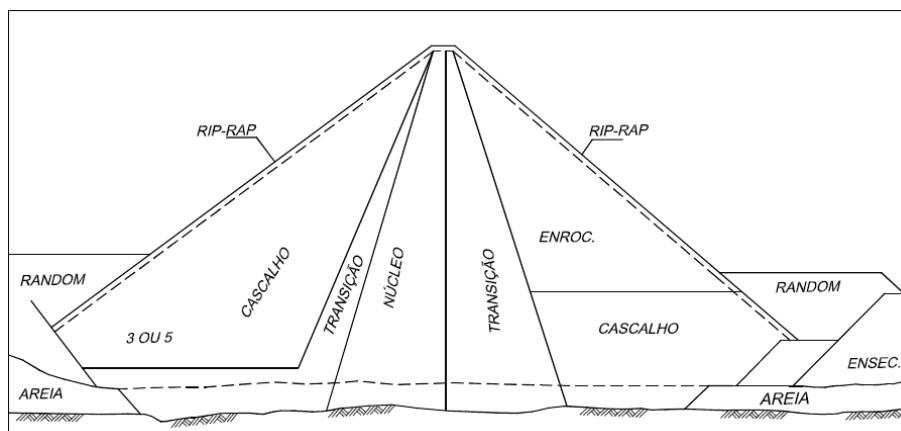
Graças a capacidade de tolerar taludes bem mais íngremes que as barragens de seção homogênea, o uso de Barragens de enrocamento é crescente no Brasil. As **figuras 1 e 2** ilustram a forma construtiva de uma barragem de enrocamento típica com núcleo argiloso, com o exemplo da barragem de São Simão.

Figura 1. Barragem de Enrocamento com núcleo argiloso – Barragem de Itaúba



FONTE: Cruz, 1996.

Figura 2. Barragem de São Simão – Barragem de Enrocamento.



FONTE: Moreira, 1981.

3.1.2 Barragens de Concreto

O uso de barragens de concreto também é cada vez maior no país, motivado pela garantia de maior durabilidade do material. Elas podem ser constituídas de material aluvião incoerente ou de rocha sã. Neste grupo, encontram-se os barramentos de concreto gravidade, que têm a sua estabilidade baseando-se no peso e largura da base.

Os tipos de esforços atuantes nestas barragens tendem a causar deslizamentos graças à esforços de tração, aumento da sub-pressão e aumentos de compressão em jusante. Segundo a CPFL (2001), as barragens de concreto gravidade são denominadas assim pois são executadas de tal forma que resistem, apenas por peso próprio, aos esforços de empuxo que são aplicados pela água do reservatório.

Existem também as Barragens de Concreto a Rolo (CCR), que também são de gravidade, mas na construção são diferentes. Segundo a CPFL (2001), o concreto é lançado em camadas pequenas e em seguida compactado com a utilização de um rolo especial. Este tipo de barragem é sensível a defeitos geológicos sub-horizontais, ou seja, zonas sub-horizontais de resistência mais baixa ao cisalhamento.

As Barragens de Concreto em Arco também são construídas em concreto, curvadas para montante e na direção do reservatório. Segundo a CPFL (2001), sua estrutura é utilizada em vales profundos e estreitos e quando o material de apoio (rocha) é de excelente qualidade. Graças a sua forma curva tende a transferir as pressões para as ombreiras. Os esforços sobre a fundação são maiores e a estabilidade depende da geologia, principalmente descontinuidades.

As barragens de concreto são, em sua grande maioria, de grande porte. Este é o motivo do seu não detalhamento neste trabalho.

3.1.3 Barragens de Terra

As barragens de terra, quando são construídas com a utilização de um material predominante, recebem a denominação de *barragens de terra homogêneas*. O solo compactado é predominante neste tipo de construção, constando no maciço da seção e no filtro drenante do barramento (CARVALHO; SILVA, 2006). A **figura 3** ilustra o perfil de uma barragem de terra, onde:

c = Crista;

b_1 = Base do talude de montante;

b_2 = Base do talude de jusante;

b = Base total;

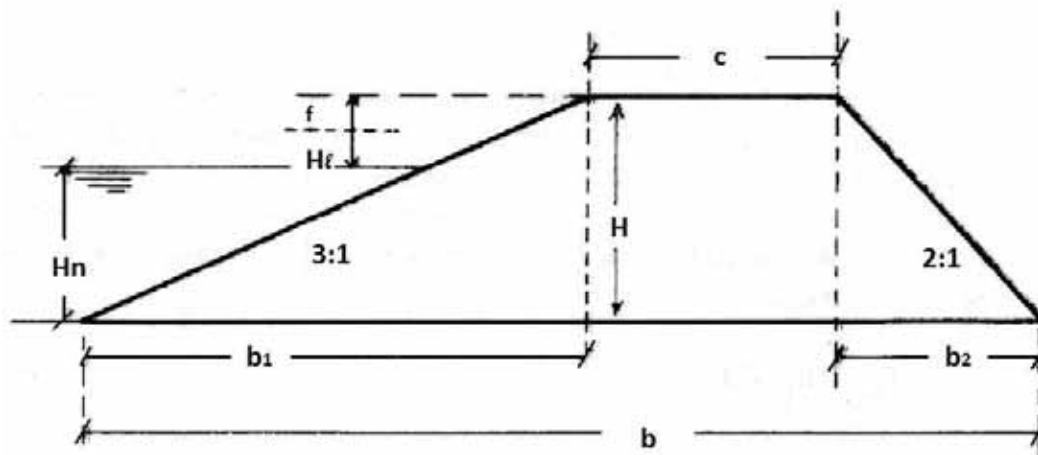
H_n = Altura da lâmina de água normal

H = Altura da barragem

f = Folga.

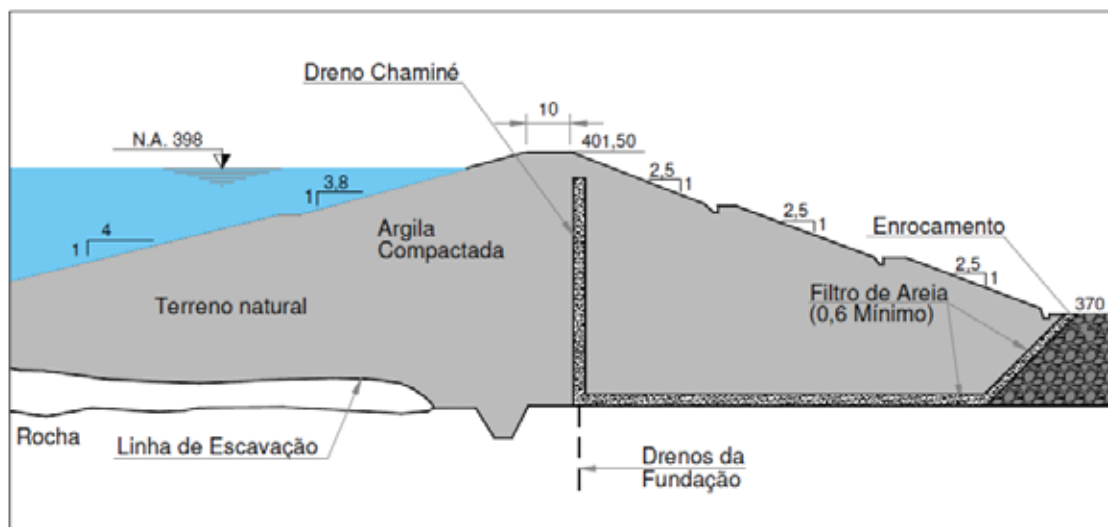
Para a estabilidade do maciço das barragens de terra homogêneas, são requeridos taludes mais abatidos. Como o nível de solicitação da fundação é menor em relação aos outros tipos de outras seções, as barragens de terra se adaptam melhor a qualquer tipo de fundação, resultando em menor custo de construção. A **figura 4** ilustra uma seção de barragem de terra, a Barragem do Vigário.

Figura 3. Perfil de uma Barragem de Terra



FONTE: Carvalho e Silva, 2006.

Figura 4. Seção de Barragem de Terra- Barragem do Vigário



FONTE: Cruz,1996.

No que tange a estabilidade destas barragens, a compactação do maciço é um fator fundamental pois, quanto mais compactado é o solo, menor é o índice de vazios do mesmo. Segundo Massad (2003), a finalidade da compactação é melhorar várias propriedades do solo como resistência ao cisalhamento, redução de recalques e resistência a erosão.

As barragens de terra, quando possuem a presença de mais de um tipo de material, são denominadas de *barragens de terra zoneadas*. Segundo a Eletrobras (2003), este tipo de barramento deve sempre conter um núcleo impermeável para que a estanqueidade de água seja garantida.

3.2. Caracterização de pequenas e médias barragens de terra

Segundo o IV Simpósio Nacional sobre o uso da água na agricultura, realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) em 2011, não existe uma definição formal do que são pequenas barragens. Assim, ela define pequenas barragens como estruturas relativamente simples, que não envolvem grandes movimentações de terra e são facilmente construídas.

Massad (2010) define as dimensões para Barragens de grande porte como qualquer barragem com altura superior a 15 metros, ou com alturas entre 10 e 15 metros, que satisfaça qualquer uma das condições:

- Comprimento de crista igual ou superior a 500m
- Reservatório com volume total superior a 1.000.000 m³

- Área inferior a 2.000 m²
- Vertedouro com capacidade superior a 2000 m³/s
- Barragem com condições difíceis de fundações
- Barragem com projeto não convencional

Logicamente, as pequenas e médias barragens ficam definidas como aquelas com dimensões imediatamente inferiores às definidas para as barragens de grande porte.

De acordo com Carvalho e Silva (2006), as pequenas e médias barragens de terra geralmente são construídas em pequenas propriedades, com finalidades como abastecimento doméstico, irrigação, bebedouro para animais, criação de peixes, entre outras. Ainda segundo os mesmos autores, estas pequenas barragens são classificadas de acordo com os solos utilizados na sua composição e suas estruturas em barragem de terra simples com corpo homogêneo, barragem de terra simples com corpo heterogêneo (zoneadas), barragem de terra com núcleo central, barragem de terra com núcleo externo e barragem de terra com núcleo misto.

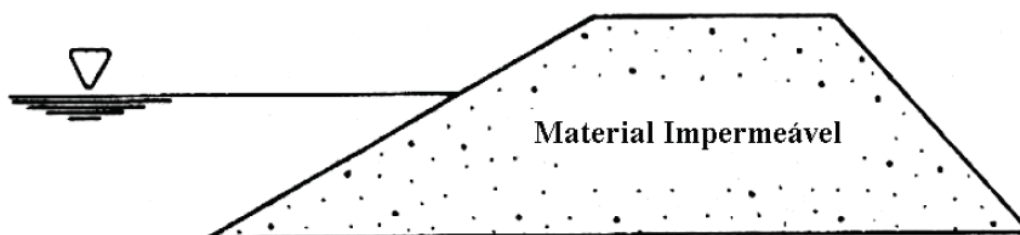
3.2.1 Barragens de Terra simples com corpo homogêneo

Segundo a Universidade Superior do Algarve (2001), as Barragens de Terra simples com corpo homogêneo são as mais comuns e utilizam apenas um tipo de solo na sua constituição. O talude de montante deve ser protegido com enrocamento (riprap), laje armada ou tapete asfáltico.

A **figura 5** ilustra a seção de barragem de terra simples, com corpo homogêneo. Os taludes deste tipo de barragem necessitam de inclinações específicas de acordo com o tipo de solo e estas são demonstradas no **quadro 3**, onde entende-se por “esvaziamento rápido” as velocidades mínimas de descida do nível d’água de 15 centímetros por dia.

Barragens de terra simples com corpo homogêneo também possuem filtros, drenos verticais ou inclinados, dependendo do tipo de solo. Outro constituinte destes tipos de barragem é o chamado “cut-off”, que é a parte do aterro que insere na fundação.

Figura 5. Seção de barragem de terra simples, com corpo homogêneo



FONTE: Carvalho e Silva, 2006.

Quadro 3. Inclinações dos taludes de acordo com o tipo de solo.

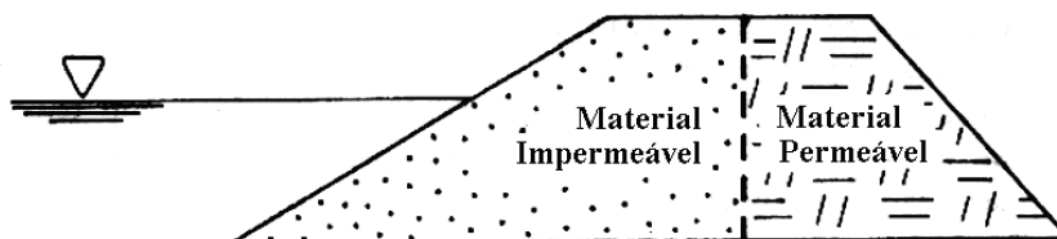
Sujeito a esvaziamento rápido	Símbolo de grupo do solo	Montante	Jusante
Não	GW, GP, SW, SP	Não adequado (Permeável)	Não adequado (Permeável)
	GC, GM, SC, SM	2,5:1	2:1
	CL, ML	3:1	2,5:1
	CH, MH	3,5:1	2,5:1
Sim	GW, GP, SW, SP	Não adequado (Permeável)	Não adequado (Permeável)
	GC, GM, SC, SM	3:1	2:1
	CL, ML	3,5:1	2,5:1
	CH, MH	4:1	2,5:1

FONTE: Carvalho e Silva, 2006.

3.2.2 Barragens de Terra simples com corpo heterogêneo (Zoneadas)

Conforme Costa (2001), as barragens zoneadas são construídas quando não existe uma quantidade de solos apropriados suficientes para a construção, utilizando assim outros tipos de solo. A **figura 6** ilustra uma seção de Barragens de terra simples com corpo heterogêneo (Zoneadas).

Figura 6. Seção de Barragem de terra simples com corpo heterogêneo

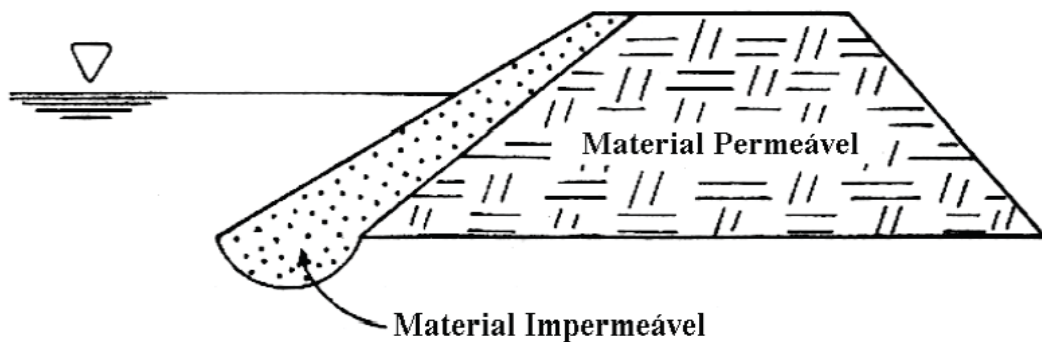


FONTE: Carvalho e Silva, 2006.

3.2.3 Barragens com núcleo

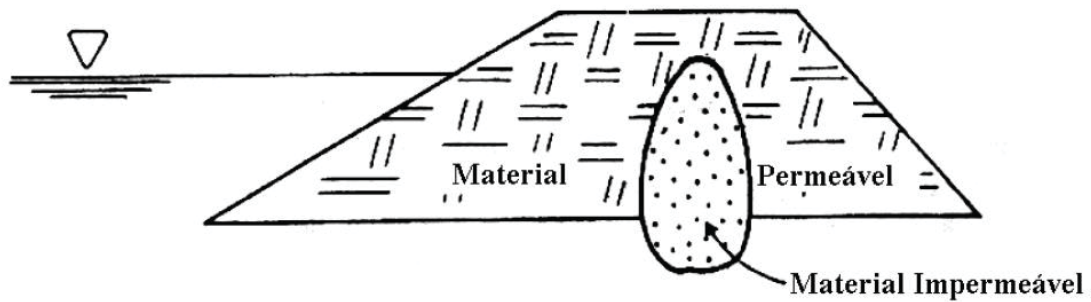
Conforme a Universidade Técnica do Algarve (2001), antigamente as barragens nucleadas possuíam o núcleo de alvenaria, o que gerava grandes problemas de percolação. Hoje em dia estas barragens são pouco utilizadas (preferência às barragens zoneadas) e os núcleos são compostos de materiais de concreto ou argila. A **figura 7, 8 e 9** ilustram as seções de barragens de terra com núcleo central, externo e misto, respectivamente.

Figura 7. Seção de barragem de terra com núcleo central



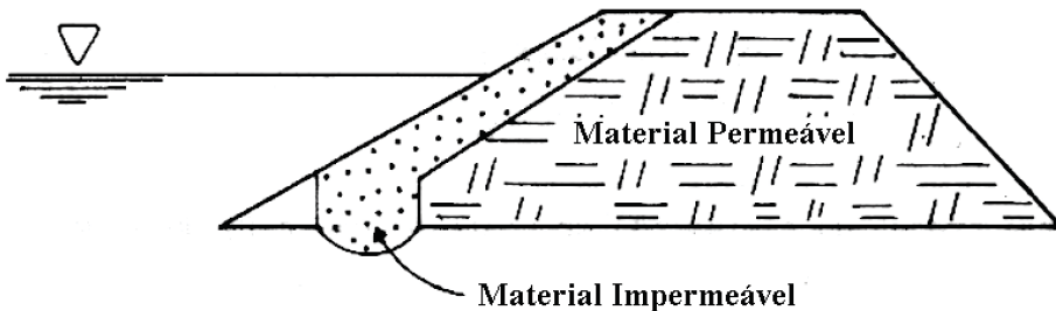
FONTE: Carvalho e Silva, 2006.

Figura 8. Seção de barragem de terra com núcleo externo



FONTE: Carvalho e Silva, 2006.

Figura 9. Seção de barragem de terra com núcleo misto



FONTE: Carvalho e Silva, 2006.

3.3 Fatores Condicionantes para o Rompimento de Barragens

3.3.1 Fatores relacionados a causas internas

Considerando fatores internos para rompimento de barragens de terra, segundo Massad (2003), estatisticamente, a razão para a maioria de casos de acidente com barragens é a falta de um controle eficiente de fluxo. Assim, os maiores problemas de estabilidade de barragens decorrem de um mau sistema de drenagem interna.

Por mais compactado que seja o material usado para a composição da estrutura de uma barragem de terra, sempre haverá fluxos através de seu maciço, este deverá ser conhecido para o dimensionamento do caminho preferencial das redes de fluxo e direcionado de forma a não prejudicar a estabilidade das barragens de terra.

Para o melhor entendimento das linhas de fluxo ocorrentes na estrutura das barragens, que vêm a prejudicar sua estabilidade, é necessário o entendimento da função de permeabilidade de um solo. A permeabilidade, que segundo Cruz (1996), significa a “facilidade” de percolação, depende das características tecnológicas da cada material. Quanto maiores forem os índices de vazios no solo, maior a sua permeabilidade. O **quadro 4** ilustra os valores estabelecidos para os coeficientes de permeabilidade.

Quadro 4. Valores de coeficientes de permeabilidade

Material	k (m/s)
Argilas	$< 10^{-9}$ m/s
Siltes	10^{-6} a 10^{-9} m/s
Areias argilosas	10^{-7} m/s
Areias finas	10^{-5} m/s
Areias médias	10^{-4} m/s
Areias grossas	10^{-3} m/s

FONTE: Pinto, 2000.

Segundo Pinto (2000), vários fatores podem influenciar na permeabilidade de um solo. Dentre eles pode-se citar:

- Estado do Solo:

É dependente da interação das três fases (líquida, gasosa e sólida) presentes na constituição do solo, sendo que a proporção e a relação destas fases variam de acordo com cada tipo de solo;

- Grau de Saturação do Solo:

Se refere a quantidade de água já presente no solo e indica a maior facilidade ou dificuldade de percolação de águas que ainda percorrerão este solo. Assim, a permeabilidade de um solo saturado é maior do que a de um solo não saturado, graças a resistência das bolhas de ar no fluxo da água;

- Estrutura

Faz referência a disposição e dimensão relativa dos grãos do solo;

- Anisotropia

É relativa ao comportamento variável do solo nas diferentes direções. Este aspecto tem grande importância nos problemas relacionados a percolação, para a definição do caminho preferencial do fluxo;

- Temperatura

A temperatura de um solo influencia na sua permeabilidade, pois, a sua variação, acarreta em variação do peso específico e viscosidade do líquido percolado.

Assim, para a análise da estabilidade das barragens de terra, é necessária a análise do fluxo que sempre ocorrerá na estrutura interna destas. Para isso desenvolveu-se filtros que, segundo Albuquerque (2003), visam a uma otimização da barragem, tendo como principais fatores a drenagem da água na base da barragem, otimização das redes de fluxo, estabelecimento de vazões de percolação e gradiente de saída de controle de percolação pela fundação.

Os filtros são essenciais nas barragens e a sua função básica é prevenir fenômenos de erosão internos provocados por forças de percolação intensas, rupturas hidráulicas e trincas formadas no corpo da barragem.

Segundo a caracterização de Terzaghi, a escolha do material filtrante se baseia em dois critérios. O primeiro indica que o filtro deve ser mais permeável que o solo, respeitando:

$$D_{15}(\text{do filtro}) > 5 \cdot D_{15}(\text{do solo})$$

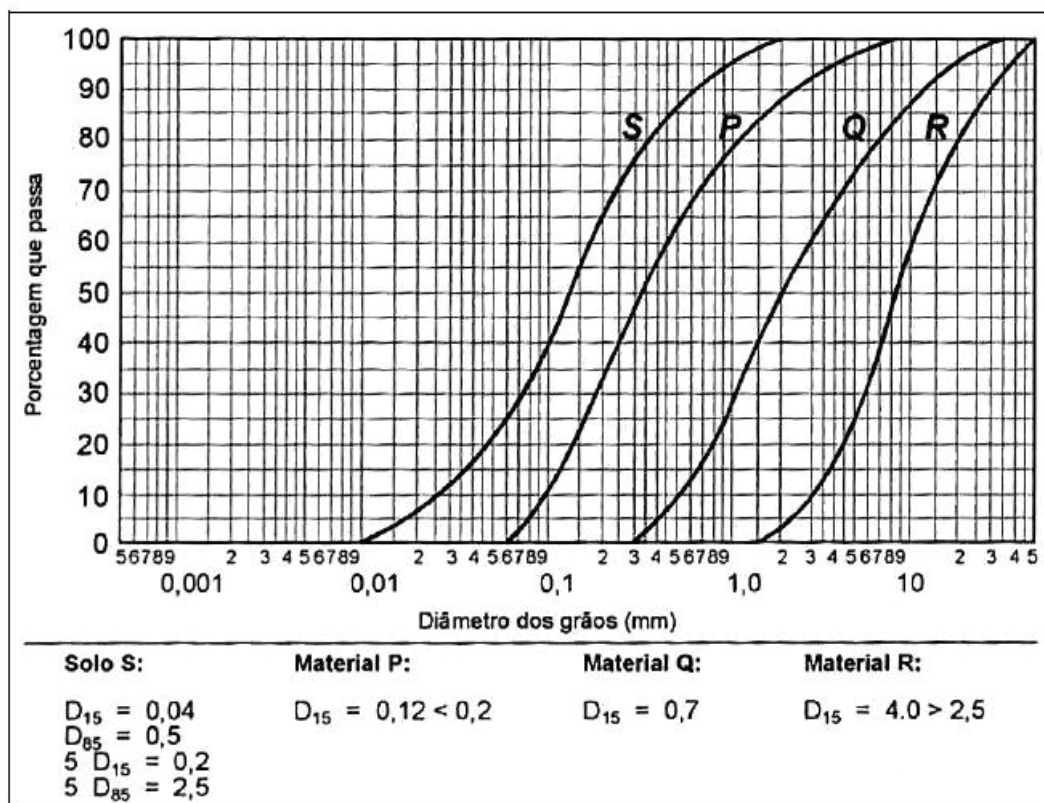
O segundo limita o tamanho dos vazios do filtro de forma que não permitam a passagem dos grãos do solo, respeitando:

$$D_{15}(\text{filtro}) > 5 \cdot D_{85}(\text{do solo})$$

Onde os índices 15 e 85 referem-se às porcentagens do material, em peso, com partículas menores do que o diâmetro D , a eles associados.

Estes critérios baseiam-se na curva granulométrica conforme exemplo apresentado na **figura 10**. No exemplo apresentado nesta figura, pode-se observar que o material Q é o ideal para compor o filtro, uma vez que seu índice D_{15} está dentro da faixa definida por Terzaghi.

Figura 10. Curva Granulométrica



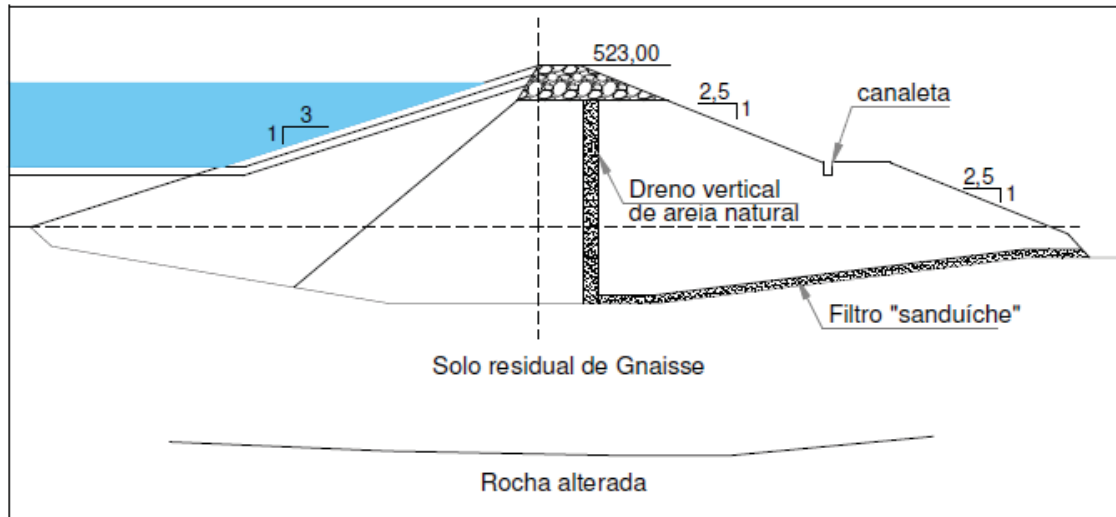
FONTE: Pinto, 2000.

Existem vários tipos de filtros usados na construção de barragens de terra. O filtro vertical, apresentado no exemplo da **figura 11**, deve sempre ser levado até a altura máxima do nível de água. Segundo Sá (1981), este filtro deve ser projetado respeitando as larguras mínimas construtivas, pois sua função é “cicatrizante” e a sua capacidade de vazão é muito superior a vazão percolada pelo maciço. Este dreno é tão utilizado no Brasil, que barragens homogêneas com filtro vertical recebem o nome de “Barragens Brasileiras”.

O filtro horizontal possui funções de impedir o carreamento de materiais da fundação e drenar as águas de percolação através da fundação e do maciço (SÁ, 1981). A **figura 12** ilustra um exemplo de utilização de filtro horizontal, utilizado na Barragem de Passaúna (PR).

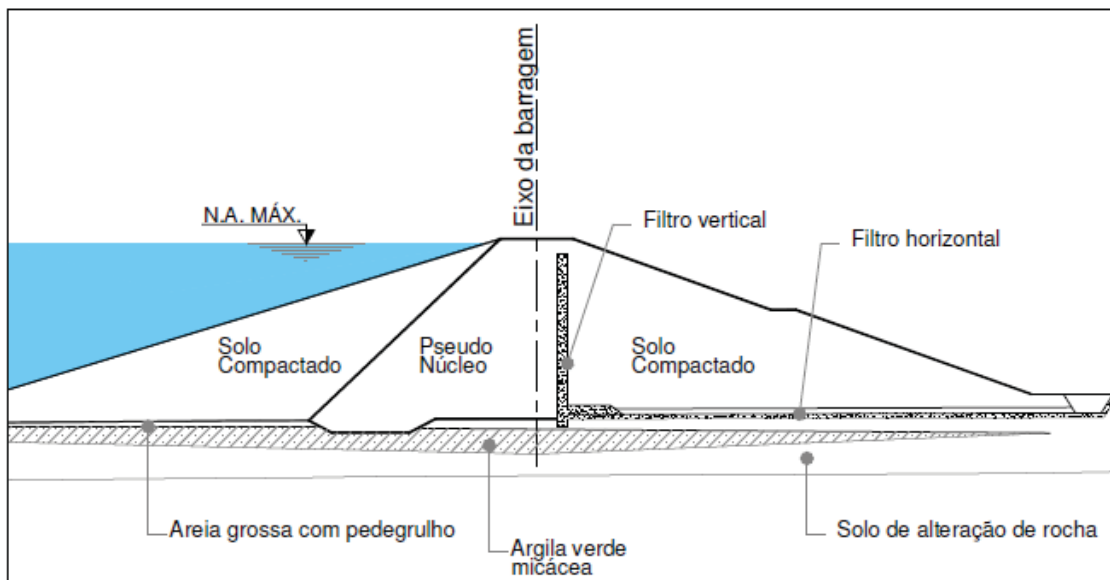
A importância da utilização de filtros em barragens de terra é muito grande, conforme comprovado pelo **quadro 5**, uma vez que o número de rupturas e acidentes são bem maiores nas barragens que não possuem filtro

Figura 11. Utilização de Filtro Vertical. Exemplo da Barragem de Itumbiara



FONTE: Cruz, 1996.

Figura 12. Utilização de Filtro Horizontal. Exemplo da Barragem de Passaúna



FONTE: Cruz, 1996.

Quadro 5. Frequência média de ruptura por piping no maciço, por categoria de zoneamento de barragens.

Categoria de zoneamento da barragem	Nº de rupturas	Nº de acidentes	Frequência média de ruptura ($\times 10^{-3}$)	Frequência média de acidentes ($\times 10^{-3}$)	Frequência média anual de ruptura ($\times 10^{-6}$)*	
					5 primeiros anos de operação	após 5 anos de operação
Terra homogênea (sem filtro)	14	9	16,0	9,2	2086	188
Terra homogênea com filtro	2	1	1,5	0,6	189	37
Terra homogênea c/ enrocamento de pé	5	5	8,9	8,0	1160	158
Terra zoneada	4	9	1,2	2,4	158	25
Terra e enrocamento	1	7	1,2	7,3	152	24
Enrocamento com núcleo de argila	0(1)	19	(<1,1) [†]	22,0	(<143) [†]	(<34) [†]
Terra com face de concreto	2	1	5,3	2,4	691	75
Enrocamento com face de concreto	0	1 (11) [‡]	(<1) [§]	3,5	(<130) [§]	(<17) [§]
Terra com núcleo de argila compactada	4	10	9,3	20,7	1205	38
Terra com núcleo de concreto	0	2	(<1) [§]	8,1	(<130) [§]	(<8) [§]
Enrocamento com núcleo de concreto	0	2	(<1) [§]	21,6	(<130) [§]	(<13) [§]
Aterro hidráulico	0	3	(<1) [§]	32,4	(<130) [§]	(<5) [§]
Zoneamento desconhecido	7	6				
Todos os tipos	39	75	3,5	6,7	453	56

FONTE: Foster et. al., 2000.

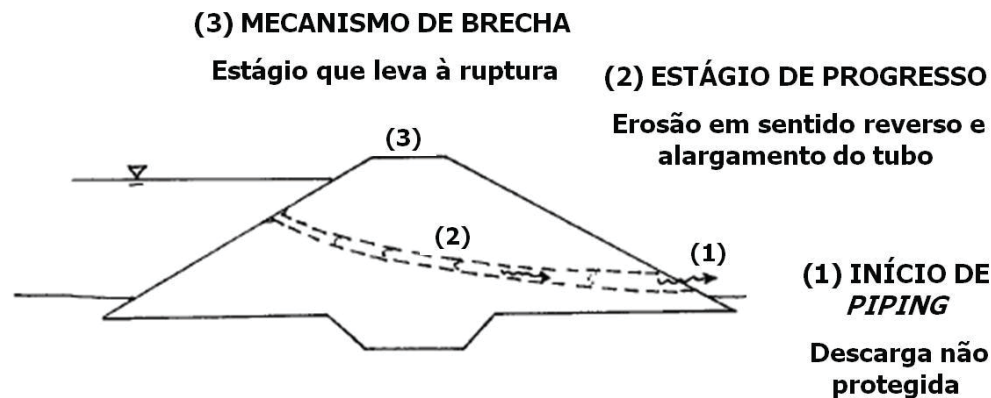
Segundo Moreira (1981), os problemas gerados por uma ineficiência da drenagem interna das barragens podem ser resumidos em três: Pipping, Saturação e Instabilidade de Taludes e Perda Excessiva de água.

No fenômeno de Pipping, ocorre uma erosão interna na barragem, no sentido contrário ao fluxo, o que também denomina este fenômeno de Erosão Regressiva. No caso da instalação dos filtros, é importante que os vazios deste sejam suficientemente pequenos para que não ocorra migração do solo, como já foi explicado anteriormente. O Pipping é um dos principais condicionantes para rompimento de barragens de terra, pois sua formação é muito comum e as consequências caso ele ocorra podem ser trágicas.

Segundo Massad (2003), os fatores que podem levar a ocorrência de Pipping nas barragens homogêneas são a ausência de filtros horizontais tipo sanduíche, as condições de compactação do solo, a ausência de transições adequadas entre materiais granulares e a presença de fundações arenosas.

Segundo Foster et. All (2000), os mecanismos formadores de Pipping são o Alargamento Substancial do tubo e seu desabamento; o rebaixamento ou formação de buracos (“*sinkholes*”) na crista, que causariam o galgamento; o escorregamento do talude de jusante devido a saturação ou aumento da poropressão e a desagregação do pé da barragem. A **figura 13** ilustra o processo de formação de Pipping.

Figura 13. Estágios de formação de Pipping.



FONTE: Modificado de Foster, 1998.

Outro problema gerado por uma ineficiência da drenagem interna das barragens é a saturação e instabilidade dos taludes (MOREIRA, 1981). Quando se tem valores elevados na fundação e no corpo da barragem, a instabilidade do maciço pode sofrer grande aumento, pois a pressão neutra é que minimiza a tensão efetiva e consequentemente as forças estabilizantes. Assim, temos:

$$\sigma' = \sigma - u$$

Onde: σ' : Tensão Efetiva (kN/m²)

σ : Tensão Total (kN/m²)

u : Pressão Neutra (kN/m²)

Caso o pé da barragem esteja saturado, pode acontecer o arraste das partículas, gerando Pipping. Assim, esta saturação pode ser evitada por meio de drenagem na forma de espinha de peixe ou com intercepto através de uma trincheira drenante no pé do talude a jusante.

O outro problema gerado por uma ineficiência da drenagem interna das barragens é a perda excessiva de água. Para que a estrutura de represamento seja eficiente, é necessário que se perda o mínimo possível de água, uma vez que a retenção de água é o objetivo destas barragens. Assim, é necessária a construção das mesmas com material que garanta o máximo de estanqueidade.

A resistência ao cisalhamento de um solo também deve ser analisada como condicionante para rompimento de barragens e depende da tensão normal efetiva aplicada no plano de cisalhamento e do grau de orientação das partículas. A tensão normal efetiva é função da poropressão, sendo esta função do índice de vazios, do grau de saturação e da estrutura do solo. Consequentemente, o comportamento relacionando tensão, deformação e resistência depende fundamentalmente do índice de vazios, grau de saturação e da estrutura do solo (LIGOCKI,2003).

A deformabilidade também deve ser analisada de forma contundente no projeto de barragens de terra. Se a barragem estiver em um vale aberto e a fundação pouco deformável, é pouco provável a formação de trincas, desde que o maciço seja homogêneo. Se as fundações forem diferencialmente deformáveis, poderão surgir trincas caso o aterro seja muito rígido. Por outro lado, se o vale for muito fechado e a fundação for muito deformável, poderá ocorrer recalques diferenciais e por consequência, trincas no maciço poderão surgir (LIGOCKI,2003).

Segundo Pinto (2000) no caso de barragens de terra, todos estes fatores devem ser analisados ao se projetar uma obra. Logo, os mesmos devem ser analisados no que se refere ao rompimento de barragens. Se a preocupação maior for a estabilidade dos taludes logo após a construção, deve-se dar atenção especial à umidade de compactação, pois é pequena a influência da densidade na resistência do solo solicitado sem drenagem.

Se o tipo de construção requerer estabilidade em longo prazo ou contar com condições de rebaixamento rápido do reservatório, os parâmetros de resistência ao cisalhamento efetivo são de fundamental importância. A experiência mostra que eles dependem basicamente do grau de compactação do solo, item que deve receber atenção neste tipo de projeto.

Quanto menor a umidade de compactação, maior a estabilidade logo após a construção. Mas, solos que apresentam maior rigidez possuem maior risco de ocorrência de trincas que podem ser fatais para a barragem.

3.3.2 Fatores relacionados a causas externas

Além dos fatores relacionados a própria estrutura e características das barragens, existem alguns fatores externos que podem condicionar o rompimento de barragens de Terra, como as ocorrências de movimentos de massa e ondas de cheia a montante, provocados por processos de chuvas excepcionais e/ou pelo próprio rompimento de outras barragens.

Movimentos de massa são fenômenos naturais que podem ser potencializados pela combinação de fatores, como a precipitação elevada, cortes de estradas mal planejadas e construções em encostas (Horton, 1933).

Para Augusto Filho & Virgili (1998), os principais condicionantes para a ocorrência de movimentos de massa são as características climáticas, as características e a distribuição dos materiais que fazem parte do substrato rochoso das encostas, as características geomorfológicas, o regime de águas e as características de uso e ocupação do solo.

Os tipos de movimentos de massa podem ser divididos em vários tipos, segundo um conjunto de características em comum, como a velocidade e direção do movimento, sua profundidade e extensão, material envolvido, entre outros. Augusto Filho (1992) dividiu os tipos de movimentos de massa com ênfase nas principais características do material e da encosta, como apresentado no **quadro 6**.

Quadro 6. Classificação dos movimentos de massa

PROCESSOS	DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL
Rastejos (Creep)	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos (Slides)	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) Pequenos a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis: Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com 1 plano de fraqueza Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (Falls)	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado

	Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corridas (Flows)	Muitas superfícies de deslocamento Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

FONTE: Augusto Filho, 1992.

Segundo o Relatório de Pesquisa desenvolvido conjuntamente pela UNESP e pela PETROBRAS (CERRI; REIS, 2012), alguns parâmetros foram estabelecidos como criteriosos para relacionar as corridas de massa com o rompimento de reservatórios. Dentre eles, destacam-se as chuvas, sua ocorrência, duração e período de retorno; a suscetibilidade a escorregamento de encostas, relacionadas a inclinação das mesmas, seu perfil de alteração, amplitude, textura dos materiais inconsolidados, índices físicos dos materiais inconsolidados, parâmetros geomecânicos, permeabilidade, profundidade do nível d'água, grau de saturação, pressões neutras e forças de percolação; o desenvolvimento das drenagens, relacionado as chuvas, ondas de cheia, área de inundação, tipo de escoamento, material sedimentar, processos de erosão e a presença de barramentos naturais e artificiais; e também a deposição, que relaciona-se com o tipo de topografia, os modelos do terreno, declividade, traçado do canal, seções transversais e confinamento lateral. Estes parâmetros podem ser observados no **quadro 7**.

Outro fator que condiciona o rompimento de Barragens é a ocorrência de Ondas de Cheia. Segundo o Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE, 1976), onda de cheia é a elevação das águas de um rio até o pico e subsequente precipitação, fusão das neves, ruptura da barragem ou liberação de água por central elétrica. Já a Academia de

Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP, 1980), onda de cheia é um fenômeno constituído por uma fase de enchente e subsequente fase de vazante.

Cerri e Reis (2012) desenvolveram um estudo que indica algumas variáveis que relacionam a ocorrência de ondas de cheia com o rompimento de reservatórios. Para isso, é necessária a análise de parâmetros relacionados para eventos de cheias excepcionais, que podem ser observadas no **quadro 8**.

Quadro 7. Variáveis selecionadas para corridas de massa.

VARIÁVEIS - PARÂMETROS - ATRIBUTOS		ABORDAGEM DA ANÁLISE
Chuvas	· Intensidade e duração · Período de retorno	Quantitativa
Suscetibilidade a escorregamentos (encostas)	· Inclinação · Perfil · Amplitude · Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha) · Textura dos materiais inconsolidados · Índices físicos dos materiais inconsolidados (peso específico, índice de vazios, porosidade) · Parâmetros geomecânicos (coesão, ângulo de atrito) · Permeabilidade · Profundidade do nível d'água · Grau de saturação Pressões neutras e forças de percolação	Quantitativa e Qualitativa
Desenvolvimento nas drenagens	· Chuvas, tempo de concentração, vazões de pico, onda de cheia e área de inundação · Escoamento laminar ou turbulento, elementos de fluxo, material sedimentar, processos de erosão remontante, processos de erosão marginal · Presença de barramentos naturais e artificiais	
Deposição	· Topografia detalhada · Modelos Digitais de Terreno · Declividade · Traçado do canal (curvo ou retilíneo) · Seções transversais · Confinamento lateral	

Modificado de Reis e Cerri (2012).

Quadro 8. Variáveis selecionadas para eventos de cheias excepcionais.

VARIÁVEIS - PARÂMETROS - ATRIBUTOS		ABORDAGEM DA ANÁLISE
Chuvas	· Intensidade e duração · Período de retorno	Quantitativa
	· Valores máximos diários · Valores máximos mensais · Valores médios mensais	Qualitativa
Tempo de concentração	· Diferença de cotas · Comprimento do talvegue	Quantitativa
	· Índice de circularidade · Declividades do talvegue e da bacia · Padrão de drenagem · Uso e cobertura do solo · Tipo de substrato (solo/rocha)	Qualitativa
Vazões de pico	· Área de drenagem da bacia · Coeficiente de escoamento superficial (Tabelas padronizadas em função do uso e cobertura e da permeabilidade dos tipos de solos e rochas presentes na bacia). · Velocidade de escoamento · Seção do canal	Quantitativa
Onda de Cheia Área de inundação	· Vazões de pico · Topografia de detalhe · Modelo Digital do Terreno · Seção do canal de drenagem · Barramentos naturais e artificiais	Quantitativa
	· Seção do canal de drenagem · Planícies de inundação · Terraços · Barramentos naturais e artificiais	Qualitativa

FONTE: (CERRI; REIS,2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Os materiais e ferramentas utilizados para a realização do trabalho foram:

- O banco de dados bibliográficos Athena (UNESP) – Acervo Geral; Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UNESP e outras instituições de ensino e pesquisa; Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do Ministério da Ciência e Tecnologia; Portal de periódicos da Capes; Scientific Electronic Library Online (SciELO); Science Classic; Academic Search Premier; Academic Search Complete; GeoScienceWorld; Scopus; entre outros.
- *Software* ArcGis 10.1.
- *Software* Google Earth.
- GPS e máquina fotográfica.
- A base cartográfica utilizada refere-se às cartas topográficas nas folhas São João da Boa Vista: SF-23-V-C-VI-3; Aguai: SF-23-Y-A-III-1; Pinhal: SF-23-Y-A-III-2; e Poços de Caldas: SF-23-V-C-VI-4, que compreendem o município de São João da Boa Vista na escala 1:50.000 e ano 1972 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1972 a,b,c,d).
- Barragens outorgadas e legalizadas obtidas junto ao banco de dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), referentes ao município de São João da Boa Vista.
- Mapa das unidades geológico-geotécnicas estabelecidas para o Município de São João da Boa Vista (SP) por Pilachevsky et al. (2013).
- Ficha de Campo, considerando os critérios definidos Cerri, Reis e Giordano (2011).

4.2 Métodos e Etapas de Trabalho

Para a realização do presente trabalho, as seguintes etapas foram seguidas:

1ª. Etapa: Levantamento Bibliográfico:

A primeira etapa do trabalho consistiu no levantamento das principais referências bibliográficas acerca da temática dos condicionantes geológicos-geotécnicos, pequenas e médias barragens de terra e suas particularidades. Essa etapa consistiu na busca sistemática de artigos de periódicos na base de dados bibliográficos Athena (UNESP) – Acervo Geral; Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UNESP; USP; UNICAMP; UFBA, UFMG e outras instituições de ensino e pesquisa; Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações

do Ministério da Ciência e Tecnologia; Portal de periódicos da Capes; Scientific Electronic Library Online (SciELO); Science Classic; Academic Search Premier; Academic Search Complete; GeoScienceWorld e Scopus.

As principais palavras-chaves utilizadas no levantamento foram: Barragens (Earth dams); Condicionantes geológicos e geotécnicos (geological and geotechnical conditionants); Pequenas barragens de terra (small Earth dams); Rompimento de barragens (dam breaking); Ondas de cheia (flood waves) e Corridas de massa (moodflow/earthflow).

1ª. Atividade: Seleção das palavras-chaves que seriam pesquisadas nos bancos de dados bibliográficos, considerando os temas principais da pesquisa. Estes, foram agrupados e organizados para o levantamento bibliográfico da seguinte forma:

- Condicionantes geológicos e geotécnicos associados à obras de terra/barragens;
- Ondas de cheia associadas ao rompimento de reservatórios;
- Movimentos de massa ao rompimento de reservatórios.

Considerando esses três temas, foram primeiramente definidas as palavras-chave em português e, posteriormente, os termos correspondentes em inglês para busca nos bancos de dados internacionais.

Em seguida, foram feitas as correlações entre as palavras-chave escolhidas para desenvolvimento da pesquisa por meio do tipo Busca Booleana, ou seja, com a utilização de operadores lógicos como and, or, not e near, para combinar várias palavras-chave ou frases de maneiras específicas.

Destaca-se que conforme foi sendo realizado o levantamento bibliográfico os termos e as correlações previamente estabelecidos foram checados para verificar se outros termos ou correlações deveriam ser incluídos na listagem inicial. O **quadro 9** apresenta a listagem de palavras-chave em português e em inglês utilizada no levantamento bibliográfico da pesquisa.

Quadro 9. Listagem de palavras-chave e correlações em português e em inglês selecionadas para o levantamento bibliográfico da pesquisa.

PALAVRA-CHAVE EM PORTUGUÊS	PALAVRA-CHAVE EM INGLÊS
----------------------------	-------------------------

Barragens	Earth dams
Condicionantes geológico-geotécnicos + Barragens	Geological and Geotechnical conditionants + Earth Dams
Ondas de cheia + Rompimento de barragens	Flood Waves + Dam breaking
Corrida de massa + Rompimento de barragens	Mudflow e Earthflow + Dam breaking

2ª. Atividade: Definição dos bancos de dados bibliográficos nacionais e internacionais que seriam pesquisados pela equipe, considerando artigos científicos em periódicos e eventos técnico-científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e relatórios técnicos de instituições e empresas públicas e privadas.

Nesse sentido, as principais bases de dados pesquisadas foram: banco de dados bibliográficos Athena (UNESP) – Acervo Geral; Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UNESP, USP, UNICAMP, UFOP, UFRJ, UFPR, UFSC, UFMT, e outras instituições de ensino e pesquisa; Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do Ministério da Ciência e Tecnologia; Portal de periódicos da Capes; Scientific Electronic Library Online (SciELO); Science Classic; Academic Search Premier; Academic Search Complete; GeoScienceWorld; Web of Science, Scopus; e Relatórios Técnicos disponíveis no IPT, IG/SMA/SP, COPE-Rio, CPRM e Ministério das Cidades. Também foi desenvolvido um levantamento de normas técnicas junto ao site oficial da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3ª. Atividade: Foi realizado um levantamento bibliográfico para a caracterização da área de estudo, na escala 1:50.000, focando os aspectos fisiográficos (hidrografia, geologia, geomorfologia e pedologia) e o levantamento de uma base cartográfica referente às barragens outorgadas na área de estudo.

Foi realizada uma pesquisa em textos acadêmicos que contemplam a base teórica necessária para o conhecimento prévio da área do município de São João da Boa Vista (SP). Assim, temas abordando a compartimentação fisiográfica do município tal como dados referentes a contextualização climática do mesmo foram considerados para a caracterização da área de estudo.

Para isso, foi necessária a utilização e análise de dados obtidos de trabalhos e estudos anteriores elaborados por instituições públicas e privadas, destacando aqueles realizados por instituições como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Comitês de Bacias Hidrográficas (UGRH-09, Mogi Guaçu); Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE); Agência Nacional das Águas (ANA); Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB); Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Geológico (IG); Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT); Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP); Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade de São Paulo (USP); Instituto Agrônomo de Campinas (IGC); entre outros. Os dados secundários foram obtidos nas seguintes fontes principais:

- Banco de dados hidrometeorológicos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE);
- Mapas Geológico, Geomorfológico e Geotécnico e respectivos relatórios elaborados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP) e Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE);
- Mapa Pedológico do Estado de São Paulo elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Instituto Agrônomo de Campinas (IAC);
- Teses de Doutorado, Dissertações de Mestrado e estudos desenvolvidos pela Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade de São Paulo (USP), entre outras instituições de ensino superior e pesquisa.

2ª. Etapa Levantamento e Vetorização da Base Cartográfica e Imagens Aéreas:

As cartas da base cartográfica foram georreferenciadas e vetorizadas no software ArcGIS® 10.1, contando com quatro pontos de controle e o máximo de um metro de erro. Através da intersecção entre a região do município de São João da Boa Vista (SP) e a região delimitada pela bacia do Jaguari Mirim, foi delimitada a área de estudo.

As barragens contidas na área de estudo foram delimitadas no Software Google Earth, para melhor e mais atualizada visualização, e posteriormente foram exportadas como shapefile para o *Software* Arcgis 10.1, totalizando 248 barragens identificadas na área.

Foi realizado o cruzamento das barragens delimitadas com as unidades de compartimentação fisiográfica estabelecidas para o Município de São João da Boa Vista (SP) por Pilachevsky et al. (2013), sendo possível a visualização da distribuição destas nas unidades fisiográficas.

Para a classificação das unidades da compartimentação fisiográfica que apresentam maior risco quanto ao rompimento de barragens, foram considerados critérios estabelecidos a partir das análises de Pilachevsky et al. (2013), sendo classificadas como críticas as unidades que possuam:

- Alta densidade de drenagem;
- Grande amplitude altimétrica;
- Alta declividade;
- Forma fechada de vale;
- Alto potencial a erosão linear;
- Alto potencial a movimentos gravitacionais;
- Tipos de processos geológicos ocorrentes na unidade.

O **quadro 10** fornece os parâmetros definidos por Pilachevsky (2013) usados para a classificação de risco das unidades fisiográficas segundo o rompimento de barragens.

Quadro 10. Parâmetros analisados da compartimentação fisiográfica para avaliação das unidades, segundo risco de rompimento de barragens.

Unidade fisiográfica	Densidade de drenagem	Amplitude altimétrica	Declividade	Forma do vale	Potencial a erosão linear	Potencial a movimentos gravitacionais
1	Baixa	Pequena	Baixa	Aberto	Alta	Médio
2	Baixa	Média	Baixa	Aberto	Médio	Baixo
3	Baixa	Pequena	Baixa	Aberto	Médio/Alto	Baixo
4	Média	Média	Média	Aberto	Médio/Alto	Médio
5	Média	Média	Média	*	Médio/Alto	Médio/Alto
6	Média/Alta	Média	Média	Fechado	Médio	Médio/Alto
7	Alta	Grande	Alta	Fechado	Médio/Baixo	Alto
8	Média	Grande	Alta	Fechado	Médio/Baixo	Alto

FONTE: Alterado de Pilachevsky, 2013.

Assim, o grau de risco para rompimento de barragens se distribui nas unidades de compartimentação fisiográfica segundo o **quadro 11**.

Quadro 11. Grau de risco para rompimento de barragens de acordo com as unidades de compartimentação fisiográfica propostas por Pilachevsky (2013).

Grau de Risco para Rompimento de Barragens	Unidades Fisiográfica
Alto	8,7
Médio	6,5,4
Baixo	3,2,1

Desta forma, foram escolhidas 9 barragens para detalhamento a partir de trabalho de campo, considerando como critérios a situação de cada bacia hidrográfica em termos de quantidade de barragens em uma mesma drenagem, as unidades de compartimentação fisiográfica com maior tendência de alto risco para rompimento de barragens, porte da barragem e facilidade de acesso. A ficha de campo foi padronizada considerando critérios definidos por Cerri, Reis e Giordano (2011).

3ª. Etapa: Levantamento de Campo

As 9 barragens escolhidas na etapa anterior foram visualizadas no software Google Earth, possibilitando a obtenção de rotas de acesso e de suas coordenadas geográficas. Assim, as mesmas foram visitadas e analisadas considerando os aspectos e critérios estabelecidos na ficha de campo padronizada, com base em Cerri, Reis e Giordano (2011). O foco do trabalho

de campo foi estabelecer, segundo esta ficha padronizada, parâmetros no local da obra que permitissem a avaliação de sua segurança. Não houve consulta ao projeto das barragens nem análise instrumental analisando-se condições externas que favorecessem o aumento do risco de rompimento.

Os aspectos locais observados contemplaram, dentre outros fatores peculiares:

- Presença/ ausência de vegetação nos taludes das barragens;
- Ocorrência/não ocorrência de processos erosivos nas encostas do entorno das barragens;
- Alta/baixa inclinação dos taludes;
- Presença/ausência de vertedouros para controle de vazão;

4ª. Etapa: Análise da Situação

Foi realizada uma relação entre o alto/baixo risco da unidade de compartimentação em que cada barragem se localiza com o risco oferecido pelos parâmetros locais observados em campo, relativos a cada barragem e assim foi possível estabelecer quais barragens apresentam maiores riscos de rompimento.

Também foi possível a observação em campo das unidades de compartimentação definidas como críticas, comprovando os maiores riscos oferecidos pelas mesmas em relação a estabilidade de barragens nelas localizadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização da Área de Estudo

5.1.1. Localização e Contexto hidrográfico

O Município de São João da Boa Vista encontra-se na porção leste do estado de São Paulo. Possui latitude 21°58'09" Sul e longitude 46°47'53" Oeste, estando a uma altitude média de 767 metros. As terras do município se encontram na Média Mogiana, fazendo parte da 5ª Região Administrativa do Estado e ainda é sede de uma minirregião de Campinas.

Segundo dados do IBGE, em 2008, a população de São João da Boa Vista foi de 83.369 habitantes. Segundo a mesma fonte, o município passou a ter em 2009, 83.909 habitantes, com densidade demográfica de 162,58 hab./km² e crescimento anual de 0,64%.

O município conta com a presença de 3 rodovias principais, sendo elas a SP-330, SP-342 e a SP-344. Existem aproximadamente 25.804 domicílios, sendo 24.361 localizados na zona urbana e 1.443 na zona rural (IBGE, 2010).

Segundo as diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos para a regulamentação dos Comitês de bacias do estado de São Paulo, disposto pela Lei 7.663/91, o estado foi dividido em 22 unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). O município de São João da Boa Vista encontra-se inserido na bacia hidrográfica do Mogi-Guaçu, que está localizada na porção nordeste do estado de São Paulo e é composta por 37 municípios, contando com uma área total de 1306100 hectares e com 7,3% de vegetação remanescente (BIOTA/FAPESP, 2008). A **figura 14** fornece a localização do município dentro do estado de São Paulo, tal qual a localização da área de estudo dentro da bacia do Jaguari Mirim que está contida dentro do município de São João da Boa Vista.

O rio principal que corta o município de São João da Boa Vista é o Jaguari-Mirim, que possui como afluentes em sua margem direita o Ribeirão da Prata e o Córrego São João, tal como o Ribeirão dos Porcos em sua margem esquerda (IPT, 2006). A Bacia do rio Jaguari-Mirim faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do rio Mogi Guaçu, a UGRH-09, que segundo o DAEE (2009), apresenta índice de utilização de água de 50%.

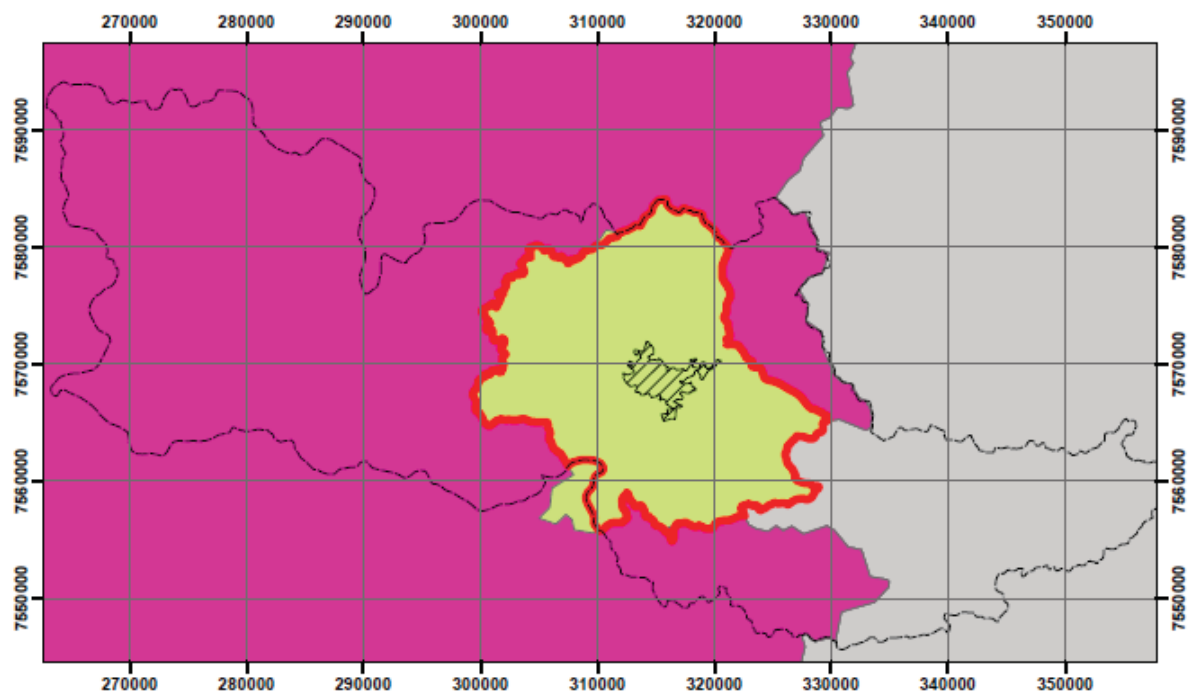
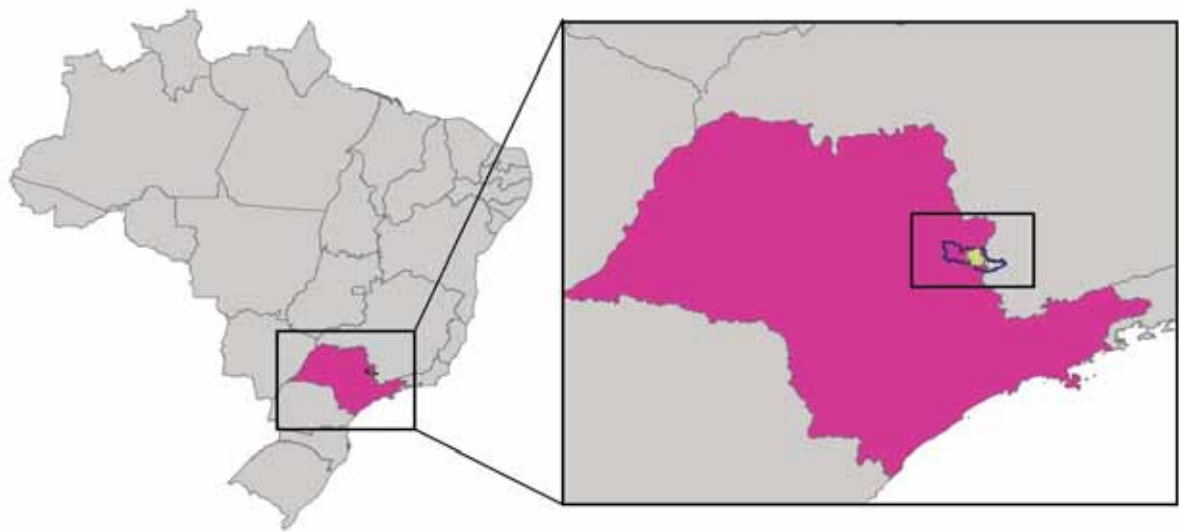
O padrão de drenagem verificado no município é o dentrítico, que se assemelha a distribuição de galhos de uma árvore e geralmente ocorre quando a rocha dos substratos é homogênea, como os granitos. A figura 15 fornece a hidrografia da área de estudo, localizada dentro da bacia do Jaguari Mirim no município de São João da Boa Vista, SP.

O rio Jaguari Mirim, um dos principais afluentes do Rio Mogi-Guaçu, nasce no estado de Minas Gerais, precisamente no Morro do Serrote, município de Ibitiúra de Minas. É um rio de planalto e no alto curso do rio, apresenta muitas quedas e corredeiras graças às rochas cristalinas que se afloram ao longo da sua calha. Mas, ao atravessar o município de São João da Boa Vista, o Jaguari Mirim apresenta muitos meandros (chamados “meandros encaixados”). Ele possui uma extensão aproximada de 72 quilômetros e uma largura média de 20 metros, contando com dezoito afluentes. Este rio foi classificado pelo Decreto Estadual nº 10755 de 22 de novembro de 1977 como rio Classe II.

Segundo a CONAMA nº 357, os rios classificados como classe II possuem águas que podem ser destinadas ao o abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme a Resolução CONAMA nº 274, de 2000; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto e a aqüicultura e a atividade de pesca.

Ao longo de seu curso, o rio Jaguari-Mirim drena uma área de 2.154 Km², sendo 392 km² na no Estado de Minas Gerais e 1762 km² no Estado de São Paulo. Nela estão situados, parcial ou integralmente, os territórios e sedes urbanas de onze municípios, dois mineiros e nove paulistas, respectivamente: Ibitiura de Minas; Andradas; Santo Antonio do Jardim; Espírito Santo do Pinhal; São João da Boa Vista; Águas da Prata; Aguaí; Vargem Grande do Sul; Casa Branca; Santa Cruz das Palmeiras e Pirassununga.

Figura 14. Localização da área de estudo, na Bacia do Jaguari Mirim em São João da Boa Vista (SP).



Legenda

-  Área Urbana
-  Limite da Bacia do Jaguarí Mirim
-  Área de Estudo
-  São João da Boa Vista
-  Estado de São Paulo

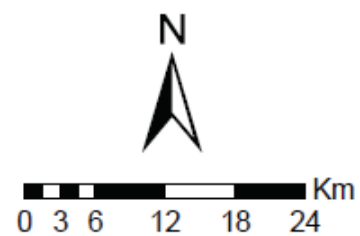
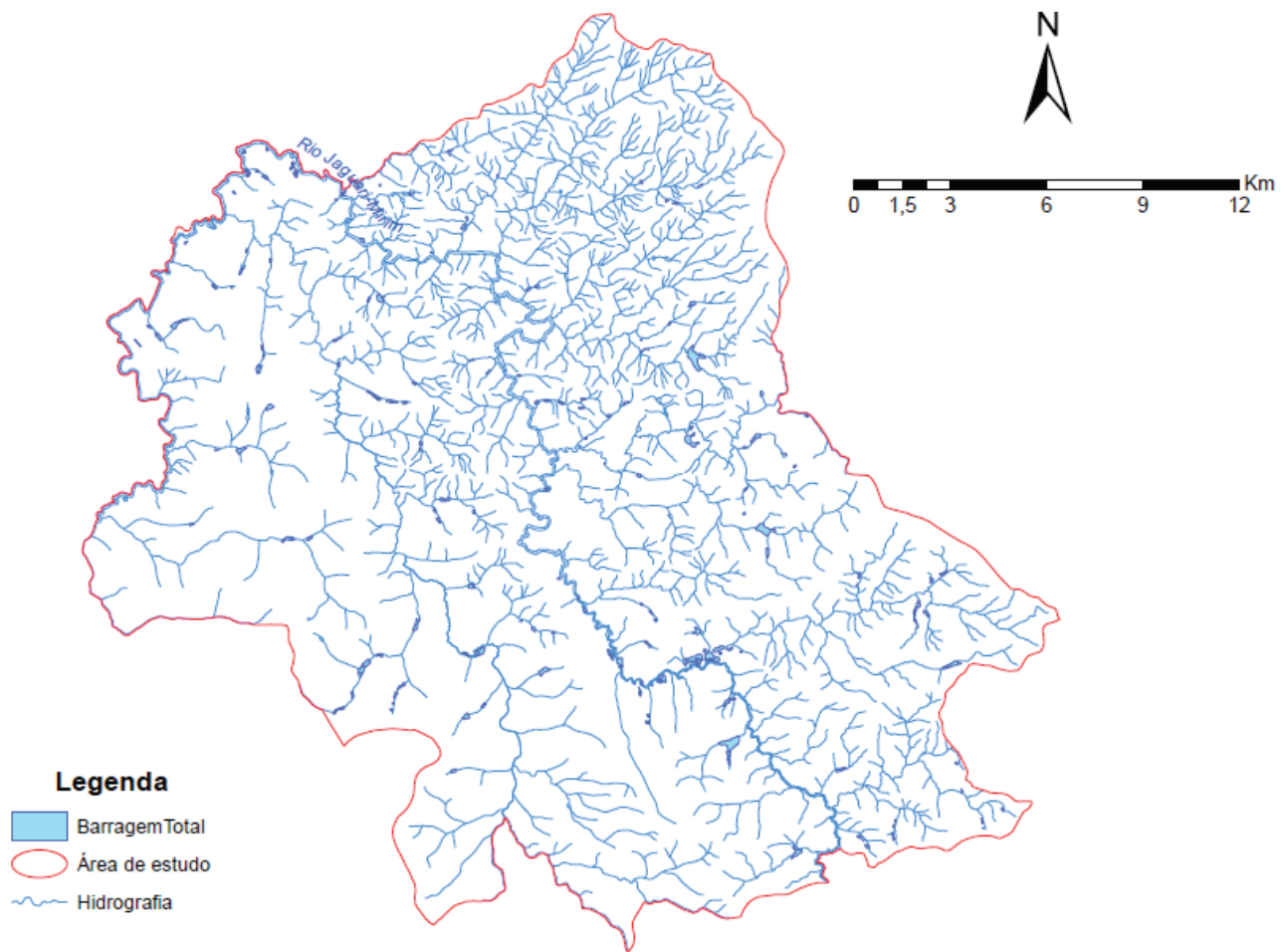


Figura 15. Hidrografia da área de estudo, na bacia do Jaguari Mirim em São João da Boa Vista, SP.



5.1.2. Contextualização Geológico-Geotécnica

Segundo Tominaga (1981), na folha de São João da Boa Vista ocorrem rochas do grupo Pinhal que são representadas por um complexo migmatítico-granítico e rochas sedimentares do grupo Itararé, constituídas por arenitos, siltitos e diamictitos. Também é verificada uma pequena intrusão alcalina (Tinguaíto) e vários corpos de diabásio sob forma de "sills" e diques. Segundo as suas épocas de deposição, a cobertura cenozoica é dividida nos períodos Terciário e Quaternário.

O Terciário é caracterizado por sedimentos areno-argilosos inconsolidados que formam as colinas de encostas convexas, com espessuras da ordem de 10 a 15 m e o Quaternário representado por depósitos aluviais associados às linhas de drenagens atuais.

No grupo Itararé, a granulometria dos arenitos é muito variável, mas a predominância é da fração fina a média, de pobremente a muito pobremente selecionados, com abundante matriz siltico-argilosa. Eles apresentam-se em corpos tabulares com estratificação plano

paralela, estratificação cruzada planar e tangencial na base, de pequeno porte e algumas vezes, micro estratificação cruzada e em bancos maciços.

Segundo Soares (1972) os arenitos, lamitos e diamictitos de idade carbonífero superior a permiano inferior, contemporâneos aos da Formação Itararé constituem a chamada Formação Aquidauana. O grupo Itararé é constituído por sedimentos arenosos, siltitos e diamictitos de cor vermelho-tijolo que possivelmente se trata desta formação.

Já os siltitos são predominantemente argilosos, sendo que podem também ser arenosos. A cor marrom-avermelhada é predominante e encontram-se, em geral, fraturados. Os diamictitos são menos frequentes, sendo que aparecem mais na porção Sul-Sudoeste do município. Possuem seixos alongados, constituídos predominantemente de quartzo, granito e outras rochas metamórficas e sedimentares.

Segundo Wernick e Penalva (1980), o grupo Pinhal é constituído principalmente por rochas migmatíticas e granitóides, associadas entre si. Constituindo os granitóides, encontram-se os granitos equigranulares e porfiróides que são compostos principalmente por quantidades variáveis de quartzo, plagioclásio, microclina e máficos. Os migmatitos são de cores cinzenta e rosada e são complexos e polifásicos, resultantes da interferência de auréolas migmatíticas contíguas (opt.cit.).

Na porção norte do município, o contato entre a Formação Aquidauana e as rochas cristalinas, encontra-se encoberto por sedimentos Cenozóicos e, ao sul, este contato é encoberto pela presença de um espesso *sill* de diabásio.

A região oeste da folha conta com a presença de sedimentos do grupo Itararé onde o relevo suave é marcante e predomina densidade média e baixa de drenagem, com cotas variando de 600 a 700 metros. Áreas mais planas, com densidade de drenagem muito baixa, são formadas pelos depósitos cenozoicos. O contexto geológico da área de estudo pode ser visualizado no **apêndice A**.

Nos limites com o município de Vargem Grande, nas porções noroeste e centro oeste, em algumas áreas específicas, surgem rochas sedimentares do Grupo Itararé, Formação Aquidauna, do Paleozóico e período carbonífero, de aproximadamente 299 milhões de anos. As rochas presentes neste grupo são constituídas basicamente de arenitos, conglomerados, siltitos a folhelho de ambientes glaciais, fluvial e lacustre. Nos aluviões do Rio Jaguari e seus afluentes, também são encontrados cascalheira, silte, argila, areia e areia quartzosa (opt.cit.).

Pilachevsky (2013), utilizando o método lógico de fotointerpretação, realizou a compartimentação fisiográfica do município de São João da Boa Vista e gerou 8 unidades distintas. As características de cada unidade definida podem ser observadas no **quadro 12**.

Quadro 12. Características das unidades fisiográficas definidas por Pilachevsky (2013)

Unidade Fisiográfica	Características
1	Planície Aluvionar. Composta pelas regiões ao longo dos rios Jaguari Mirim e Ribeirão dos Porcos. Ocorrência de processos de inundação, erosão por solapamento das margens das drenagens e assoreamento. Alta profundidade do topo rochoso, alta espessura dos materiais consolidados, baixo grau de resistência de escavabilidade, alto potencial a erosão linear induzida e médio potencial a movimentos gravitacionais
2	Regiões de Intrusões básicas, em relevo de colinas médias. Ocorrência de rolamentos e queda de blocos rochosos em locais expostos por ação antrópica. Alta profundidade do topo rochoso, alta espessura dos materiais consolidados, baixo grau de resistência de escavabilidade, médio potencial a erosão linear induzida e baixo potencial a movimentos gravitacionais.
3	Grupo Itararé em relevo de colinas médias. São áreas suscetíveis a erosão laminar. Alta espessura dos materiais consolidados, baixo grau de resistência de escavabilidade, médio a alto potencial a erosão linear induzida e baixo potencial a movimentos gravitacionais.
4	Granitos finos a médios e migmatitos subordinados em relevo de morros paralelos. São áreas onde ocorre erosão linear e escorregamentos de obras em taludes. Média profundidade do topo rochoso, média espessura dos materiais consolidados, médio grau de resistência de escavabilidade, médio a alto potencial a erosão linear induzida e médio potencial a movimentos gravitacionais.
5	Complexo migmatítico-granítico em relevo de morrotes alongados paralelos. São áreas onde ocorre erosão linear e escorregamentos de obras em taludes.

	Média profundidade do topo rochoso, média espessura dos materiais consolidados, médio grau de resistência de escavabilidade, médio a alto potencial a erosão linear induzida e médio potencial a movimentos gravitacionais.
6	Complexo migmatítico-granítico em relevo de morros paralelos e restritos. São áreas onde ocorre erosão linear e escorregamentos de obras em taludes. Média profundidade do topo rochoso, média espessura dos materiais consolidados, médio grau de resistência de escavabilidade, médio a alto potencial a erosão linear induzida e médio potencial a movimentos gravitacionais.
7	Complexo migmatítico-granítico em relevo de serras alongadas e possui topo rochoso raso. Delgada espessura dos materiais consolidados, alto grau de resistência a escavabilidade, médio a baixo potencial a erosão linear induzida e alto potencial a movimentos gravitacionais
8	Tinguaítos em relevo de serras restritas. Delgada espessura dos materiais consolidados, alto grau de resistência a escavabilidade, médio a baixo potencial a erosão linear induzida e alto potencial a movimentos gravitacionais

5.1.3. Contextualização Geomorfológica

Segundo Almeida (1964), a área do município de São João da Boa Vista localiza-se na porção noroeste da Província do Planalto Atlântico, englobando uma pequena porção do Planalto de Poços de Caldas, na divisa com a Depressão Periférica Paulista.

Segundo Ross(1990), o Planalto Atlântico é constituído por formas de topos convexos, elevada densidade de canais de drenagem e vales profundo, que segundo Ab’Saber (1970), é a área de domínio de Mares de Morros. Já a Depressão Periférica Paulista, graças a influência tectônica, apresenta variação litológica e dos graus de atuação dos processos morfodinâmicos e de vários ambientes paleoclimáticos. Em relação a porção desta que está presente no território paulista, as altitudes oscilam de 600 a 750 metros, com as maiores altitudes

margeando as escarpas da frente de Cuesta sustentadas principalmente por derrames basálticos (ROSS,1990).

A cidade conta com a presença de colinas, que se elevam gradativamente até o rebordo do Planalto de Poços de Caldas. As médias de altitudes da parte urbana da cidade se encontram na média de 730 metros. O **apêndice B** ilustra as unidades geomorfológicas contidas na área de estudo, segundo o IPT (1981).

5.1.4. Contextualização Climática

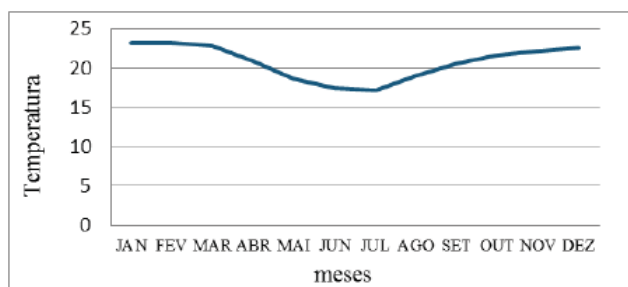
O clima do município é o tropical, mas com duas categorias climáticas subsequente e mesotérmico brando, segundo Nimer (1987). Assim, a região apresenta verões quentes e chuvosos e invernos mais frios e secos, apresentando uma temperatura média anual de 22°C e índice pluviométrico com média anual de 1200 a 1600 mm (IPT, 2006). O clima que domina na região é do tipo Cwa de Köppen, classificado como úmido quente com inverno seco. Temperatura média mensal do município pode ser observada na **figura 16**.

No mês mais quente, a temperatura média chega a 24°C e a temperatura máxima atinge 30°C. O mês mais frio, apresenta uma média de 18°C e mínima de 5°C, apresentando um índice pluviométrico de 1140 mm/ano (opt.cit.).

O azimute da direção predominante dos ventos é 40°22', com sentidos nordeste-sudoeste e sudoeste-nordeste, a velocidade média tangendo os 10 nós. A altitude no marco zero da cidade de São João da Boa Vista é de 729m em relação ao nível do mar (opt cit.).

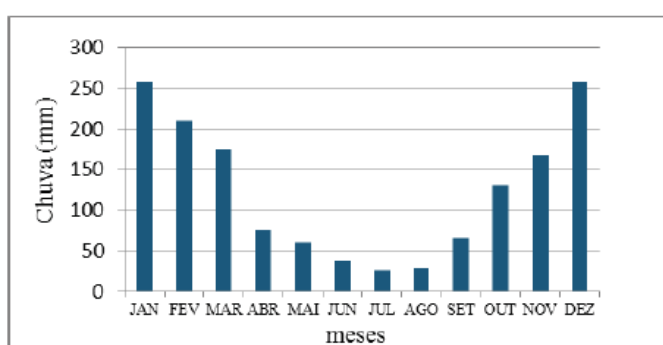
Há a presença das chamadas chuvas orográficas, graças às serras, que funcionam como barreiras interceptoras das massas de ar. A pluviosidade está em 1.140 mm anuais e as chuvas se concentram nos meses mais quentes, a partir de outubro. Geadas fortes foram registradas nos anos de 1870, 1886, 1902 e 1918, causando grandes prejuízos para as plantações de café. A pluviosidade média mensal do município pode ser observada na **figura 17**.

Figura 16. Temperatura média mensal de São João da Boa Vista, SP.



Fonte: DAEE, 2012.

Figura 17. Pluviosidade média mensal de São João da Boa Vista, SP. .



Fonte: DAEE, 2012

5.1.5. Contextualização pedológica

Segundo o levantamento realizado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Mogi-Guaçu (CBH-MOGI,1999), o município de São João da Boa Vista apresenta, como predominantes, os Argissolos, caracterizados como Podzólico Vermelho Amarelo orto (PV). Na região Central do município, existe uma pequena quantidade de solos Hidromórficos (HI) e, na região leste, destacam-se os Litossolos, classificados como Litossolo fase substrato granito (Ligr) e Litossolo fase substrato arenito calcário (LV-Ligr). Na porção oeste do município, é verificada a presença dos Latossolos, destacando-se o Latossolo roxo (LR) e o Latossolo Vermelho Amarelo orto (LV).

O Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 2006), fornece as seguintes definições:

- Os Argissolos são constituídos por material mineral com processo de acumulação de argila no horizonte B do solo;
- Os Latossolos são formados em estágio avançado de intemperização, constituídos por solos muito alterados, resultante de grandes modificações do material de origem;

- Os Litossolos, parte da família dos Neossolos, são constituídos por camadas não espessas de material mineral ou orgânico, com alta similaridade ao material de origem;
- Solos Hidromórficos são formados sob condições de drenagem deficiente em pântanos, brejos e áreas de ocorrência de planícies.

5.2 Condicionantes geológicos e geotécnicos para rompimento de barragens

Segundo constatado na pesquisa bibliográfica, os condicionantes geológicos e geotécnicos para rompimento de barragens são a má drenagem interna, a baixa resistência ao cisalhamento do solo e sua alta deformabilidade. Estes estão apresentados no **quadro 13**, que também esclarece de quais parâmetros estes condicionantes dependem e quais as consequências decorrentes deles no corpo das barragens.

Quadro 13. Principais condicionantes relacionados a fatores internos para o rompimento de barragens.

Fator	Depende	Consequências
Má Drenagem Interna	Permeabilidade Grau de Saturação	Pipping Saturação e Intabilidade de Taludes Perda Excessiva de água
Resistência ao cisalhamento do solo	Índice de Vazios Grau de Saturação Estrutura do Solo	Formação de Trincas
Deformabilidade do Solo	Forma do vale (aberto/fechado) Tipo de fundação	Formação de Trincas

Massad (2003) considera a má drenagem interna o principal problema para a estabilidade de barragens de terra. O grau de percolação (permeabilidade) de um solo deve ser conhecido, para que este problema seja controlado através da utilização de um filtro que se adeque àquele tipo de solo. A facilidade ou a dificuldade de percolação se dará de acordo com o grau de saturação deste, sendo que solos não saturados oferecem resistência das bolhas de ar, dificultando a percolação.

Se ocorrer uma má drenagem interna, poderá ocorrer Pipping, que é uma erosão interna na barragem que ocorre no sentido contrário do fluxo. Poderá ocorrer também a

saturação e instabilidade dos taludes da barragem, cancelando a pressão neutra que neutraliza a tensão total, este problema pode ser resolvido com a utilização de uma drenagem espinha de peixe. Logicamente, a perda de água também é uma consequência e cancela a própria finalidade da construção da barragem.

A alta resistência ao cisalhamento de um solo é de grande importância, uma vez que fornece maior estabilidade para a barragem evitando a formação de trincas, e depende do grau de saturação do solo, seu índice de vazios e de sua estrutura.

A alta deformabilidade de um solo favorece a ocorrência de recalques, principalmente se a obra estiver localizada em um vale fechado, o que irá direcionar a formação de trincas no corpo da barragem.

5.3 Análise da situação das barragens analisadas na área de estudo

Para a análise do potencial de risco de rompimento das barragens analisadas na área de estudo, foram observados parâmetros no local da obra que permitissem a avaliação de sua segurança. Não houve consulta ao projeto das barragens nem análise instrumental, o foco foi analisar condições externas que favorecessem o aumento do risco de rompimento. O **apêndice C** demonstra as barragens delimitadas na área de estudo.

Também foi considerado o mapa de compartimentação fisiográfica, elaborado por Pilachevsky (2013), onde na área das barragens foi considerada a densidade de drenagem da unidade, amplitude altimétrica, declividade, forma do vale, potencial a erosão linear e o potencial a movimentos gravitacionais previamente definidos para a análise da situação de tais barragens.

É importante ressaltar que a análise realizada por Pilachevsky (2013) foi feita em uma base cartográfica 1:50.000, o que generaliza consideravelmente as reais ocorrências nos locais de análise, sendo necessárias sondagens e estudos mais específicos para uma visualização mais detalhada das situações analisadas. O **quadro 14** demonstra as características observadas em campo, em cada ponto visitado.

Quadro 14. Características observadas em campo.

Ponto Analisado	Características
<i>Ponto 1:</i> Antiga cava de mineração	• Coordenadas: 311188 mE / 7564190 mN • Unidade Fisiográfica: 1 • Condições observadas em campo: Taludes rebaixados, com baixa inclinação Vegetação presente nos taludes Não ocorrência de processos erosivos no seu entorno Respeito a Área de Preservação Permanente • Figuras 18 e 19
<i>Ponto 2:</i> Antiga cava de mineração	• Coordenadas: 311188 mE / 7564190 mN • Unidade Fisiográfica: 1 • Condições observadas em campo: Taludes rebaixados, com baixa inclinação Vegetação presente nos taludes Não ocorrência de processos erosivos no seu entorno Respeito a Área de Preservação Permanente • Figuras 18 e 20
<i>Ponto 3:</i> Barragem em série	• Coordenadas: 311301 mE / 7562190 mS • Unidade Fisiográfica: 2 • Condições observadas em campo: Primeira barragem da série Alta inclinação dos taludes (> 1:1) Vegetação presente nos taludes Cultura presente na encosta do lado esquerdo da barragem: Presença de

	solo exposto Ocorrência de processos erosivos no talude a juzante Presença de controle de vazão: Vertedor Ausência de controle geotécnico: Sem campo limpo • Figuras 21,22 e 23
<i>Ponto 4:</i> <i>Barragem</i> <i>em série</i>	• Coordenadas: 311683 mE / 7562395 mS • Unidade fisiográfica: 2 • Condições observadas em campo: Segunda barragem da série Baixa inclinação dos taludes Vegetação presente nos taludes Processo de rastejo na encosta do lado esquerdo da barragem Presença de controle de vazão: Vertedor • Figuras 21, 24 e 25
<i>Ponto 5:</i> <i>Barragem</i> <i>em série</i>	• Coordenadas: 311841 mE / 7562564 mS • Unidade Fisiográfica: 2 Condições observadas em campo: Terceira barragem da série Baixa inclinação dos taludes Processo erosivo no talude: Causado pela força da água que sai dos vertedores Baixa inclinação das encostas no entorno

	Presença de controle de vazão: Vertedor • Figuras 21, 26 e 27
<i>Ponto 6: Barragem</i>	• Coordenadas: 316669 mE / 7569703 mN • Unidade Fisiográfica: 4 • Condições observadas em campo: Baixa inclinação dos taludes Vegetação presente nos taludes Baixa inclinação das encostas no entorno Presença de controle de vazão: Vertedor de soleira Presença de uma barragem abandonada na parte superior: Assoreada, com vegetação Taboa • Figuras 28 e 29
<i>Ponto 7: Barragem</i>	• Coordenadas: 316590 mE / 7574308 mS • Unidade Fisiográfica: 6 • Condições observadas em campo: Baixa inclinação dos taludes Vegetação presente nos taludes Média/alta inclinação das encostas no entorno Ausência de vertedor Processo erosivo na encosta do lado esquerdo da barragem,mas sem risco de movimento de massa • Figuras 30, 31 e 32
<i>Ponto 8:</i>	• Coordenadas: 315913 mE / 7575040 mS

<i>Barragem</i>	• Unidade Fisiográfica: 6 • Condições observadas em campo: Baixa inclinação dos taludes Vegetação presente nos taludes Alta inclinação das encostas no entorno Processo erosivo na margem esquerda, vale fechado, alta probabilidade de movimento de massa à montante em episódios de cheias excepcionais Não observado vertedor (não possível entrada) • Figuras 33 e 34
<i>Ponto 9: Barragem</i>	• Coordenadas: 317527 mE / 7578268 mS • Unidade Fisiográfica: 7 • Condições observadas em campo: Baixa inclinação dos taludes Vegetação presente nos taludes Média/alta inclinação nas encostas do entorno Presença de vertedor • Figuras 35 e 36

Figura 18. Localização das cavas de mineração, visitadas nos pontos 1 e 2.



Figura 19. Visualização da cava de mineração no ponto 1.



Figura 20. Visualização da cava de mineração no ponto 2.



Figura 21. Visualização das barragens em série visitadas nos pontos 3, 4 e 5



Figura 22. Visualização da barragem no ponto 3.



Figura 23. Visualização do talude a jusante da barragem no ponto 3, com alta inclinação e presença de processos erosivos



Figura 24. Visualização da barragem no ponto 4.



Figura 25. Visualização do processo de rastejo na encosta do lado esquerdo da barragem no ponto 4.



Figura 26. Visualização da barragem no ponto 5.



Figura 27. Visualização do vertedouro da barragem no ponto 5, causando processos erosivos.



Figura 28. Localização da barragem no ponto 6.



Figura 29. Visualização da barragem no ponto 6.



Figura 30. Localização da barragem no ponto 7



Figura 31. Visualização da barragem no ponto 7.



Figura 32. Visualização de processo erosivo na encosta do lado esquerdo da barragem no ponto 7, mas sem risco de movimento de massa.



Figura 33. Localização da barragem no ponto 8.



Figura 34. Visualização da barragem no ponto 8, com processo erosivo na margem esquerda, vale fechado, alta probabilidade de movimento de massa à montante em episódios de cheias excepcionais.



Figura 35. Localização da barragem no ponto 9.



Figura 36. Visualização da barragem no ponto 9.



5.4 Potencialidade de rompimento das barragens analisadas na área de estudo

Com base na ficha de campo estabelecida por Cerri, Reis e Giordano (2011), os parâmetros observados no local que potencializariam o risco de rompimento de barragens foram definidos como:

- Alta inclinação dos taludes;
- Ausência de vegetação nos taludes;
- Alta inclinação das encostas do entorno;
- Ocorrência de processos erosivos;
- Tendência a escorregamento;
- Presença de Vertedor

O **quadro 15** demonstra a como estes parâmetros se distribuíram ao longo das análises das barragens em campo, distribuídas nas respectivas unidades fisiográficas.

Quadro 15. Ficha de análise dos parâmetros locais observados nas barragens visitadas.

Barragem	Unidade Fisiográfica	Inclinação dos taludes	Presença de vegetação nos taludes:	Inclinação das encostas do entorno	Processos erosivos	Tendência a escorregamento	Presença de Vertedor
1	1	Baixa	Sim	Baixa	Não	Não	Não
2	1	Baixa	Sim	Baixa	Não	Não	Não
3	2	Alta	Sim	Média/Alta	Sim	Não	Sim
4	2	Baixa	Sim	Média/Alta	Não	Sim	Sim
5	2	Baixa	Sim	Baixa	Sim	Não	Sim
6	4	Baixa	Sim	Baixa	Não	Não	Sim
7	6	Baixa	Sim	Média/Alta	Sim	Não	*
8	6	Baixa	Sim	Alta	Sim	Sim	*
9	7	Baixa	Sim	Média/Alta	Não	Não	Sim

*Não constatado, graças a não entrada na propriedade.

Para a definição do potencial de rompimento das barragens analisadas acerca dos condicionantes analisados é necessária a observação detalhada dos parâmetros apresentados nos **quadros 10 e 15**. As barragens dos pontos 1, 2, 6 e 9 foram classificadas com baixo potencial de rompimento, isso se deve as condições dispostas pela unidade fisiográfica em que a mesma está inserida, mas principalmente as condições do entorno da obra observadas em campo. Por exemplo, apesar da barragem 9 estar localizada em uma unidade fisiográfica considerada crítica, os parâmetros locais observados demonstram que a sua situação é estável e que não possui alto risco de rompimento.

As barragens dos pontos 3, 4, 5, 7 e 8 apresentaram alto risco de rompimento. Com destaque para as barragens 3, 4 e 5 dispostas em série, onde a primeira delas já apresenta no local condições irregulares que potencializa o seu risco de rompimento, como a alta inclinação dos taludes e a presença de processos erosivos nos mesmos. O **quadro 16** apresenta o potencial de rompimento das barragens analisadas em campo.

Quadro 16. Definição da potencialidade de rompimento das barragens da área de estudo

Ponto	Potencial de rompimento		Unidade Fisiográfica
	Alto	Baixo	
1		x	1
2		x	1
3	x		2
4	x		2
5	x		2
6		x	4
7	x		6
8	x		6
9		x	7

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo de condicionantes geológicos e geotécnicos é fundamental para o entendimento da estabilidade dos barramentos. Fatores como a má drenagem interna, baixa resistência ao cisalhamento e alta deformabilidade dos solos proporcionam consequências adversas no corpo da barragem como a formação de Pipping, a saturação e instabilidade dos taludes da barragem, perda de água através de sua estrutura e a formação de trincas. Desta maneira, é de suma importância que estudos geotécnicos e geológicos sejam inferidos nos projetos de construção das barragens, independente da dimensão destas.

É importante ressaltar que, além das condições de projeto, fatores externos são essenciais para a manutenção da estabilidade dos barramentos, como a possibilidade de ocorrência de ondas de cheia ou corridas de massa. Os movimentos de massa são fenômenos naturais que podem ser potencializados pela combinação de fatores, como a precipitação elevada, cortes de estradas mal planejadas e construções em encostas (HORTON, 1933). Para a ocorrência de ondas de cheias excepcionais, é necessário um estudo sobre as chuvas, tempo de concentração da bacia, as vazões de pico e parâmetros relacionados com estes fatores (apresentados no **quadro 8**).

O mapa de compartimentação fisiográfica (PILACHEVSKY, 2013) fornece uma base para a definição dos níveis de risco de cada região, o que direciona a atenção para as áreas com maior potencial para o rompimento de reservatórios, nortando o monitoramento. Os fatores críticos da bacia, apresentados nas unidades fisiográficas, que potencializam o risco de rompimento de barragens são:

- Alta densidade de drenagem;
- Alta amplitude altimétrica;
- Alta declividade;
- Forma fechada de vale;
- Alto potencial a erosão linear;
- Alto potencial a movimentos gravitacionais;
- Tipos de processos geológicos ocorrentes na unidade.

Mas é importante ressaltar que os mapas deste tipo de compartimentação geralmente possuem uma escala muito pequena, que tem que ser observada em situações pontuais. No caso das pequenas barragens, em que a área máxima chega a 2.000m², as observações de campo são de extrema importância para análise da estabilidade dos reservatórios. Segundo Cerri, Reis e Giordano (2011), para o monitoramento em campo são fatores fundamentais:

- Presença/ ausência de vegetação nos taludes das barragens;
- Ocorrência/não ocorrência de processos erosivos nas encostas do entorno das barragens;
- Alta/baixa inclinação dos taludes;
- Presença/ausência de vertedores para controle de vazão.

Dessa maneira, é de grande importância a análise das condições da bacia hidrográfica em que os barramentos estão localizados, o que neste projeto se deu com a análise das unidades fisiográficas propostas por Pilachevsky (2013). Com estas considerações é possível observar, em uma mesma bacia hidrográfica, quais são as regiões que apresentam maior risco para o rompimento de barragens, direcionando a atenção do profissional para tais regiões.

A observação em campo é essencial, principalmente graças ao porte do empreendimento ser pequeno, gerando dificuldades de conclusões baseadas em mapas e imagens de satélite. As condições do entorno e da construção são as principais diretrizes para a análise dos condicionantes que causariam o rompimento de barragens.

É recomendável que os projetos dos pequenos barramentos sejam mais detalhados, envolvendo profissionais que possuam capacidade de desenvolver estudos geológicos e geotécnicos da região, considerando os aspectos da bacia e da área do entorno do local de construção da barragem, sabendo ponderar os mesmos e dirigir de forma fiel o projeto e manutenção dos barramentos. Desta maneira e somente assim, um uso ordenado do solo relativo a construção de reservatórios será alcançado, diminuindo drasticamente os riscos de rompimentos e perdas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB’SÁBER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. Geomorfologia, São Paulo, 20. 26 p. 1970.

ALBUQUERQUE, P. Capítulo 6, *Fundações e Obras de Terra*, 2003.

ALMEIDA, F. F. M. Geologia do centro-leste Mato-Grossense. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia, 1954. 97 p. (Boletim, 50). 1954.

ANA, Agência Nacional de Águas - *IV Simpósio Nacional Sobre o Uso da Água na Agricultura. I Simpósio Estadual Sobre os Usos Múltiplos da Água*. Passo Fundo, 14 de abril de 2011.

AUGUSTO FILHO, O & VIRGILI, J.C. (1998). *Estabilidade de taludes*. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Edit.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

BRASIL. Lei Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 17 p.

CAPUTO, H.P. *Mecânica dos solos e suas aplicações: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra*; Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1987, 7ª edição.

CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B. *Fundamentos em hidráulica*, 2006.

CERRI, L.E.S; REIS, F.A.G.V. *Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo*. 2012.

CERRI, L.E.S; REIS, F.A.G.V.; GIORDANO, L.C. *Diretrizes para a elaboração de plano de operação de barragens de terra de pequenas dimensões*. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO MOGI GUAÇU. Diagnóstico da bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu: relatório Zero. São Paulo: CBH-MOGI, 1999. 240 p

CONAMA- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE . 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em:< www.mma.conama.gov.br/conama> Acesso em 12/05/2013.

CPFL. *Geração Usinas Hidrelétricas: Conceitos e Noções básicas*, 2001, 34p.

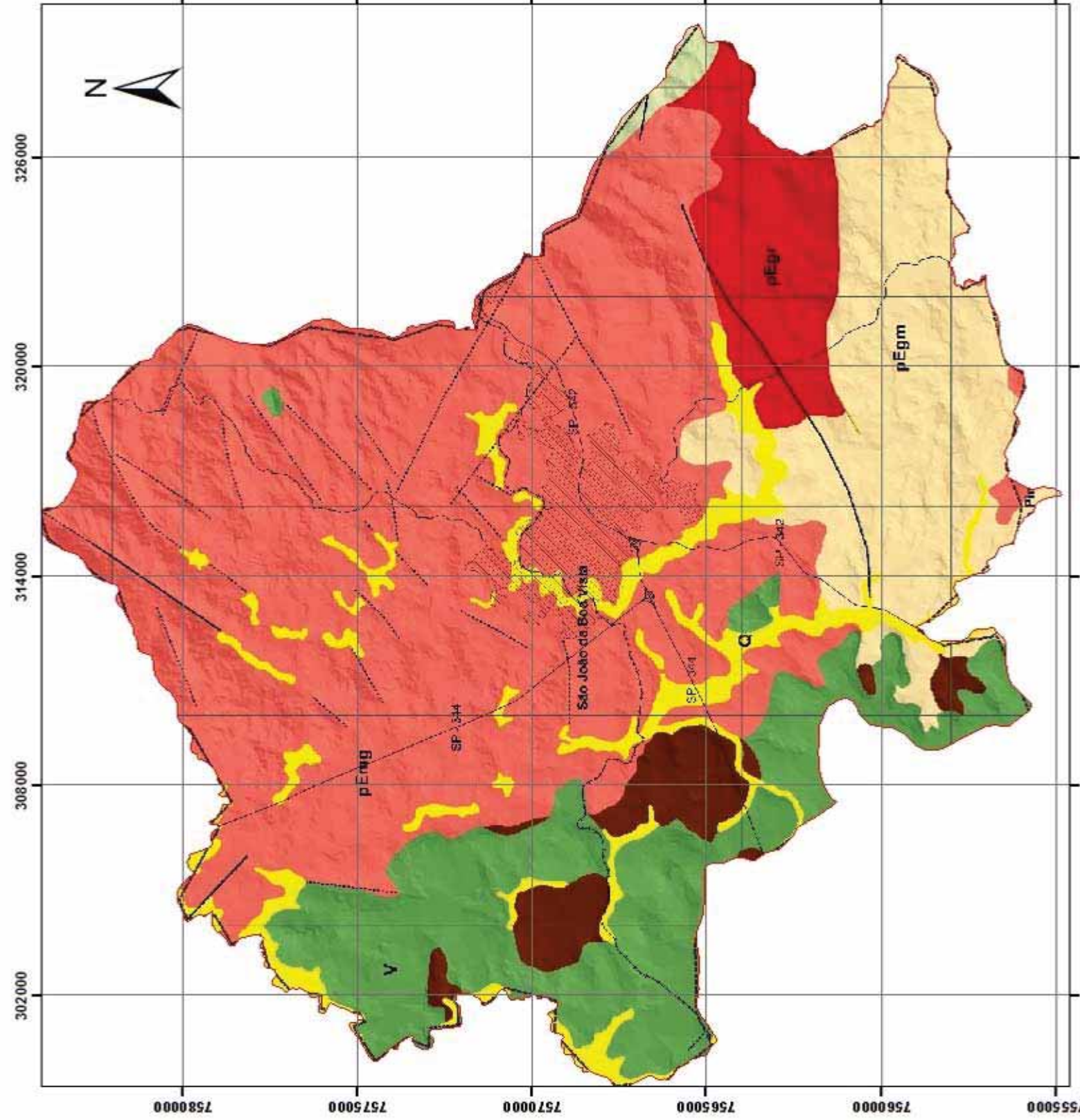
CRUZ, P.T. *100 Barragens Brasileiras; casos históricos, materiais de construção, projeto*. São Paulo, Oficina de Textos. 1996.

- DAEE-** Departamento de Águas e Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br/>> Acesso em 9/05/13.
- EMBRAPA-** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/>> Acesso em: 12/05/2013.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P.** *Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica*. In: Guerra, A. J.
- FOSTER, M.; FELL, R.; SPANNAGLE, M.** *The statistics of embankment dam failures and accidents*. Canadá: Can. Geotech. J. 37, p.1000–1024, 2000.
- HORTON, R.E.** *The Role of Infiltration In The Hydrological Cycle*. Transactions of American Geophysical Union, 1933.
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico: resultados preliminares - São Paulo. Rio de Janeiro; 1982. v. 1, n. 4.
- IPT-** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.ipt.br/>> Acesso em 04/05/2013.
- JINBAO, S., LEI, L., ZHAOSHENG, W., XUEHUI, P., SHICHEN, Z.** (2007) – “*Small Dam Safety and Risk Management in China*”, ICOLD 75th Annual Meeting, Saint Petersburg, Russia.
- KOIKE, K. MATSUDA, S.** *Spatial modeling of discontinuous geologic attributes with geotechnical applications*. 2004.
- LIGOCKI, Laryssa Petry.** *Comportamento geotécnico da barragem de Curuá-Una*; orientador: Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão; co-orientadora: Denise Maria Soares Gerscovich. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2003.
- MASSAD, F.** *Obras de Terra: Curso básico de geotecnia*. São Paulo, Oficina de textos, 2003.
- MOREIRA, J.E.** *Fatores Predominantes na seleção do tipo de barragem de terra e enrocamento*. In: ABMS, Barragem de Terra e Enrocamento – Curso de Extensão Universitária. Núcleo Regional de Brasília, 1981, cap III.
- NIMER, E.** Clima. In: BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil; Região Sudeste. Rio de Janeiro. v. 3 p. 51-89. 1977.
- PILACHEVSKY, T.** *Zoneamento Geoambiental no município de São João da Boa Vista*, 2013.
- PINTO, C.S.** *Curso básico de mecânica dos solos*. São Paulo: Oficina dos Textos, 2000, 247p.

- ROSS, J. L. S.** Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 1990. 85p.
- SOARES, P.C.** O limite glacial-pós glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. An. Acad. Bras.Ciênc. Rio de Janeiro, 44: 333-341. 1972.
- TOMINAGA, L.K.** Geologia da folha de São João da Boa Vista, v.2. 21-29 p. Jan/jun 1981.
- UNIVERSIDADE DO ALGARVE.** Escola Superior de Tecnologia. Núcleo de Hidráulica e Ambiente. Faro, 2001. Cap. VIII, 20p.
- WERNICK, E.; PENALVA, F.** (1980) *Contribuição à geologia do Grupo Pinhal (SP e MG)*. Revista Brasileira de Geociências, v.10, n.1.

APÊNDICE A – Unidades Geológicas da área de estudo

Mapa Geológico da Área de Estudo



Idade	Estratigrafia	Lenda	Descrição
Quaternário	Aluviões	Q	Areias, Argilas e Cascalhos
Terciário	Depósitos Coluviais	T	Areias e argilas
Cretáceo-Superior	Suites Alcalinas	Ka3	Fonólitos, fonitos, tinguaitos, tufo e rochas piroclásticas
Triássico-Cretáceo	Formação Serra Geral	V	Intrusivas Básicas (diabásios)
Permiano-Carbonífero	Formação Itararé	PCi	Arenitos, Siltitos, Argilitos e Diamictitos
Superior	Complexo Varginha	pEgr	Complexo migmatítico-granítico
		pEgr	Granito rosado grosseiro
		pEgm	Granitos finos a médios e migmatitos graníticos subordinados



Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
IGCE/UNESP - Campus de Rio Claro

Orientada: Laura Ursino Pereira Vinaud
Orientador: Prof. Dr. Fábio A. Gomes Vieira Reis

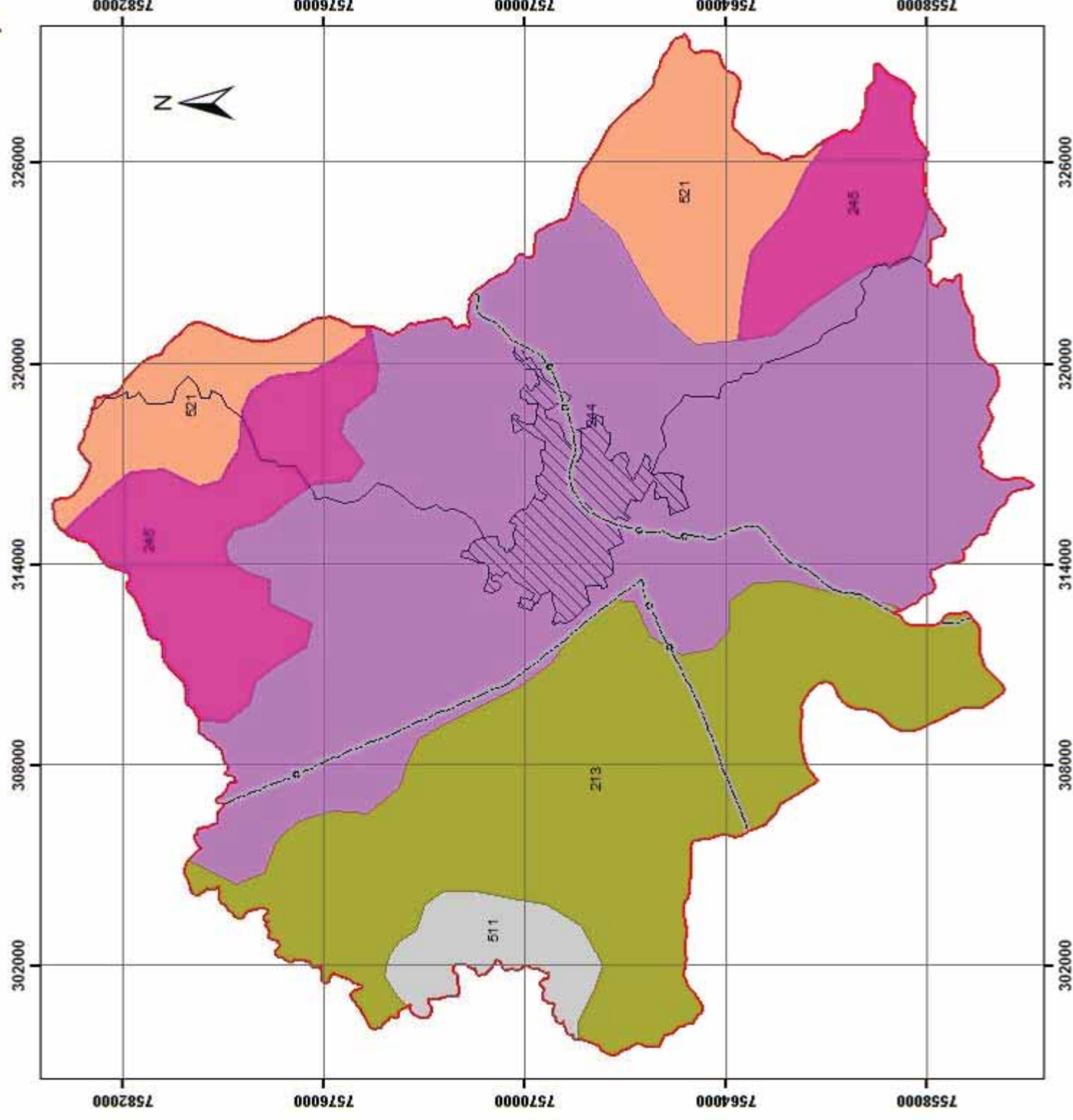
Rio Claro
2013

Modificado de PILACHEVSKY, 2012.



APÊNDICE B – Unidades geomorfológicas da área de estudo

Mapa Geomorfológico da área de estudo



521	Escarposas Festonadas	Topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão subparalelo e dendrítico, vales fechados.
245	Morros com Serrias Restritas	Topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados.
244	Morros Paralelos	Topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão dendrítico, vales abertos a fechados.
213	Colinas Médias	Topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, padrão subretangular, vales abertos a fechados.
511	Encostas Sulcadas por vales subparalelos	Topos angulosos a arredondados, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de média densidade, padrão subparalelo, vales fechados.



Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
IGCE/UNESP - Campus de Rio Claro

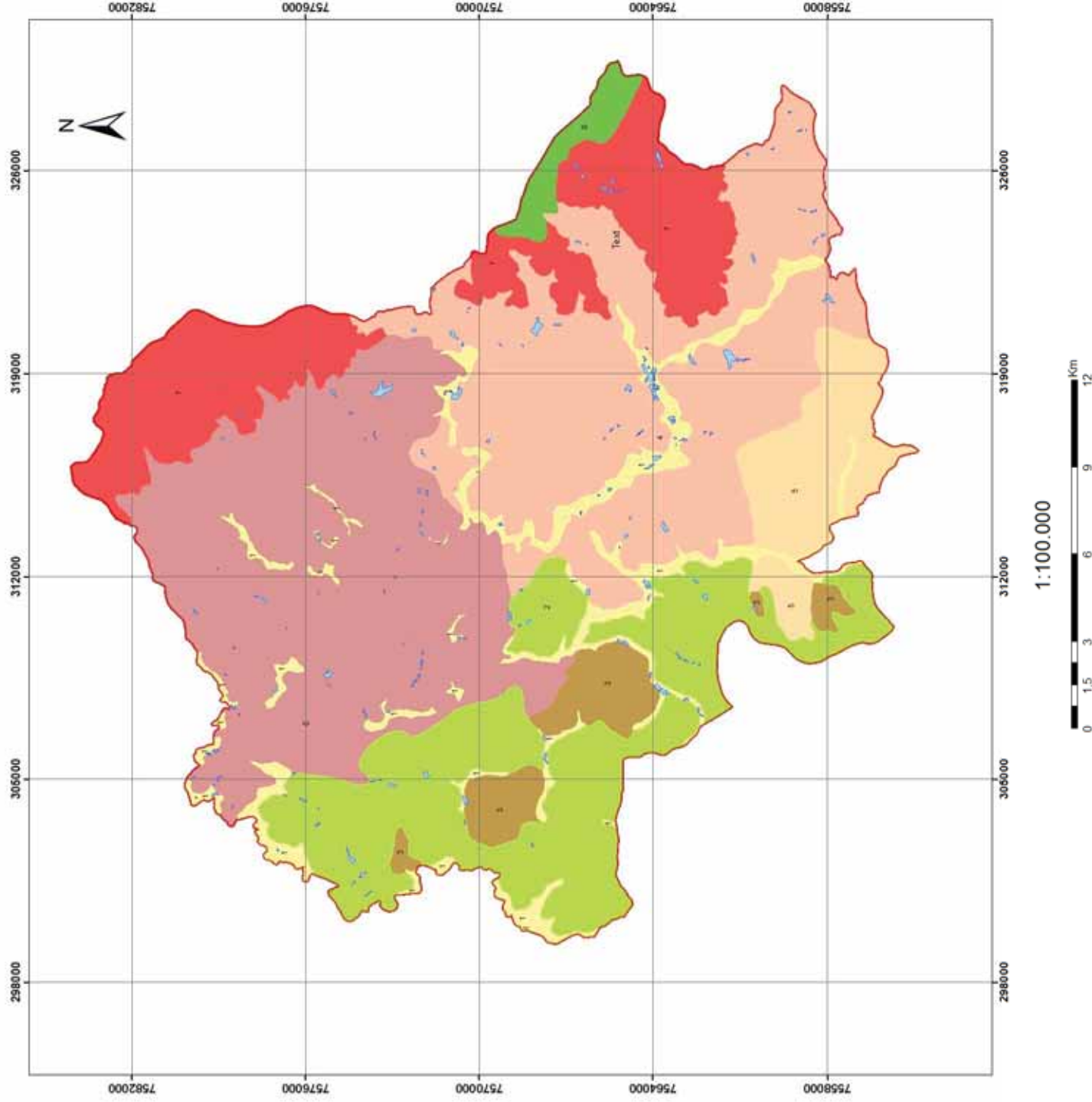
Orientada: Laura Ursino Pereira Vinhaud
Orientador: Prof. Dr. Fábio A. Gomes Vieira Reis

Rio Claro
2013

Fonte: modificado de PILACHEVSKY, 2012.

APÊNDICE C – Barragens delimitadas na área de estudo.

Mapa de localização das barragens



Legenda

Barragens

Área de estudo

Unidade Hidrográfica	Sub-região	Relação
1	Planície Aluvial	Planície Aluvial
2	Formação Serra Geral	Formação Serra Geral (Dobson)
3	Acidatos	Formação Serra Geral (Dobson)
4	Acidatos	Formação Serra Geral (Dobson)
5	Acidatos	Formação Serra Geral (Dobson)
6	Acidatos	Formação Serra Geral (Dobson)
7	Acidatos	Formação Serra Geral (Dobson)
8	Acidatos	Formação Serra Geral (Dobson)



Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
IGCE/UNESP - Campus de Rio Claro

Orientada: Laura Ursino Pereira Vinaud
Orientador: Prof. Dr. Fábio A. Gomes Vieira Reis

Rio Claro
2013

Fonte: modificado de PILACHEVSKY, 2012.