**AMARÍLIO COSTA E CARVALHO PINTO**

# CONTRIBUIÇÕES PARA O ESTUDO DE DESCOMISSONAMENTO DE BARRAGENS

São Paulo

2010

**AMARÍLIO COSTA E CARVALHO PINTO**

# CONTRIBUIÇÕES PARA O ESTUDO DE DESCOMISSONAMENTO DE BARRAGENS

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Hidráulica.

Área de Concentração:

Engenharia Hidráulica

Orientador: Prof. Dr. José Rodolfo Scarati Martins

São Paulo
2010

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo,  de Setembro de 2010.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador_____

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Pinto, Amarílio Costa e Carvalho**
**Contribuições pra o estudo de descomissionamento de barragens / A.C.C. Pinto. -- ed.rev. -- São Paulo, 2010.**
**216 p.**

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.**

**1. Barragens (Operação; Remoção; Segurança) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II. t.**

*Aos amigos e familiares*

# AGRADECIMENTOS

A mim mesmo, por ter batalhado arduamente ao longo dessa caminhada, que me fez amadurecer como pessoa.

Às empresas onde trabalhei desde 2006, por terem me liberado para cursar as disciplinas ao longo dos trimestres.

Ao Dr. Luiz Antônio Villaça de Garcia por ter aceitado me orientar de última hora.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Rodolfo Scarati Martins, pelo seu bom-humor constante, que tornou meu aprendizado mais agradável.

Ao Prof. Dr. Mário Thadeu Leme de Barros, por ter ajudado com fornecimento de material para pesquisa.

Aos colegas do Mestrado, especialmente à Gislaine Massuia, pelo desenvolvimento dos trabalhos em equipe.

Ao amigo, Ludmilson Abritta Mendes, pela sua imensa ajuda na etapa de revisão deste trabalho.

Aos amigos, Alison, “Cesinha”, Diego, “Dudu”, Everson, Fortino, Ivo, Luciano, Mariana, Rodolffo, Ronaldo, Renata, Sakamoto, Tiago e Victor, que de uma forma ou de outra, estiveram juntos comigo e me ajudaram com palavras, gestos e atitudes ao longo dessa caminhada.

Aos meus pais, Hélio e Mírian, por terem me criado, educado, amado, incentivado e desafiado, permitido que eu chegasse até aqui.

Obrigado.

# RESUMO

Dada a importância estratégica das barragens no Brasil e à disputa de interesses, o descomissionamento dessas estruturas é um assunto inevitável a ser discutido. Um conjunto de casos de descomissionamento de outros países é apresentado e ilustra de maneira abrangente essa questão pouco discutida e ainda não legislada no Brasil. Uma metodologia para avaliação da necessidade de descomissionamento com base no potencial de risco oferecido foi proposta e aplicada aos barramentos constantes do Cadastro de barragens das bacias PCJ, no estado de São Paulo. Apesar de a metodologia não poder ser aplicada em sua total extensão devido à insuficiência de dados do cadastro, é possível perceber quando algumas barragens encontram-se descuidadas, sem nenhum tipo de monitoramento podendo ser elegíveis para descomissionamento.



Palavras-chave: Barragem (Segurança; Remoção). Hidráulica Fluvial.

## ABSTRACT

Due to the importance of dams in Brazil and to different interests, dam decommissioning is an unavoidable issue to be discussed. Some examples of dam removal in some countries are presented to generally elucidate this subject that still hasn't been acknowledged, neither legislated in Brazil. A methodology for evaluation of decommissioning demanding, based on the potential risk offered by dams has been set up and tested over a few dams that are constituent of a data basis of dams of Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ) basins, in São Paulo state. Despite the fact that the methodology couldn't be used at its full length due to lack of field data, it has been realized when some dams of the data basis are most despised, recklessly maintained and are contestant for decommissioning.



Key-Words: Dam Removal. Dam Security Fluvial Hydraulic.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 – Ilustração de escada para peixes (ALMA DO RIO, 2009) ..... 10
Figura 3-2 - Principais fontes de nutrientes e conseqüências do processo de eutrofização artificial em ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1998) ..... 13
Figura 3-3 - Algumas variáveis biológicas, químicas e suas tendências no período de equilíbrio ecológico (condições naturais) e de eutrofização artificial (ESTEVES, 1998) ..... 14
Figura 3-4 – Ilustração de lago eutrofizado (YOUNG REPORTERS FOR THE ENVIRONMENT, 2009) ..... 15
Figura 3-5 - Esquema de uma usina hidrelétrica (BRASPOWER, 2010) ..... 21
Figura 3-6 - Etapas para a remoção de barragem – executado pelo Departamento de Recursos Naturais de Ontário / Canadá (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002). ..... 43
Figura 4-1 – Esquema da disposição das barragens do Rio Klamath (CUI, et al., 2005) ..... 66
Figura 4-2 - Sedimento depositado no canal principal do reservatório Iron Gate (CUI, et al., 2005) ..... 69
Figura 4-3 - Espessura simulada da deposição dos sedimentos na segunda simulação: Seis meses de rebaixamento de reservatório com túnel de desvio antes da remoção sob condições de estiagem (CUI, et al., 2005) ..... 70
Figura 4-4 - Elevação do leito do rio na segunda simulação: Seis meses de rebaixamento do reservatório com túnel de desvio antes da remoção da barragem sob condições de estiagem (CUI, et al., 2005). ..... 71
Figura 4-5 - Processo de Descomissionamento (DEHEER, 2001) ..... 74
Figura 4-6 – Exemplo de Canal By-Pass (GOODELL, et al., 2005) ..... 77
Figura 4-7 – Canal By-Pass proposto para a barragem Milltown (GOODELL, et al., 2005) ..... 77
Figura 4-8 – Concentração de sedimentos e vazões na simulação de descomissionamento (GOODELL, et al., 2005) ..... 78
Figura 4-9 – Resultado da Simulação da acumulação de sedimentos ao longo dos anos (GOODELL, et al., 2005) ..... 78

Figura 4-10- Sistema de Remoção por Hidrosucção de Sedimentos (SRHS). (a) draga de hidrosucção; (b) hidrosucção com by-pass. (HOTCHKISS, et al., 1995) ..... 81
Figura 4-11 – Sistema de Remoção por Hidrosucção de Sedimentos (HOTCHKISS, et al., 1995) ..... 82
Figura 4-12- Barragem San Clemente (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)..... 88
Figura 4-13- Custos do Projeto de remoção da barragem San Clemente (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010) ..... 89
Figura 4-14 - Foto aérea do local da barragem (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010) ..... 91
Figura 4-15 - Esquema da situação atual (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)..... 92
Figura 4-16 – Esquema do Projeto (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)..... 92
Figura 4-17 – Escada de pedras no rio Carmel (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010) ..... 93
Figura 4-18 - Remoção de parte da barragem Marmot (KELLER, 2009) ..... 97
Figura 5-1 - Ilustração do Cadastro de Barragens - Informações Gerais (ENGECORPS, et al., 2005) ..... 101
Figura 5-2 – Ilustração do Cadastro de Barragens – Usos Atuais (ENGECORPS, et al., 2005) ..... 102
Figura 5-3 – Ilustração do Cadastro de Barragens – Inspeção Segurança (ENGECORPS, et al., 2005) ..... 103
Figura 5-4 - Ilustração do Cadastro de Barragens – Fotos (ENGECORPS, et al., 2005) ..... 104

# LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 – Classificação dos Critérios e conseqüências da Eletrobrás (ELETROBRÁS, 2003 apud UEMURA, 2009)..... 19
Tabela 3-2– Periculosidade (P) (MENESCAL, et al., 2001) ..... 33
Tabela 3-3- Vulnerabilidade, estado de condição atual da barragem (V) (MENESCAL, et al., 2001) ..... 34
Tabela 3-4 - Importância Estratégica (I) (MENESCAL, et al., 2001) ..... 35
Tabela 3-5 - Potencial de Risco (PR) (MENESCAL, et al., 2001) ..... 36
Tabela 3-6 - Freqüência de Manutenção (MENESCAL, et al., 2001)..... 36
Tabela 3-7 - Requisitos mínimos quanto à manutenção (MENESCAL, et al., 2001) ..... 37
Tabela 3-8 - Classificação da conseqüência de ruptura de barragens (MI, 2002 apud BALBI, 2008) ..... 39
Tabela 3-9 - Classificação do Potencial de Danos (FEMA, 1998)..... 40
Tabela 3-10 – Probabilidades combinadas com custos de categorias (ANDERSEN, et al., 2000) ..... 51
Tabela 3-11 – Utilidades para categorias de uso benéfico (ALDERSEN, et al., 2000) ..... 52
Tabela 3-12 – Probabilidade combinada com custo da categoria (ANDERSEN, et al., 2000) ..... 55
Tabela 4-1: Barragens dos EUA removidas recentemente (LINDLOFF, et al., 2008) ..... 61
Tabela 4-2 Características das Barragens Mill Pond e Frazee (RYE, 2000).... 63
Tabela 4-3 - Resultado da qualidade da água no processo de remoção da barragem de Mill Pond em Appleton (RYE, 2000)..... 65
Tabela 4-4 – Resultado da qualidade da água no processo de remoção da barragem de Frazee (RYE, 2000) ..... 65
Tabela 4-5 - Estimativa grosseira dos sedimentos liberados dos reservatórios assumindo J.C. Boyle e Copco removidas antes de Iron Gate (CUI, et al., 2005) ..... 69
Tabela 4-6 - Benefícios Estimados da Remoção da Barragem Quinta Avenida (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004) ..... 85

Tabela 4-7 – Cronograma do Projeto de Remoção da Barragem 5° Avenida (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004) ..... 86
Tabela 4-8 - Custos do Projeto para programação futura dos fundos (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004) ..... 86
Tabela 5-1: Questões a serem consideradas no descomissionamento e suas categorias (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002)..... 106
Tabela 5-2: Códigos da situação da anomalia da barragem (ENGECORPS, et al., (2005) ..... 109
Tabela 5-3: Magnitude da anomalia da barragem (ENGECORPS, et al., (2005) ..... 109
Tabela 5-4: Nível de perigo da anomalia da barragem (ENGECORPS, et al., (2005)..... 109
Tabela 5-5 - Usos das águas dos reservatórios (ENGECORPS, et al., (2005) ..... 110
Tabela 5-6 - Comprimento das barragens (ENGECORPS, et al., (2005)..... 111
Tabela 5-7 - Altura das barragens (ENGECORPS, et al., (2005)..... 111
Tabela 5-8 - Locais ameaçados a jusante (ENGECORPS, et al., (2005)..... 113
Tabela 5-9 - Barragens que oferecem risco à infra-estrutura (ENGECORPS, et al., (2005) ..... 116
Tabela 5-10 – Estatísticas das falhas nas barragens do cadastro (ENGECORPS, et al., 2005) ..... 121
Tabela 5-11 - Resumo com as deficiências mais freqüentes (ENGECORPS, et al., 2005) ..... 127
Tabela 5-12 – Proposição de nova tabela de Importância Estratégica ..... 129
Tabela 5-13 – Proposição de nova tabela de Periculosidade ..... 130
Tabela 5-14 – Proposição de nova tabela de Vulnerabilidade ..... 132
Tabela 5-15 - Novo classificação do potencial de risco sugerido..... 133
Tabela 5-16 – Barragem CD-119 - Periculosidade..... 136
Tabela 5-17 – Barragem CD-119 - Vulnerabilidade ..... 136
Tabela 5-18 – Barragem CD-119 – Importância Estratégica..... 137
Tabela 5-19 – Barragem CD-119 - Periculosidade..... 137
Tabela 5-20 – Barragem CD-119 - Vulnerabilidade ..... 138
Tabela 5-21 – Barragem CD-119 – Importância Estratégica..... 138

Tabela 5-22 – Barragem AM-788 - Periculosidade ..... 139
Tabela 5-23 – Barragem AM-788 - Vulnerabilidade ..... 139
Tabela 5-24 – Barragem AM-788 – Importância Estratégica ..... 140
Tabela 5-25 – Barragem AM-788 - Periculosidade ..... 140
Tabela 5-26 – Barragem AM-788 - Vulnerabilidade ..... 141
Tabela 5-27 – Barragem AM-788 – Importância Estratégica ..... 141
Tabela 5-28 – Barragem CO-766 - Periculosidade ..... 142
Tabela 5-29 – Barragem CO-766 - Vulnerabilidade ..... 142
Tabela 5-30 – Barragem CO-766 – Importância Estratégica ..... 143
Tabela 5-31 – Barragem CO-766 - Periculosidade ..... 143
Tabela 5-32 – Barragem CO-766 - Vulnerabilidade ..... 144
Tabela 5-33 – Barragem CO-766 – Importância Estratégica ..... 144
Tabela 5-34 – Barragem MM-856 - Periculosidade..... 145
Tabela 5-35 – Barragem MM-856 - Vulnerabilidade..... 145
Tabela 5-36 – Barragem MM-856 – Importância Estratégica..... 146
Tabela 5-37 – Barragem MM-856 - Periculosidade..... 146
Tabela 5-38 – Barragem MM-856 - Vulnerabilidade..... 147
Tabela 5-39 – Barragem MM-856 – Importância Estratégica..... 147
Tabela 5-40 – Barragem PA-814 - Periculosidade..... 148
Tabela 5-41 – Barragem PA-814 - Vulnerabilidade..... 148
Tabela 5-42 – Barragem PA-814 – Importância Estratégica..... 149
Tabela 5-43 – Barragem PA-814 - Periculosidade..... 149
Tabela 5-44 – Barragem PA-814 - Vulnerabilidade..... 150
Tabela 5-45 – Barragem PA-814 – Importância Estratégica..... 150
Tabela 5-46 - Resumo dos Piores e Melhores Cenários..... 151

# LISTA DE SIMBOLOS

$A_k$ – Atributo da Barragem

BRB – Benefício da remoção da barragem

Bi – Benefício esperado da remoção de barragem para o i-ésima benefício

$C_i$ – Custo de se remover a barragem para determinada i-ésimo custo

CRB – Custo da remoção da barragem

G – Magnitude do benefício trazido pela remoção da barragem

I – Importância Estratégica da barragem

IBC – Índice Benefício Custo

L – Perda de benefícios com a remoção da barragem

P - Periculosidade

$P_i$ – Categoria de informação de periculosidade da barragem

$P[A_k \mid C_i]$ – Probabilidade combinada de ocorrer atributo $A_k$ sabido que ocorreu o i-ésimo custo $C_i$

PR – Potencial de Risco da barragem

U – Magnitude do custo da remoção da barragem

V - Vulnerabilidade

$V_i$ – Categoria de informação da vulnerabilidade da barragem

# LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CalAm – Califórnia American Water

CBDB – Comitê Brasileiro de Barragens

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho de Política Ambiental

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DN – Deliberação Normativa

EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental

EUA – Estados Unidos da América

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos

FEMA – Federal Emergency Management Agency

FERC – Federal Energy Regulatory Commission

IBC – Índice Benefício Custo

ICOLD – International Committee of Large Dams

ME – Maine (Estado dos EUA)

MI – Ministério da Integração Nacional

NA – Nível d'água

NP – Nível de Perigo

OD – Oxigênio Dissolvido

OM – Operação e Manutenção

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PCJ – Bacias dos Rios Piracicaba Capivari Jundiaí

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens

SINIMA – Sistema Nacional de Informações do Meio Ambiente

SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Barragens

SRHS – Sistema de Remoção por Hidrosucção de Sedimentos

# SUMÁRIO

**1 INTRODUÇÃO ..... 1**

**2 OBJETIVOS ..... 5**

2.1 OBJETIVO GERAL ..... 5

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO ..... 6

**3 ASPECTOS DA REMOÇÃO DE BARRAGENS ..... 7**

3.1 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS ..... 7

*3.1.1 Impactos negativos causados por barragens ..... 8*

*3.1.2 Ecológicos ..... 8*

*3.1.3 Limnológicos ..... 10*

*3.1.4 Saúde Pública ..... 16*

*3.1.5 Sedimentológicos ..... 16*

*3.1.6 Hidrológicos ..... 16*

*3.1.7 Segurança ..... 17*

3.2 IMPACTOS POSITIVOS CAUSADOS POR BARRAGENS ..... 19

*3.2.1 Navegação ..... 19*

*3.2.2 Esporte, Lazer e turismo ..... 20*

*3.2.3 Geração de Energia Elétrica ..... 20*

*3.2.4 Abastecimento ..... 22*

*3.2.5 Irrigação ..... 25*

*3.2.6 Piscicultura ..... 25*

*3.2.7 Demandas Ecológicas ou Ambientais ..... 27*

*3.2.8 Contenção de cheias ..... 27*

3.3 MUDANÇAS NAS PERSPECTIVAS DAS BARRAGENS ..... 28

*3.3.1 Barragens que não se justificam ..... 30*

*3.3.2 Caracterização da Segurança de Barragens ..... 31*

3.4 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO PARA O DESCOMISSIONAMENTO ..... 41

3.5 ASPECTOS PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL ..... 56

*3.5.1 Resolução CONAMA nº 1, 23 de janeiro de 1986 ..... 56*

*3.5.2 Resolução CONAMA nº 237, 19 de dezembro de 1997* ..... *57*

*3.5.3 Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005* ..... *57*

3.6 ASPECTOS DE SEGURANÇA DAS BARRAGENS ..... 58

*3.6.1 Decreto nº 5847, de 14 de julho de 2006* ..... *58*

*3.6.2 Projeto de Lei 1181/2003* ..... *58*

**4 EXPERIÊNCIAS DE DESCOMISSIONAMENTO ..... 60**

4.1 ASPECTOS GERAIS ..... 60

4.2 BARRAGEM MILL POND ..... 63

4.3 BARRAGEM FRAZEE ..... 64

4.4 BARRAGENS J.C. BOYLE, COPCO E IRON GATE ..... 66

4.5 BARRAGEM EDWARDS ..... 72

4.6 BARRAGENS GRANGEVILLE, LEWISTON ..... 72

4.7 BARRAGEM DE MILLTOWN ..... 75

4.8 TÉCNICA DE HIDROSUCÇÃO DE SEDIMENTOS ..... 79

4.9 BARRAGEM QUINTA AVENIDA ..... 82

4.10 BARRAGEM SAN CLEMENTE ..... 87

4.11 MARMOT DAM ..... 94

**5 ESTUDO DE CASO ..... 98**

5.1 O CADASTRO DE BARRAGENS DO PCJ ..... 99

5.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE ..... 127

5.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA ..... 134

*5.3.1 Represa Bairro do Cascalho – CD-119 - Pior Cenário* ..... *136*

*5.3.2 Represa Bairro do Cascalho – CD 119 – Melhor Cenário* ..... *137*

*5.3.3 Pontello – AM-788 – Pior Cenário* ..... *139*

*5.3.4 Pontello – AM-788 – Melhor Cenário* ..... *140*

*5.3.5 Represa Pirapitingui – CO-766 – Pior cenário* ..... *142*

*5.3.6 Represa Pirapitingui – CO-766 – Melhor Cenário* ..... *143*

*5.3.7 Barragem Georgetti - MM-856 – Pior Cenário* ..... *145*

*5.3.8 Barragem Georgetti – MM-856 – Melhor Cenário* ..... *146*

*5.3.9 Barragem PA-814 – Pior Cenário* ..... *148*

*5.3.10 Barragem PA-814 – Melhor Cenário* ..... *149*

5.4 RESUMO DOS RESULTADOS ..... 151

**6 CONCLUSÕES** ..... **153**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** ..... **158**

**ANEXOS** ..... **163**

**ANEXO A – CADASTRO DE BARRAGENS** ..... 164

**ANEXO B – LEGISLAÇÕES PERTINENTES** ..... 177

*Resolução CONAMA n° 1, de 23 de Janeiro de 1986* ..... *177*

*Resolução CONAMA n° 237, de 19 de Dezembro de 1997* ..... *178*

*Resolução CONAMA n° 357, de 17 de Março de 2005* ..... *182*

*Decreto n° 5847, de 14 de Julho de 2006* ..... *196*

*Deliberação Normativa 62/2002* ..... *197*

# 1 INTRODUÇÃO

Desde longa data a humanidade desenvolve técnicas para tirar proveito dos recursos naturais. As civilizações mais antigas já buscavam formas de aproveitar os recursos hídricos para seu desenvolvimento e melhorar sua qualidade de vida. Com o progresso da agricultura e a demanda por mais alimentos, as primeiras obras hidráulicas foram sendo concebidas e implantadas. Diques, canais, valas e muros de contenção, por exemplo, foram cruciais na exploração dos rios que banhavam os berços das civilizações. A construção de reservatórios talvez seja a mais importante das obras hidráulicas já imaginadas, pois através dela é possível armazenar em época de abundância para utilização em épocas de maior escassez.

Nos dias atuais os reservatórios têm múltiplos usos e não são somente destinados ao suprimento humano ou irrigação, isoladamente. Abastecimento, geração de energia elétrica, contenção de cheias, lazer, pesca, navegação comercial e turismo são alguns dos fins da utilização dos reservatórios.

Os reservatórios formam sistemas ambientais complexos que envolvem aspectos operacionais, meteorológicos, hidrodinâmicos, sedimentológicos e limnológicos, interligando as interfaces sociais de grande importância sob o aspecto da sustentabilidade. A exploração dos recursos hídricos de forma harmoniosa, considerando o atendimento dos objetivos de produção, as limitações tecnológicas e as restrições ambientais conhecidas, exige uma intrincada rede de conhecimentos das barragens (RIGHETTO, 1998).

Como a vida útil de toda obra construída pelo Homem tem início, meio e fim, cedo ou tarde a confiança naquela obra, assim como a própria obra, fica abalada, fazendo abandonos acontecerem. No caso das barragens, antes mesmo do término da vida útil dessas estruturas, o reservatório pode se encontrar com sua capacidade de armazenamento comprometida por assoreamento ou deterioração da qualidade da água. Ou ainda, ao longo do tempo, os impactos negativos causados pela formação de um reservatório superam os impactos positivos, tornando sua existência inadequada.

Procurando recuperar as condições naturais do curso d'água antes da construção da barragem, realizam-se estudos sobre os impactos positivos e negativos da obra a fim de convergir para uma decisão ótima em cada caso. Muitas vezes a remoção da estrutura e/ou esvaziamento do reservatório pode ser a solução para trazer o rio de volta às suas condições originais. O que deve ser observado nesses casos são as implicações dessa remoção no que diz respeito aos aspectos hidráulico, hidrológico, sedimentológico, social, ambiental e econômico (THE ASPEN INSTITUTE, 2002).

Em alguns lugares do mundo, pequenas barragens foram e ainda são removidas seja por motivos de envelhecimento da estrutura, por não atendimento às necessidades para as quais foram criadas, por custos elevados de manutenção, por impossibilidade de renovação da licença de operação nos órgãos competentes, dentre outros motivos.

Por definição, comissionamento é o processo de colocar algo em funcionamento, em serviço, autorização de execução de uma determinada tarefa. (GAMERCY BOOKS, 1998). O comissionamento pode ser aplicado tanto a novos empreendimentos quanto a unidades e sistemas já existentes em processo de expansão, modernização ou ajuste. Na prática, o processo de comissionamento consiste de uma aplicação integrada de um conjunto de técnicas e procedimentos de engenharia para verificar, inspecionar e testar cada componente físico do empreendimento, desde os individuais, como peças, instrumentos e equipamentos até os mais complexos, como módulos, subsistemas e sistemas (adaptado de SILVA, et al., 2008).

Descomissionamento, por outro lado, vem a ser o processo que ocorre quando a renovação da licença de operação das instalações, edificações e obras não é obtida, encerrando o comissionamento. O descomissionamento refere-se ao desmantelamento da estrutura, com a remoção dos equipamentos para desativação da instalação (adaptado de SILVA, et al., 2008). Descomissionamento de barragem é definido como remoção completa ou parcial da barragem, ou uma mudança significativa na operação da mesma. No caso do descomissionamento de barragens, tal medida pode ser tomada de diferentes formas, dependendo da causa que o resultou. O

descomissionamento pode se tomar de maneira total, parcial, abandono da estrutura ou sua completa remoção (DEHEER, 2001)

O Instituto Aspen (THE ASPEN INSTITUTE, 2002) apresenta uma série de recomendações e conselhos práticos procurando orientar de forma objetiva as considerações necessárias para a tomada de decisão na remoção de uma barragem, de forma a permitir uma análise da questão de maneira imparcial e, se apropriado, sua estabelecimento, reduzindo assim os custos e as controvérsias associadas com envelhecimento e outros problemas da barragem. Entretanto, mesmo quando a remoção de uma barragem é indicada, há dificuldades de como proceder. Há uma tendência de procurar uma metodologia padrão que se aplique em todo e qualquer caso, o que não é aconselhável já que cada caso tem sua particularidade além de tal metodologia padrão nem existir.

Há carência de informações centralizadas sobre a opção de remoção de barragens, pequena quantidade de estudos técnicos sobre os impactos causados por remoção de barragens, benefícios resultantes de tais obras, escassos procedimentos técnicos documentados para tal, carência de entendimento público sobre barragens e maior ainda sobre remoção de tais obras hidráulicas. O fato é que toda barragem é um caso ímpar. Cada uma está inserida num contexto físico, ecológico, social, econômico, regulatório e legal com suas restrições. Métodos para análise de custo total e benefícios das opções do gerenciamento de rios, incluem aspectos que não são facilmente quantificáveis, tais como: Social, ecológico e valores históricos. Nos EUA cerca de 400 barragens com mais de 1,8 metros de altura foram removidas desde 1920. Isto é equivalente a apenas 0,5% do total de 77.000 barragens identificadas pelo inventário nacional daquele país (THE ASPEN INSTITUTE, 2002). Além dos EUA, outros países detêm registros de descomissionamento de barragens, tais como o Canadá e o Reino Unido, por exemplo.

Aparentemente, a remoção de barragens seria um processo relativamente simples caso não houvesse implicações sócio-ambientais. Bastaria detonar uma carga considerável de explosivos fazendo a estrutura ruir e o rio voltar a fluir livremente. Porém, tal atitude traria trágicas conseqüências à população a jusante. Por isso, o processo de descomissionamento é bastante complexo,

envolvendo estudos multidisciplinares, equipes técnicas especializadas em cada segmento que trabalham para minimizar o impactado causado pela descomissionamento da obra.

No Brasil não se tem notícias, estatísticas, estudos ou sequer de um tratamento institucional voltado para a questão da remoção de barragens, mesmo considerando o sentimento de que existem muitas obras que, ou perderam sua função ou não reúnem condições de serem recuperadas e operadas.

Embora o Brasil se direcione no sentido de criar um arcabouço legal relativo à gestão dos recursos hídricos, licenciamento de obras hídricas e à segurança de barragens em particular, observa-se carência de informações básicas, seja na falta de cadastro das barragens existentes, seja no acompanhamento, fiscalização, certificação destas obras e também na elaboração de planos de descomissionamento das mesmas. Grandes iniciativas no sentido de se conhecer o real parque hídrico instalado somente são tomadas quando da ocorrência de acidentes, como os registrados no Estado de São Paulo em 2003, onde a queda de uma série de barragens de pequeno porte motivou o órgão gestor de recursos hídricos a elaborar um cadastro de pequenos e médios barramentos nas bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – PCJ (ENGECORPS, et al., 2005).

Dentro deste contexto, este trabalho não procura elaborar ou propor uma metodologia completa e exaustiva para tratamento da questão do descomissionamento de pequenas barragens. Partindo-se da análise e compilação das experiências existentes no assunto, todas estrangeiras, a proposta consiste em trazer a tona um tema relevante e que deve fazer parte das atividades da gestão de recursos hídricos em curto espaço de tempo.

# 2 OBJETIVOS

## 2.1 OBJETIVO GERAL

É objetivo deste trabalho apresentar uma compilação e sistematização de critérios, métodos e procedimentos aplicáveis ao descomissionamento de barragens, como forma de contribuir para a gestão e manejo destas estruturas hidráulicas.

Para tal, parte-se do relato histórico das implicações ligadas à existência de barragens ao longo do tempo e seus impactos sobre a sociedade, especialmente para a população a jusante da estrutura, o meio ambiente e seus riscos associados. Em seguida são descritos casos e processos de remoção de barragens existentes pelo mundo, focando aspectos de tomada de decisão, tecnologias empregadas, problemas resolvidos e criados em função da remoção bem como o papel da engenharia de planejamento neste processo.

Tal objetivo justifica-se devido à existência de um grande número de barragens pelo mundo, muitas delas com idade bastante avançada, e para as quais se torna necessária a avaliação do comprometimento da segurança destes empreendimentos, levando-se em conta o desenvolvimento de populações a jusante. Outro fator a considerar como justificativa é o da existência de grande número de pequenas barragens abandonadas, inativas, ou que se tornaram inviáveis por não atenderem mais às suas finalidades originais ou ainda que não se prestam a uma adequação.

## 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

É objetivo específico deste trabalho listar as questões relacionadas ao descomissionamento de barragens e, a partir daí, buscar uma metodologia de se avaliar a necessidade de descomissionar estruturas que possam ser assim enquadradas, sob diferentes aspectos.

Ao longo do trabalho serão apresentados alguns processos de descomissionamentos ocorridos em outros países, seus trâmites, aspectos legais, ambientais, econômicos, sociais e de segurança que poderão servir de direcionamento inicial para ser seguido quando se tratar de algum descomissionamento de barragens no Brasil.

A partir da análise dos casos de descomissionamento registrados em outros países, este trabalho busca propor melhorias no cadastro de informações de barragens das bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) de modo que informações antes não cadastradas sejam incorporadas e facilitem a visualização de uma situação que peça descomissionamento daquela barragem.

# 3 ASPECTOS DA REMOÇÃO DE BARRAGENS

## 3.1 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

É impossível afirmar que uma obra feita não gere impactos. Toda e qualquer obra realizada altera as condições de um habitat natural para acomodar os interesses humanos, sejam eles de exploração de recursos naturais, proteção de comunidades, promoção de transporte, produção de alimentos ou quaisquer outros. Impactos sempre existirão quando se alteram as condições naturais, antes predominantes, de um local. O importante é saber quantificar e qualificar os impactos confrontando os benefícios e malefícios trazidos pela obra, dimensionar os riscos toleráveis de acordo com as condições e as necessidades existentes da região influenciada pela obra.

Barragens são obras feitas com diferentes propósitos e em diferentes situações. Armazenar água para abastecimento, irrigação, manutenção de um nível d'água mínimo para navegação e controle de cheias são alguns dos seus usos. Tais propósitos atendem a uma necessidade da população na época de sua construção e operação. Com o passar do tempo as circunstâncias podem mudar e o interesse da população pode acompanhar tais mudanças fazendo com que a existência de tal obra já não tenha mais significado.

No passado nem se cogitava a possibilidade de remoção de barragens, pois se acreditava que seus impactos fossem mínimos sobre os ecossistemas (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002). Felizmente com o passar das décadas, o entendimento dos ecossistemas de rios aumentou, o que fez a humanidade perceber a importância de se ter um rio "saudável". Muitos concluíram que os benefícios trazidos pelas barragens, em alguns casos, não se sobrepujam aos males causados por elas, além do risco à segurança pública que as barragens carregam consigo. Além de ser bem vista sob o aspecto econômico, a remoção de barragens é uma ferramenta ótima para a recuperação de rios degradados. Embora pareça uma ferramenta recente de recuperação de rios, a remoção de barragens já coleciona muitos casos de sucesso. Na Europa e na America do Norte muitos casos

demonstraram sucesso no que diz respeito à recuperação de rios para seu estado natural. Só nos EUA, mais de 500 barragens foram removidas e cerca de 100 estão destinadas à remoção na próxima década - 2011 a 2020 (FRIENDS OF EARTH, et al., 1999). Um dos casos de maior importância foi a remoção da barragem de Edwards no município de Augusta-ME nos EUA, que chamou a atenção da mídia por contribuir na educação pública sobre as questões de remoção de barragens na América do Norte. Foi o primeiro caso em que o descomissionamento da barragem foi imposto pela comissão federal reguladora de energia daquele país. Ao longo do trabalho este caso será descrito mais detalhadamente.

### *3.1.1 Impactos negativos causados por barragens*

### *3.1.2 Ecológicos*

Barragens alteram e bloqueiam o fluxo natural dos rios, criando reservatórios a montante da estrutura. Tais obras, por conseqüência, têm impactos consideráveis na biota do rio imediatamente no local do barramento, a montante e a jusante da estrutura. Esses impactos se estendem pelas planícies de inundação, estuários e cabeceiras do rio (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002).

Não só peixes, mas também outras espécies sofrem dificuldade ao tentar se adaptar às novas condições do habitat impostas pela estrutura, que torna as condições do ecossistema, como um todo, bem distintas das condições originais. Com o passar do tempo a biota do rio tende a sofrer um declínio ou alteração, seja pela dificuldade de alimentação, desenvolvimento e procriação (AMERICAN RIVERS, 2002).

Um curso d’água que flui livremente por corredeiras ou cachoeiras e não apresenta represamentos ao longo de seu percurso deve dispor de quantidade suficiente de oxigênio dissolvido para promover a manutenção de sua biota.

Já a condição de reservatório contribui para a redução de oxigênio dissolvido por não haver água em velocidades consideráveis, além do aumento da

temperatura e da eutrofização. Com isso o crescimento excessivo de plantas aquáticas que contribuem para reduzir o nível de oxigênio dissolvido, consumido na decomposição de tais plantas (ESTEVES, 1998).

A transferência de sedimentos, detritos e nutrientes para jusante fica impossibilitada pela presença do barramento, ou ficam aprisionados em áreas de menor velocidade de fluxo. Esses materiais, quando circulam, renovam os habitat à jusante e são essenciais para a manutenção de espécies fluviais, estuarinas e da costa marinha. Tais sedimentos podem não somente acumular nutrientes no reservatório, mas também acumular contaminantes químicos e metais pesados ao longo de anos. Caso esses contaminantes sejam lançados a jusante sem o consentimento de sua existência e sem tratamento o trecho de jusante pode apresentar efeitos adversos nos organismos aquáticos e ribeirinhos.

Talvez o pior efeito de uma barragem seja a obstrução da passagem dos peixes (AMERICAN RIVERS, 2002). Embora algumas barragens sejam equipadas com escadas de peixes, muitos desses dispositivos não funcionam adequadamente tornando incerto o processo de passagem de peixes, especialmente na época de piracema. Mesmo que haja uma passagem para os peixes, as condições impostas pelo reservatório como temperatura, salinidade e concentração de OD podem ser muito diferentes daquelas presentes a jusante, o que compromete a sobrevivência dos peixes.

Em geral as críticas quanto aos dispositivos de transposição apontam para uma seletividade tanto de espécies como de indivíduos, alegando que o desequilíbrio criado pelas mesmas é mais nocivo à sustentabilidade do que o barramento em si (MARTINS, 2000). A figura 3-1 a seguir ilustra uma típica escada para peixes.

**Figura 3-1 – Ilustração de escada para peixes (ALMA DO RIO, 2009)**

### *3.1.3 Limnológicos*

A implantação de uma barragem transforma um ambiente lótico em lêntico, isto é, um rio onde a água costumava ter seu fluxo com determinada velocidade passa a ficar praticamente parada, caracterizando um lago. Isso traz severas conseqüências não somente caracterizada pela diminuição da velocidade do curso d'água, mas também pelo aumento da área alagada. As implicações da criação de um ambiente lêntico são (AMERICAN RIVERS, 2002):

Estratificação da temperatura e diminuição da troca gasosa da água;

Ao reduzir a velocidade da circulação da água, o reservatório tende a se dividir em camadas de diferentes temperaturas e a esse processo é dado o nome de estratificação térmica. A camada superior, Epilímnio, será mais quente, pois está em contato direto com a radiação solar, será menos densa, mantendo-se na parte superior do corpo d'água. Por outro lado, a parte mais profunda, fora de contato com a radiação solar, tenderá a se manter mais fria, mais densa e afundando para a camada inferior, Hipolímnio, do reservatório.

Nos casos de reservatórios profundos o suficiente para manter essa estratificação, as camadas superiores e inferiores ficam bem distintas, haja vista que não há mistura entre as águas dessas camadas. Assim, a camada superior estará sempre bem oxigenada, já que se encontra na fronteira com o ambiente aéreo enquanto que a camada inferior estará sempre pobremente abastecida de oxigênio.

Transporte de sedimentos/nutrientes

Os habitat bem como os organismos que vivem no curso d'água e nos seus arredores têm dependência vital do transporte dos sedimentos. Num rio que corre livremente nas épocas de estiagem e cheia, diferentes tipos de sedimentos de diversos tamanhos são erodidos e transportados à jusante e às planícies de alagamento, fertilizando-as. Certas espécies de peixes necessitam de diferentes tipos de habitat para se desenvolver ao longo de sua vida. Estudos já realizados comprovaram que quanto maior a diversidade dos sedimentos transportados, melhor para a biodiversidade dos rios, pois haverá maior variedade de habitat para desova de peixes, criação e alimentação.

Com a presença da barragem o transporte de sedimentos praticamente cessa. Grandes quantidades de sedimentos ficam acumuladas a montante da barragem, por outro lado a jusante receberá menos sedimentos, dificultando a alimentação, sobrevivência e reprodução de organismos que dependem desses sedimentos.

Intervenção no ciclo hidrológico (ICOLD, 1980)

O ciclo de cheia e estiagem tem sua finalidade na manutenção da fauna e flora. As pequenas inundações causadas pelas cheias trazem os seguintes benefícios:

Provém acesso imediato às áreas de desova, formando lagoas ou lagos, e renovando as águas desses locais;

Formam pequenas ilhas permitindo que pássaros migratórios escapem de seus predadores nas margens;

Previne a ocupação excessiva de árvores nas margens dos rios e impede que mamíferos destruam as gramíneas das planícies de inundação, necessárias para o sustento de aves migratórias;

Introduz nutrientes nas lagoas e lagos através da renovação de sedimentos.

Migração de organismos (AMERICAN RIVERS, 2002)

Depois de implantada a barragem as conexões de montante-jusante e jusante-montante ficam interrompidas, impossibilitando espécies migratórias de transitar livremente. Espécies que buscam um melhor lugar para desova, geralmente a montante, falham ao tentar subir o rio devido à presença da barragem o que resulta numa desova em local inadequado, diminuindo as chances de sobrevivência da prole ou então resultam na reabsorção das gônadas pelos próprios organismos mesmo sem haver a desova.

Existem casos ainda onde há mais de uma barragem no rio, segmentando-o em trechos pequenos, isolando espécies e habitats, alterando o meio ambiente desse rio física e termicamente e perturbando a livre circulação dos organismos entre os habitats terrestres e aquáticos.

Qualidade da água (AMERICAN RIVERS, 2002)

O ambiente lêntico acaba por deixar estratificações no corpo d'água. Na parte profunda há menor concentração de OD e a água encontra-se mais fria. Em pequenas barragens o vertimento pode ser feito pela parte baixa, por comportas de fundo, o que leva para jusante essa água pobre em oxigênio, comprometendo a qualidade da água e a sobrevivência dos organismos a jusante. Essas alterações na qualidade da água como OD e temperatura, acabam se tornando obstáculos para a aproximação de espécies mais sensíveis a essas variações.

Eutrofização

Trata-se de um fenômeno onde as concentrações de nutrientes presentes na água, especialmente o fósforo e nitrogênio, aumentam substancialmente,

causadas por aportes naturais ou artificiais. Quando por causa natural, o processo é lento, causado pelo acúmulo de sedimentos erodidos pelas águas superficiais e acúmulo de matéria orgânica tais como folhas e galhos. Quando artificial, o rápido aumento da carga de material orgânico tem origem nos efluentes domésticos, industriais, lavagem de solos agrícolas, dentre outras atividades antrópicas.

Uma vez eutrofizado, inicia-se um circulo vicioso tornando o estado da água cada vez pior. Essa reação em cadeia tem como principal característica a quebra do equilíbrio do ecossistema, isto é, a quebra da homeostasia. *A homeostasia é caracterizada pelo equilíbrio entre a quantidade de matéria orgânica produzida, consumida e decomposta num ecossistema* (ESTEVES, 1998). Com uma quantidade maior de nutrientes na água, o ecossistema passa a produzir mais matéria orgânica do que é capaz de consumir e decompor. As mudanças no metabolismo do ecossistema são ilustradas pelas figuras 3-2 e 3-3.

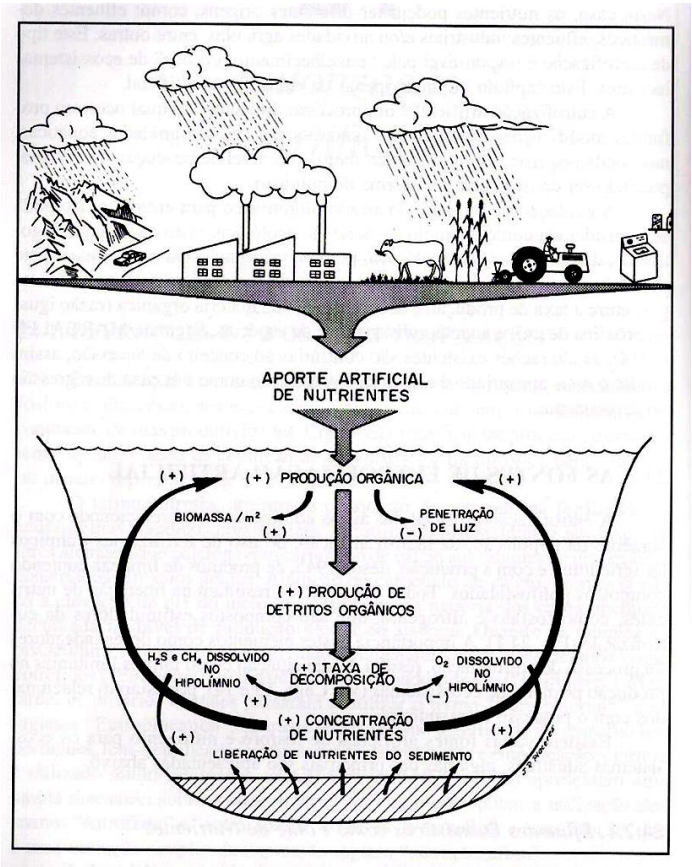


**Figura 3-2 - Principais fontes de nutrientes e conseqüências do processo de eutrofização artificial em ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1998)**

A figura 3-2 ilustra o processo de eutrofização em suas etapas descritas anteriormente. O aporte de nutrientes que aumenta a produção orgânica, diminuindo a penetração de luz no corpo d'água. A decomposição dos detritos orgânicos consome mais oxigênio dissolvido que libera na água os nutrientes do sedimento, reiniciando o ciclo.

A figura 3-3 ilustra a quebra da homeostasia quando as concentrações de fósforo e nitrogênio excedem o equilíbrio ecológico entre produção e consumo de nutrientes.

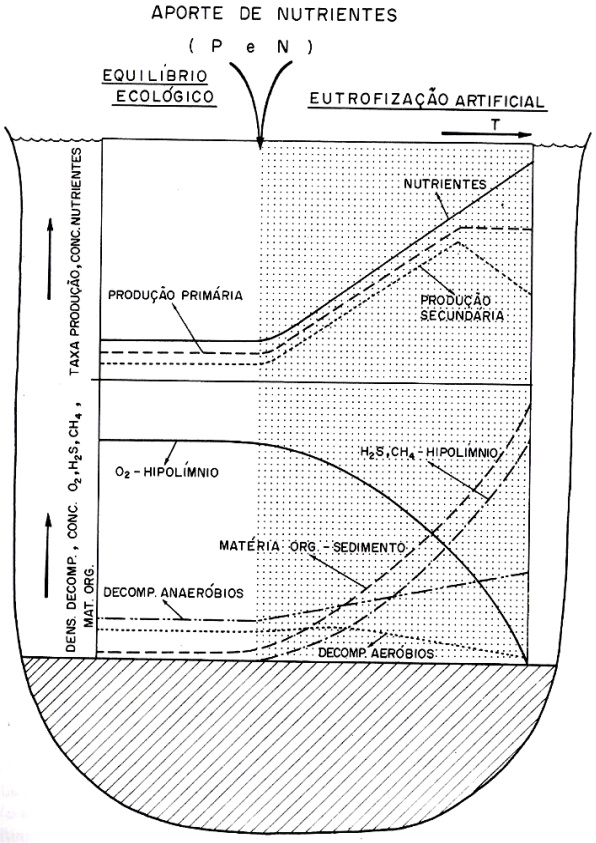


**Figura 3-3 - Algumas variáveis biológicas, químicas e suas tendências no período de equilíbrio ecológico (condições naturais) e de eutrofização artificial (ESTEVES, 1998)**

Os primeiros sintomas de eutrofização são (ICOLD, 1980):

Crescimento excessivo de plâncton de fundo, de plantas macroscópicas e de plantas macroscópicas próximo às margens;

Redução da transparência da água devido ao aumento do número de microorganismos e às mudanças na cor da água pela presença de algas;

Redução da concentração de OD nas profundidades próximas ao fundo e aumento na concentração de OD na superfície;

Crescimento excessivo de plantas macroscópicas;

Deposição de matéria pútrida no fundo do reservatório;

Desaparecimento completo da concentração de OD na camada mais profunda durante o verão;

Presença de sulfeto de hidrogênio ($H_2S$), ferro livre ($Fe^{3+}$ e $Fe^{2+}$), íons de magnésio ($Mn^{2+}$) e amônia ($NH_4^+$);

Presença de bolhas de gás na água.

**Figura 3-4 – Ilustração de lago eutrofizado (YOUNG REPORTERS FOR THE ENVIRONMENT, 2009)**

### *3.1.4 Saúde Pública*

A presença da barragem, com seu respectivo reservatório, traz preocupações sanitárias para seu entorno. Questões biológicas como a transmissão de doenças através de vetores, beneficiados pelas condições de reservatório, é uma das preocupações sanitárias (ICOLD, 1980).

A criação de um reservatório aumenta as condições propícias de reprodução de transmissores de doenças endêmicas, especialmente em regiões quentes e úmidas. As doenças mais crônicas e endêmicas são transmitidas mais facilmente pelos organismos patogênicos, cujos vetores vivem em habitat com água parada. Tais doenças já eram endêmicas antes mesmo da construção do reservatório, que só fez potencializar a reprodução desses vetores.

### *3.1.5 Sedimentológicos*

A presença de barragens nos rios impede o livre fluxo de sedimentos erodidos da bacia, fazendo com que tais sedimentos fiquem aprisionados no reservatório. Este processo de assoreamento em reservatórios gera conseqüências como o aumento do potencial de erosão a jusante e o impacto acumulativo da perda de capacidade de armazenamento dos reservatórios (AMERICAN RIVERS, 2002). Diminuindo sua capacidade de armazenamento sua funcionalidade também fica comprometida, por exemplo, a capacidade de regularização de vazão. Além disso, a sedimentação é um processo que não se consegue resolver totalmente, cabendo somente a utilização de técnicas adequadas de manejo da bacia de contribuição do reservatório para reduzir assim o assoreamento (ESTEVES, 1998).

### *3.1.6 Hidrológicos*

Após a construção de uma barragem a fio d’água, isto é, sem capacidade de regularização de vazão, a vazão afluente será idêntica à defluente. Isto significa que mesmo no caso de ocorrência de uma onda de cheia, o barramento será incapaz de amortecê-la, tampouco contê-la. O reservatório

não é preparado para absorver uma cheia que, neste caso, será transmitida à jusante da mesma forma como se não houvesse a presença da barragem.

Já no caso de um barramento com capacidade de regularização de vazão os níveis de montante e jusante daquele trecho sofrerão alterações de modo a garantir o fornecimento de uma mesma vazão à jusante. Esta vantagem dos reservatórios com regularização de vazão traz segurança para populações a jusante, amortecendo uma onda de cheia que, possivelmente acarretaria danos quando passasse por um município sujeito a inundações. Com a capacidade de regularização de vazões é possível armazenar água num período de cheia para uso durante o período de estiagem.

Por outro lado, no que diz respeito ao ciclo natural de flutuação das vazões, a construção de barramentos apresenta aspecto negativo, pois inibe as cheias que extravasam as margens, que trocariam os sedimentos revitalizando as planícies de inundação. Tal falta de flutuabilidade no regime de vazões do rio interfere no ciclo reprodutivo das espécies aquáticas presentes no habitat. Há também o aspecto de segurança que uma barragem pode oferecer caso seus procedimentos nas operações de amortecimento de cheias não funcionem adequadamente. No caso de uma falha na manobra de vertedor, galgamento da barragem ou até mesmo sua ruptura, a cheia seria desastrosamente superior àquela cheia que a comunidade estaria sujeita caso não houvesse a barragem (AMERICAN RIVERS, 2002).

### *3.1.7 Segurança*

Os diferentes e inúmeros acidentes com barragens documentados em todo o mundo fizeram com que o Internacional Commission on Large Dams (ICOLD), em 1979, tornasse a segurança um dos itens obrigatórios no conjunto de atividades de projeto de uma estrutura de barramento, de qualquer finalidade (CBDB, 1979 apud UEMURA, 2009).

De fato, as implicações de segurança numa barragem são inúmeras, desde aquelas causadas pela imprevisibilidade de eventos naturais como terremotos, tufões, maremotos, e dilúvios, até as falhas estruturais em elementos-chave

que levam ao rompimento total ou parcial da estrutura de barramento e a liberação de grandes volumes de água retidos.

Embora o impacto relativo à segurança seja potencial, isto é, somente se concretiza quando ocorrer o acidente, implica em diferentes alterações em toda a vida do vale jusante, que passam a conviver com um risco inerente da mesma forma que as comunidades vizinhas a uma usina nuclear ou um aeroporto.

Os impactos gerados pelo rompimento de uma barragem podem ser classificados de acordo com diferentes critérios como os efeitos da perda do barramento e das estruturas em si, os impactos causados pela cheia efluente e aqueles indiretos, causados pelos desdobramentos dos dois primeiros (UEMURA, 2009). Destacam-se os danos gerados pela perda do reservatório, a interrupção do atendimento proporcionado pela barragem, prejuízos com a falta de energia, desabastecimento de água, a destruição de pontes e estradas, interrupções diversas, a inundação de áreas urbanas e rurais com a conseqüente destruição de propriedades e outros bens, perdas de vida diretamente em função das cheias, etc.

Existem ainda os impactos indiretos, originados pelos desdobramentos dos anteriores, como doenças de veiculação hídrica, desabastecimento de gêneros de primeira necessidade tais como alimentos e remédios na região atingida, perda do valor das propriedades e fazendas, interrupção de acessos como estradas, ferrovias e hidrovias e etc.

A possibilidade de ocorrência de rupturas em barramentos torna necessário um planejamento antecipado, integrado à finalidade e características da estrutura e ao ambiente, com o objetivo de se minimizar as probabilidades de ocorrência e os danos provocados pelas falhas. Este planejamento insere-se, portanto no que se denomina ‘Gestão de Emergência’ (ELETROBRÁS, 1999 apud UEMURA, 2009).

O Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB, 2001 apud UEMURA, 2009) prescreve que, caso a ruptura seja inevitável, torna-se fundamental a existência de um plano de emergência que tenha como objetivo principal preservar as pessoas residentes a jusante, sendo importante, para tanto, o conhecimento da

conseqüência da ruptura. Esta pode ser classificada conforme critérios apresentados na tabela 3-1 a seguir (ELETROBRÁS, 2003 apud UEMURA, 2009).

**Tabela 3-1 – Classificação dos Critérios e conseqüências da Eletrobrás (ELETROBRÁS, 2003 apud UEMURA, 2009)**

| Conseqüências de ruptura | Perda de vidas | Econômico, social e danos ambientais |
|---|---|---|
| Muito Alta | Significativa | Dano Excessivo |
| Alta | Alguma | Dano Substancial |
| Baixa | Nenhuma | Dano moderado |
| Muito Baixa | Nenhuma | Dano mínimo |

## 3.2 IMPACTOS POSITIVOS CAUSADOS POR BARRAGENS

A construção de uma barragem tem diversas implicações em muitos aspectos. Em muitos casos as barragens são utilizadas para produção de energia elétrica e manutenção das vazões e níveis d'água a jusante (AMERICAN RIVERS, 2002). O abastecimento de água também é uma das finalidades na construção de um reservatório e que pode se aproveitar e explorar a criação de peixes, turismo, esportes, navegação, transporte e recreação, por exemplo.

### *3.2.1 Navegação*

No principio das civilizações, a água foi o primeiro e único meio de transporte. Nestas civilizações antigas, as cargas viajavam de um lugar a outro quase que exclusivamente pela água. A utilização de animais no transporte de cargas a longas distâncias oferecia dificuldade antes da descoberta da máquina a vapor,

assim, na antiguidade a navegação acabou predominando como meio de transporte.

Embora a navegação constitua uso não-consuntivo da água, o seu estudo é importante para a gestão dos Recursos Hídricos, porque há a necessidade de se garantir um determinado patamar de vazão para dar a necessária condição de navegabilidade ao curso d'água. Ao se estabelecer as condições necessárias à navegabilidade, com vazões compatíveis com o calado (altura da parte submersa) das embarcações, é possível impor restrições a outros usos consuntivos que tenham lugar no mesmo trecho do curso de água ou a montante do trecho requerido para o transporte hidroviário.

As vazões requeridas para a manutenção da navegabilidade podem afetar mais enfaticamente os rios de zonas tropicais, regiões que costumam apresentar uma variabilidade acentuada de chuvas e vazões.

### *3.2.2 Esporte, Lazer e turismo*

A atividade turística e o lazer, associada a uma melhor qualidade de vida, propiciada por reservatórios é perfeitamente compatível com muitos outros usos dos recursos hídricos. Por se tratar de um uso não-consuntivo, a atividade recreação não afeta o balanço hídrico do mesmo, que também pode ser compartilhado com a navegação, aproveitando a beleza cênica do local. De maneira similar aos usos de pesca, o uso da água para fins de recreação, esporte e lazer pedem a necessidade de uma boa qualidade do recurso hídrico, sem a qual o usuário destes serviços perderá o interesse pelo local (FERNANDEZ, et al., 2002).

### *3.2.3 Geração de Energia Elétrica*

A necessidade de geração de energia elétrica talvez seja uma das principais demandas para as construções de grandes barragens. No caso de pequenas centrais hidrelétricas (PCH), as barragens são menores e os reservatórios também, podendo exceder 3 km² desde que atendam à inequação abaixo

conforme preconiza a resolução 652 de 9 de Dezembro de 2003 da Agência Nacional de Energia Elétrica, (ANEEL, 2003):

$$A \leq \frac{14{,}3 \times P}{H_b}$$

Equação 3-1

onde,

A: Área do reservatório

P: Potência do Empreendimento (MW)

$H_b$: Queda Bruta (m)

A água armazenada no reservatório e liberada por condutos forçados, conduzindo-a até as turbinas, que são acopladas a geradores. Giradas pela água, as turbinas atuam no gerador que transformam a energia mecânica em energia elétrica. Uma ilustração típica de uma barragem com sua casa de força segue abaixo na figura 3-5.

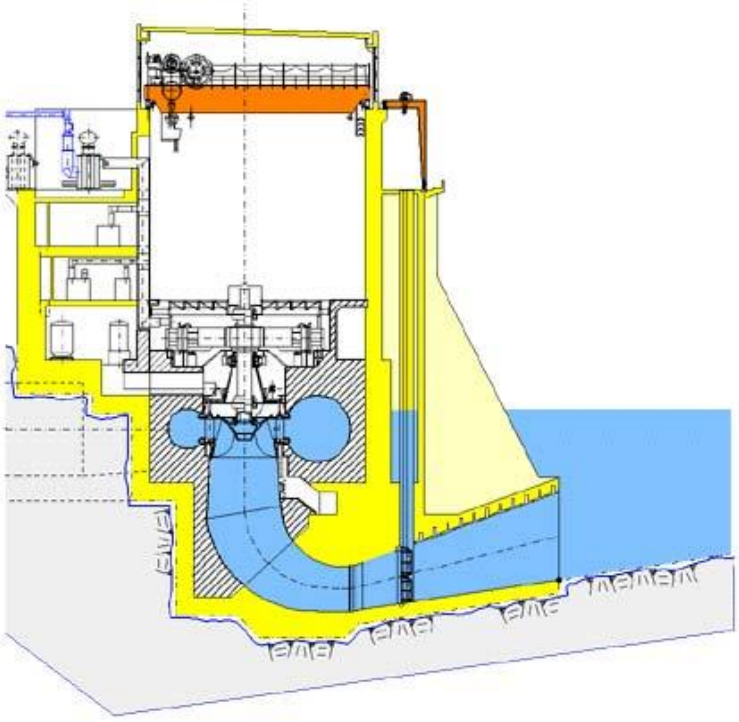

**Figura 3-5 - Esquema de uma usina hidrelétrica (BRASPOWER, 2010)**

O fato da geração de energia elétrica ser um uso não-consuntivo da água, isto é não haver consumo da mesma, faz com que seja uma atividade que possa ser combinada com outras. Entretanto, para a geração de energia elétrica é necessária a reserva de certa parcela do recurso hídrico para garantia de seu bom funcionamento.

Para melhor aproveitamento do potencial hidrelétrico do rio requer-se o controle do nível do reservatório. Para isso é necessário que o reservatório conte com um volume útil que é a parcela do volume do reservatório destinada a armazenar água nas épocas de cheia para sua utilização em época de estiagem. Esse regime de armazenagem de água minimiza as variações do nível d'água do reservatório, maximizando sua capacidade de geração de energia elétrica. Por outro lado, essa regularização do nível d'água do reservatório acaba atenuando a variação de vazões natural do regime do rio.

### *3.2.4 Abastecimento*

De acordo com a Lei Federal 9.433 / 97, Art. 1º, inciso III, ficam definidos como usos prioritários da água, em condições de escassez, o abastecimento humano seguido pela dessedentação de animais.

Para se determinar a demanda por abastecimento de uma comunidade, é necessário conhecer o tamanho desta população e seu consumo per capta, que por sua vez dependerá de algumas características, tais como (FERNANDEZ, et al., 2002):

Características sócio-econômicas

- Hábitos e nível de vida da comunidade;
- Nível e distribuição de renda;
- Estrutura do ordenamento urbano;
- Atividades econômicas da comunidade;
- Nível de atividades urbanas (administrativas, culturais, de saúde, de lazer e outras);
- Dimensão e tipo da atividade industrial;

Consciência da comunidade sobre a necessidade de utilizar racionalmente a água;

Características naturais

Temperatura;
Umidade relativa do ar;
Intensidade e freqüência da precipitação;
Evapotranspiração;

Características tecnológicas

Tipo de dispositivo de descarga de água adotado nas habitações, edifícios públicos, escritórios e pontos comerciais;
Pressão no sistema de distribuição;
Sistema de administração, medição do consumo e cobrança pelo serviço;
Estado da rede de distribuição pública e das instalações dos usuários;
Capacidade máxima e confiabilidade dos sistemas de abastecimento;
Tipos de tecnologia utilizados nas instalações industriais;
Grau de reutilização da água;

Para a instalação de uma indústria num determinado local, é necessário verificar o potencial do recurso hídrico disponível nos arredores para seu abastecimento. Caso o abastecimento não possa ser suprido, outra localização deve ser buscada.

O uso da água em atividades industriais é indispensável devido às características ímpares da água, tais como:

Absorvente de calor, arrefecendo a temperatura de metais fundidos, gases quentes e moldes recém manufaturados;

Agente de limpeza, pela capacidade de remoção de impurezas e outras pequenas partículas indesejáveis;

Elemento de transmissão mecânica, para tanto se aproveitando a característica de ser incompressível e de transmitir por igual e em todas as direções qualquer força aplicada;

Elemento para a produção de vapor, através de caldeiras que transformam o estado físico da água, de líquido para gasoso, uma utilidade de grande importância na indústria moderna;

Matéria-prima, uma vez que, em inúmeros casos incorpora-se ao produto final de uma gama muito grande de produtos industriais, não existindo, em muitos casos, sucedâneo;

Meio de transporte e de processamento de materiais, transportando matérias-primas que serão processadas ou diluindo determinadas substâncias para formar massas pastosas que vêm a ser a verdadeira matéria-prima a ser processada;

Solvente, porquanto dissolve uma grande quantidade de substâncias sólidas e líquidas, sendo extremamente útil a diversas fases dos processos produtivos;

Uso doméstico na fábrica, ou seja, para as necessidades de higiene e consumo individual das pessoas, com um consumo per capta inferior ao das residências, tendo em vista que nas indústrias as pessoas não se servem da água com a mesma intensidade com que a utilizam em casa;

Veículo para o despejo de efluentes líquidos, pois a maioria deles é constituída de alguma substância rejeitada pelo processo, requerendo a diluição antes do despejo final.

Como citado acima, os processos fabris utilizam o recurso hídrico tanto em usos consuntivos como não-consuntivos, sejam para incorporação da água no produto final, seja como parte do processo de fabricação, respectivamente.

Da mesma forma que o abastecimento humano, a atividade industrial também utiliza corpos d’água para descarte de efluentes fabris após tratamento adequado, já que apresentam uma gama variada de periculosidade.

### *3.2.5 Irrigação*

A água utilizada para irrigação é considerada como a parcela desse recurso natural que não é suprido naturalmente pelas chuvas. Essa parcela correspondente à irrigação maximiza o desenvolvimento de culturas. A determinação da quantidade de água destinada a irrigação depende de fatores tais como (FERNANDEZ, et al., 2002):

Temperatura;
Índice pluviométrico regional;
Índice de evaporação;
Plano de cultura (época do ano que se inicia o plantio e a previsão da colheita);
Tipo de solo;
Tipo de cultura;
Sistema de irrigação utilizado;
Área a ser irrigada;

Com a possibilidade de contar com presença regular de água ao longo das estações e dos anos, as incertezas causadas pelas chuvas são reduzidas e torna-se possível cultivar nas contra-estações. Além disso, por meio dela é possível intensificar a produtividade da cultura, dando a esta toda a água necessária para seu máximo desenvolvimento. A irrigação é a atividade que possui o maior consumo de água entre os diversos usos deste recurso natural.

### *3.2.6 Piscicultura*

É possível desviar parte da água de um rio para tanques de criação ou açudes e em seguida devolvê-la ao seu curso natural, para criação de peixes em cativeiro. Tal atividade é conhecida como piscicultura, mas também é possível desenvolver carcinocultura, ranicultura, bem como cultivar vegetais em soluções nutritivas, conhecida como hidroponia. Além da vantagem de ter os peixes num local confinado, há vantagens econômicas também. A experiência

mostra que o controle da produção de peixes aclimatados e a relativa disponibilidade de alevinos de baixo custo fazem com que a piscicultura constitua um importante aproveitamento de águas represadas com retorno econômico em pouco tempo, em alguns casos. Outras vantagens da Piscicultura são (FERNANDEZ, et al., 2002):

> Quando realizada em açude que tenha sido construído para outra finalidade, implica um baixo investimento, pois o açude já está disponível para uso;
> Exige pouca mão-de-obra e nenhuma fonte de energia;
> Apresenta um baixo nível de risco, pois os casos de mortandade são raríssimos, tendo, assim, elevada garantia de retorno;
> Em relação à pecuária, a piscicultura permite uma produção de proteínas por hectare vinte vezes maior, considerando que a produção de um hectare de pastagem é da ordem de 100 kg de carne por ano;
> Serve, com certos tipos de capim de vazante, para valorizar açudes que, pela salinização, não se prestem mais ao abastecimento e à irrigação;
> O teor protéico da carne de peixe é o dobro daquele da carne de boi;

No cenário brasileiro predominam a pesca e aqüicultura artesanais, apesar de algumas experiências bem-sucedidas no campo de pesca industrial. Existem vezes que as atividades com volume reduzido da exploração de espécies nobres têm interesse concentrado de atender o mercado externo por ser mais rentável.

Tal fato somado à forte tendência de expansão urbana em diversos estados brasileiros faz com que a demanda fique cada vez mais distante da oferta gerada pela produção pesqueira. Assim a produção dos pesqueiros e açudes praticantes da piscicultura tem um papel estratégico na produção de alimentos.

### *3.2.7 Demandas Ecológicas ou Ambientais*

Barragens de regularização para usos múltiplos devem considerar uma vazão remanescente para manutenção da sustentabilidade a jusante. Flora, fauna aquática, subsistência de populações a jusante e garantia de capacidade de autodepuração das cargas naturais de poluentes são algumas das demandas pela água a jusante que a barragem deverá garantir. Esta vazão é estimada em, no mínimo, o valor médio do pior período de estiagem já registrado e pode ser associada a diferentes parâmetros estatísticos. É comum a adoção de um valor equivalente a descarga com permanência (tempo em que a grandeza se iguala ou supera um determinado valor) de 98% ou ainda um parâmetro de origem sanitária denominado $Q_{7,10}$, que representa o valor médio das mínimas de 7 dias, com probabilidade de ocorrência 10% (DAEE, 2005). Tal vazão é destinada à preservação do habitat natural da flora aquática, suprindo as necessidades da fauna piscícola, provendo alimentos e garantindo a manutenção da cadeia alimentar das espécies que naquele habitat residem, incluindo o homem.

Em regiões costeiras a manutenção da vazão ecológica tem outra finalidade sobre a preservação dos mananciais. Nestes casos, a não manutenção de uma vazão mínima faz com que haja intrusão da cunha salina superficial e subterrânea, impedindo os aproveitamentos de água para diferentes finalidades e ainda contaminando os aqüíferos da região. Este impacto ambiental negativo compromete a fertilidade do solo caso haja grandes concentrações salinas presentes, impedindo o desenvolvimento de culturas na região (FERNANDEZ, et al., 2002).

### *3.2.8 Contenção de cheias*

O ciclo hidrológico garante variação do regime de vazões dos rios ao longo das estações. Muitas vezes a estação de cheias oferece riscos de inundação para população, então surge a necessidade da construção de barragem de contenção de cheias. Tais barragens amortecem as ondas de cheia, armazenando mais água do que liberam neste período. Posteriormente, na época de estiagem, o excesso de água é liberado aos poucos, poupando a

população de danos e prejuízos no caso de uma cheia não amortecida, que resultaria em inundação.

O controle de cheias através de barragens é empregado historicamente desde o Egito Antigo, porém sempre associado ao uso posterior das águas retidas. Mais recentemente observa-se a montante dos grandes centros, a construção de barragens prioritariamente para o controle de cheias, posicionando os demais usos como secundários.

## 3.3 MUDANÇAS NAS PERSPECTIVAS DAS BARRAGENS

Barragens vêm sendo removidas desde quando vêm sendo construídas. É sensato dizer que toda estrutura tem sua vida útil e levando em conta que muitas barragens foram construídas há algumas décadas e que a vida útil média esperada para essas estruturas é de cerca de 50 anos, conclui-se que estas estão se aproximando do final de suas vidas. Além da deterioração devido ao passar do tempo, essas barragens podem passar a não mais existir devido aos interesses sociais que sofreram alterações ao longo de sua existência.

Após realizar uma análise custo-benefício, os proprietários geralmente concluem que o investimento financeiro necessário para reformar suas barragens supera os custos associados à sua remoção, mesmo se for levado em consideração o lucro financeiro em longo prazo da operação da barragem.

Há algumas décadas, a comunidade científica não dominava o entendimento do funcionamento dos ecossistemas ribeirinhos A remoção de uma barragem, visando à recuperação de um rio, não era vista como uma medida razoável, uma vez que o conceito da época era que uma barragem não trazia impactos significativos aos ecossistemas ribeirinhos. Com o conceito de sustentabilidade essa percepção mudou e percebeu-se que, em muitos casos, os benefícios da construção de uma barragem não superam os malefícios causados por esta ao ambiente e à sociedade. Atualmente, a opção de se remover uma barragem

não só é considerada como de bom custo-benefício, mas também como ambientalmente recomendável para a recuperação de ecossistemas ribeirinhos (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002).

Nos EUA, as fontes de financiamento para o descomissionamento incluem o proprietário da barragem, os beneficiários por ela ou o público em geral. Por ser um processo que não traz ganhos financeiros diretos, a destinação de recursos para tal fim pode ser difícil, a não ser que haja grande interesse de todos e estejam comprometidos com o descomissionamento. Houve casos onde um fundo federal daquele país esteve à disposição para remoção de pequenas barragens. Nos EUA, um fundo de reabilitação de barragens de pequenas bacias hidrográficas disponibilizado em novembro de 2000, autorizou US$ 90 milhões por cinco anos para prover até 65% dos custos totais para organização e reabilitação ou descomissionamento de barragens de pequenas bacias hidrográficas. Cerca de 10.450 barragens construídas pelo governo federal daquele país, como parte do programa de controle de cheias, foram listadas para concorrer àquele fundo. Mais de 1.000 delas com mais de 40 anos e população a jusante. Muitas dessas barragens precisaram ser reabilitadas para atender aos padrões atuais de segurança mais restritos e, em alguns casos, foram descomissionadas, por viabilidade (DEHEER, 2001).

Apesar de essa ser uma opção relativamente nova para a restauração de rios, nos EUA há muitos casos de sucesso na remoção de barragens. Muitos casos podem ser encontrados no livro intitulado “Dam Removal Success Stories” (FRIENDS OF EARTH, et al., 1999).

Outra mudança importante e observada na perspectiva dos últimos anos é a exigência, presente na legislação de muitos países, de planos de ação e gestão de emergências em barragens, originárias das preocupações com a segurança dos vales a jusante. Tal aspecto já se reflete no Brasil, com o projeto de lei 1181 de 2003, que trata de segurança de barragens (BRASIL, 2003).

### *3.3.1 Barragens que não se justificam*

Este termo foi criado para identificar aquelas barragens que já não servem mais para seu propósito ou quando seu custo de operação supera seu lucro. Com o questionamento da eficiência e do valor das barragens por pontos de vista econômico e ecológicos, surge a necessidade de enquadrar essas barragens como sérias candidatas ao descomissionamento (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002).

Tomando como exemplo o estado da Columbia Britânica no Canadá, onde o Conselho de Recreação ao Ar Livre produziu, em 2001, um relatório detalhado sobre as estratégias de gerenciamento e as oportunidades para a recuperação de rios degradados na Columbia Britânica. Tal relatório apontou cerca de 2500 barramentos que são de conhecimento das agências daquela província. Desse total, 400 foram classificados como sendo de risco alto ou muito alto, devido às potenciais perdas de vidas ou propriedades caso houvesse colapso dessas barragens.

Tal relatório inclui uma identificação e avaliação sistemática de aproximadamente 100 barragens espalhadas pela província e que foram candidatas à remoção. Tal avaliação foi feita para encorajar posteriores ações do governo ou iniciativas privadas no que diz respeito aos interesses e preocupações que acabem chocando com a existência dos barramentos. Levando-se em consideração aspectos operacionais, institucionais e biológicos, foi criada uma lista com as 40 estruturas críticas, indicadas para serem removidas.

Em outras palavras, o relatório que apontou tais estruturas críticas para serem removidas foi o primeiro encorajamento, a primeira incitação, no questionamento de descomissionamento daquelas 40 barragens em questão.

### *3.3.2 Caracterização da Segurança de Barragens*

Menescal et al. (2001) propôs uma metodologia para avaliação do potencial de risco em barragens no semi-árido brasileiro destinadas a usos múltiplos. Tal potencial de risco é calculado em função da periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica das estruturas.

A periculosidade é determinada a partir da soma de pontuação de critérios do projeto e construção, presentes na tabela 3-2, como dimensões da barragem, volume total armazenado, tipo de barragem e fundação e vazão de projeto, como indica a equação 3-2.

$$P = \sum_{1}^{5} p_i$$

Equação 3-2

onde:

“P” é a periculosidade e $p_i$ é a categoria de informação da barragem a ser analisada.

A vulnerabilidade é obtida através de uma análise preliminar de segurança, com base em inspeções de campo e leitura do aparato de instrumentação. Tempo de operação, existência de projeto, confiabilidade das estruturas vertedoras, tomada d’água, percolação, deformação e deterioração na estrutura são parâmetros apresentados na tabela 3-3 que compõem os aspectos da vulnerabilidade. Suas pontuações serão somadas para compor a vulnerabilidade como mostra a equação 3-3

.

$$V = \sum_{6}^{12} v_i$$

Equação 3-3

onde:

“V” é a vulnerabilidade e $v_i$ é a categoria de informação de vulnerabilidade que a barragem em questão oferece.

Já os aspectos sócio-econômico-ambientais permitem avaliar a importância estratégica daquelas barragens, por exemplo, volume útil de seu reservatório, a população a jusante e custo da barragem. Tais dados são retirados da tabela 3-4 e a importância estratégica é a média entre eles, conforme apresenta a equação 3-4.

$$I = \frac{A + B + C}{3}$$

Equação 3-4

onde:

“A” representa a pontuação da classificação do tamanho do reservatório, “B” é a pontuação que caracteriza o tamanho da população a jusante e “C” simboliza a pontuação do custo da barragem em questão. A média entre estes valores compõe o valor “I” da importância estratégica da barragem.

A seguir são apresentadas as tabelas 3-2, 3-3 e 3-4, Periculosidade, Vulnerabilidade e Importância Estratégica, respectivamente. Cada uma contém seus respectivos critérios de pontuação, que servirão para avaliar seu estádio de conservação, sua suscetibilidade a acidentes e sua importância.

**Tabela 3-2– Periculosidade (P) (MENESCAL, et al., 2001)**

| Dimensão da Barragem [1] | Vol. Total do reservatório [2] | Tipo de Barragem [3] | Tipo de Fundação [4] | Vazão de Projeto [5] |
|---|---|---|---|---|
| Altura ≤ 10m Comprimento ≤ 200m (1) | Pequeno <20hm³ (3) | Concreto (4) | Rocha (1) | Decamilenar (1) |
| Altura 10 a 20 m Comprimento ≤ 2000 m (3) | Médio até 200 hm³ (5) | Alvenaria de pedra / Concreto Rolado (6) | Rocha alterada / Saprolito (4) | Milenar (2) |
| Altura 20 a 50 m Comprimento 200 a 3000 m (6) | Regular 200 a 800 hm³ (7) | Terra / Enrocamento (8) | Solo residual / Aluvião até 4m (5) | 500 anos (4) |
| Altura > 50 m comprimento > 500 m (10) | Muito grande > 800 hm³ (10) | Terra (10) | Aluvião arenoso espesso / Solo orgânico (10) | Inferior a 500 anos ou Desconhecida (10) |

NOTA: Se a vazão for desconhecida, deverá ser reavaliada, independentemente da pontuação.

P>30 – Elevado

20<P<30 – Significativo

10<P<20 – Baixo a Moderado

**Tabela 3-3- Vulnerabilidade, estado de condição atual da barragem (V) (MENESCAL, et al., 2001)**

| Tempo de Operação [6] | Existência de Projeto (As Built) [7] | Confiabilidade das Estruturas Vertedoras [8] | Tomada De Água [9] | Percolação [10] | Deformações / Afundamentos / Assentamentos [11] | Deterioração dos Taludes / Paramentos [12] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| >30 anos (0) | Existem projetos "as built" e avaliação do Desempenho (1) | Muito Satisfatórias (2) | Satisfatória Controle a montante (1) | Totalmente Controlada pelo Sistema de drenagem (1) | Inexistente (0) | Inexistente (1) |
| 10 a 30 anos (1) | Existem projetos "as built" (3) | Satisfatória (3) | Satisfatória Controle a Jusante (2) | Sinais de umedecimento nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras (4) | Pequenos abatimentos da crista (2) | Falhas no rip-rap e na proteção de Jusante (3) |
| 5 a 10 anos (2) | Só projeto Básico (5) | Suficiente (6) | Aceitável (3) | Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devido ao fluxo (6) | Ondulações pronunciadas, Fissuras (6) | Falha nas proteções - drenagens insuficiente e sulcos nos taludes (7) |
| <5 anos (3) | Não existe projeto (7) | Não Satisfatória (10) | Deficiente (5) | Surgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante (10) | Depressão na crista - afundamentos nos taludes, ou na fundação/Trincas (10) | Depressão no rip-rap Escorregamentos - sulcos profundos de erosão, vegetação (10) |

NOTA:

Pontuação (10) em qualquer coluna implica em intervenção na barragem, a ser definida com base em Inspeção Especial.

V>35 – Elevada

20<V<35 – Moderada a Elevada

5<V<20 – Baixa a Moderada

V<5 – Muito Baixa

**Tabela 3-4 - Importância Estratégica (I) (MENESCAL, et al., 2001)**

| **Vol. Útil hm³ (A)** | **População a Jusante (B)** | **Custo da Barragem (C)** |
|---|---|---|
| Grande >800 (2) | Grande (2,5) | Elevado (1,5) |
| Médio 200 a 800 (1,5) | Média (2,0) | Médio (1,2) |
| Baixo <200 (1) | Pequena (1,0) | Pequeno (1,0) |

O potencial de risco – equação 3-5 – relaciona a periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para expressar o risco que a barragem avaliada oferece. A tabela 3-5 agrupa faixas de valores do potencial de risco determinadas pelos níveis de intensidade de cada um, compondo desta forma um potencial de risco qualitativo. Existem cinco classes de potencial de risco, organizadas da mais ameaçadora, com maior valor de PR, para a menos ameaçadora, com menor valor de PR. Este modelo proposto foi adotado devido à simplicidade e rapidez da aplicação

$$PR = \frac{P + V}{2} \times I$$

Equação 3-5

onde:

PR é o valor calculado para o potencial de risco e os demais termos já foram apresentados anteriormente.

**Tabela 3-5 - Potencial de Risco (PR) (MENESCAL, et al., 2001)**

| CLASSE | POTENCIAL DE RISCO - PR |
|---|---|
| A | > 65 (ou Vi=10) - alto |
| B | 40 a 65 - médio |
| C | 25 a 40 - normal |
| D | 15 a 25 - baixo |
| E | <15 - muito baixo |

NOTAS:

Barragens com Potencial de Risco acima de 55 devem ser reavaliadas por critérios de maior detalhe. Aquelas incluídas na classe A exigem intervenção, a ser definida com base em inspeção especial.

De acordo com este procedimento de classificação do potencial de risco, basta haver, no mínimo, um índice de vulnerabilidade com valor $V_i$=10 para que a barragem seja classificada com potencial de risco alto, classe A.

Com base no potencial de risco, calculado através da equação 3-5, e na classificação das barragens, apresentada na tabela 3-5, foi proposta a tabela 3-6 freqüência de manutenção:

**Tabela 3-6 - Freqüência de Manutenção (MENESCAL, et al., 2001)**

| TIPO DE INSPEÇÃO | CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| Rotina | | 12 por ano (mensal) | 4 por ano (trimestral) | 2 por ano (semestral) | 1 por ano (anual) |
| Periódica | | 1 por ano (relatório completo) | 1 por ano (relatório simplificado), 1 em 2 anos (relatório completo) | 1 em 2 anos (relatório simplificado) | 1 em 4 anos (relatório simplificado) |
| Formal | | 1 em 5 anos | 1 em 10 anos | 1 em 15 anos | 1 em 15 anos |
| Especial | Para definir intervenção e reclassificação | Em oportunidades tais como cheias excepcionais, rebaixamento rápido do reservatório, sismos, etc. | | | |
| Emergência | Após eventos de magnitude especial | | | | |

A partir do potencial de risco, da classificação das barragens e da rotina de inspeção definidas na tabela 3-6, foi criada outra classificação quanto os requisitos mínimos, para manutenção na tabela 3-7. Isto é, a magnitude necessária para que uma deficiência provoque manutenção.

**Tabela 3-7 - Requisitos mínimos quanto à manutenção (MENESCAL, et al., 2001)**

| Classe da Barragem | Requisitos Mínimos |
|---|---|
| A | Intervenção e reclassificação |
| B | I - deficiências inexistentes ou irrelevantes |
| C | P - pequenas deficiências |
| D | P - pequenas deficiências |
| E | M - deficiências médias |

Ainda se tratando de segurança de barragens, Balbi (2008) aponta para as medidas de proteção adotadas pelas populações tais como construção de retificação de calhas fluviais, estruturas de controle de cheia, dentre as construções de outras estruturas hidráulicas. Porém, nem sempre a construção de tais obras garante a segurança das populações, ou são extremamente onerosas. Buscando amenizar a insegurança, adotam-se sistemas de alertas e planos emergenciais como forma complementar da população conviver com tais riscos.

Analisando a presença e a utilidade de uma barragem nas proximidades de uma população no vale de jusante, também deve ser considerado o risco de ruptura que aquela barragem carrega consigo. Apesar de ser uma ocorrência bastante rara, 1 em 10.000 ou até 100.000, as conseqüências de tal ruptura são catastróficas. Os danos causados por uma ruptura estão associados ao risco potencial que o vale de jusante está exposto. Já o risco efetivo deve considerar a probabilidade de ocorrer um evento que coloque em risco a segurança estrutural da barragem, possibilitando o acidente e as conseqüências da cheia induzida que, possam ocorrer. Assim, para se estimar o risco efetivo de um rompimento de barragem recorre-se à equação Equação 3-6 (VISEU, 2006 apud BALBI, 2008):

$$R_{efetivo} = P_{[ocorrer\ um\ evendo]} \times P_{[ocorrer\ a\ ruptura]} \times Consequências$$

Equação 3-6

O primeiro fator está vinculado aos eventos que coloquem em risco a segurança estrutural, tais como abalos sísmicos, rupturas de outras barragens a montante, atos de terrorismo ou vandalismo, eventos hidrológicos extremos, etc. Já o segundo fator da equação está relacionado à probabilidade do primeiro evento efetivamente causar danos na estrutura, isto é, relacionado ao comportamento da barragem exposta àquela situação.

E o terceiro fator, conseqüências, por sua vez, depende de três variáveis: grau de perigo, vulnerabilidade e exposição. Viseu (2006) conceitua tais variáveis como a porcentagem de bens que podem ser perdidos em função do perigo oferecido, da capacidade de resistência dos bens e pessoas e da resposta dos indivíduos e da sociedade nas zonas a jusante.

Grau de perigo relaciona-se com o perigo da cheia induzida e pessoas e bens expostos a ela, que por sua vez depende das características capazes de provocar danos, depende das zonas mais suscetíveis à destruição provocada pela onda de cheia e da caracterização da ocupação do solo. A vulnerabilidade caracteriza-se pela suscetibilidade das construções a serem atingidas pela onda de cheia, pela capacidade da população sobreviver a ela e da capacidade da região se recuperar após o ocorrido (BALBI, 2008).

Visando a questão de segurança de barragens o projeto de Lei 1181 de 2003, modificado em 2009, aplica-se a barragens classificadas segundo as características (BRASIL, 2003):

Altura do maciço maior ou igual a 15 metros;
Volume do reservatório maior ou igual a 3 $hm^3$;
Reservatório que contenha resíduos perigosos;
Categoria do dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou perda de vidas humanas.

Esta última característica supracitada é tratada de forma subjetiva e qualitativa restringindo a estabelecer que o risco deva ser classificado em alto, médio ou baixo em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento do plano de segurança da barragem. Segundo o projeto de lei, para dano potencial, a classificação em alto, médio ou baixo será feita com critérios estabelecidos pelos órgãos fiscalizadores em função do potencial de perdas de vítimas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

O manual de Segurança e Inspeção de Barragens, elaborado pelo Ministério da Integração Nacional – (MI, 2002 apud BALBI, 2008) recomenda a seguinte classificação em função da conseqüência de ruptura de barragem:

**Tabela 3-8 - Classificação da conseqüência de ruptura de barragens (MI, 2002 apud BALBI, 2008)**

| Conseqüência da Ruptura | Perdas de Vida | Danos econômico, social e ambientais |
|---|---|---|
| Muito Alta | Significativa | Dano Excessivo |
| Alta | Alguma | Dano Substancial |
| Baixa | Nenhuma | Dano Moderado |
| Muito Baixa | Nenhuma | Dano Mínimo |

Segundo Balbi (2008), no estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa DN COPAM N°62 (MINAS GERAIS, 2002), complementada e alterada pela DN COPAM N°87 (MINAS GERAIS, 2005), dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração. No entanto, essas Deliberações não são explícitas sobre quais barragens são passíveis de serem enquadraras numa classe ou em outra. De acordo com a DN 62/2002, os proprietários das barragens daquele estado deveriam preencher a ficha de classificação de suas estruturas, conforme a própria DN determina e apresentá-la ao COPAM, que comunicaria ao empreendedor as providências necessárias para a adequação dos procedimentos de segurança a serem adotados em sua barragem. Maiores detalhes da DN 62/2002 encontram-se no Anexo B deste trabalho.

A Agência Federal de Gerenciamento de Emergência - Federal Emergency Management Agency - FEMA, publicou em 1998 as Diretrizes Federais de Segurança de Barragens dos EUA, que procuram classificar o grau de periculosidade de cada barragem de acordo com o impacto potencial de falha da barragem ou de falhas humanas na operação. Os métodos de se avaliar a periculosidade de uma barragem daquele país variam de nível federal para estadual e entre os estaduais, porém todos classificam as barragens de acordo com as falhas de natureza humana ou estrutural. O maior problema destas divergências de metodologias estaduais e federais é a falta de clareza dos termos. Além disso, instituições diferentes utilizam de terminologias diferentes para se referirem a conceitos muito similares. Isso dificulta a consistência de informações entre as entidades responsáveis e o público também. As Diretrizes Federais de Segurança de Barragens dos EUA vieram, então, solucionar essa divergência e padronizar as informações. Entretanto, tais diretrizes são tão vagas quanto aquelas que foram julgadas divergentes. A classificação do potencial de danos ficou da seguinte forma:

**Tabela 3-9 - Classificação do Potencial de Danos (FEMA, 1998)**

| Classificação do Potencial de Danos | Perdas de Vidas Humanas | Perdas Econômicas, Ambientais ou Comunicação |
|---|---|---|
| Pequeno | Nenhuma esperada | Pequena e geralmente limitada ao proprietário |
| Significante | Nenhuma esperada | Sim |
| Alto | Provável. Uma ou mais esperadas. | Sim (mas não necessariamente para essa classificação) |

A busca pela classificação do potencial de danos, proposta pela FEMA, acaba sendo subjetiva e abrangente. A classificação para esse assunto deveria ser mais objetiva e não tão subjetiva e compacta, pois acaba dando margem a divergências.

## 3.4 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO PARA O DESCOMISSIONAMENTO

Seguindo sugestões do estudo feito no projeto de descomissionamento de barragens apontado por Sentinelles Petitcodiac Riverkeeper (2002), é possível resumir as principais etapas no processo de remoção de uma barragem. Baseiam-se principalmente em:

Identificar e trabalhar com um tipo de descomissionamento;
Realizar pesquisas iniciais comprometendo-se com uma análise preliminar da estrutura e das características do rio;
Identificar e levar em conta os interesses dos acionistas (Stockholders);
Convocar um grupo de especialistas e preparar planos detalhados que englobem manejo da água, dos sedimentos, restauração do rio e preservação da fauna piscícola;
Remover a estrutura e restaurar o curso d'água e seu habitat;
Monitorar os efeitos pós-remoção sobre a hidrologia, ecologia e na infra-estrutura circundante à antiga estrutura.

Em se tratando de barragens, cada caso tem sua particularidade, portanto não há uma regra que possa ser aplicada para todos os casos. Porém isso não significa que as experiências passadas, especialmente as mais críticas, não devam ser disponibilizadas para os casos que estejam se desenrolando no presente. Por se tratar de um campo ainda pouco explorado, é interessante que as experiências de remoção de barragens sejam documentadas e usadas para evitar possíveis erros futuros.

Embora as estratégias e a física da remoção das barragens sejam diferentes de um caso para outro, há uma tendência de seguir os seguintes passos:

Tramitar no órgão ambiental responsável buscando as licenças para prosseguir com as obras;

Esvaziar o reservatório através da abertura de uma brecha na estrutura;

Lidar com os sedimentos armazenados no reservatório, removendo-os onde se fizer potencialmente possível;

Desfazer a estrutura com os equipamentos adequados;

Minimizar os impactos de erosão ou assoreamento de sedimentos a jusante.

A figura 3-6 ilustra as etapas para a remoção de barragem executado pelo Departamento de Recursos Naturais de Ontário – Canadá (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002).

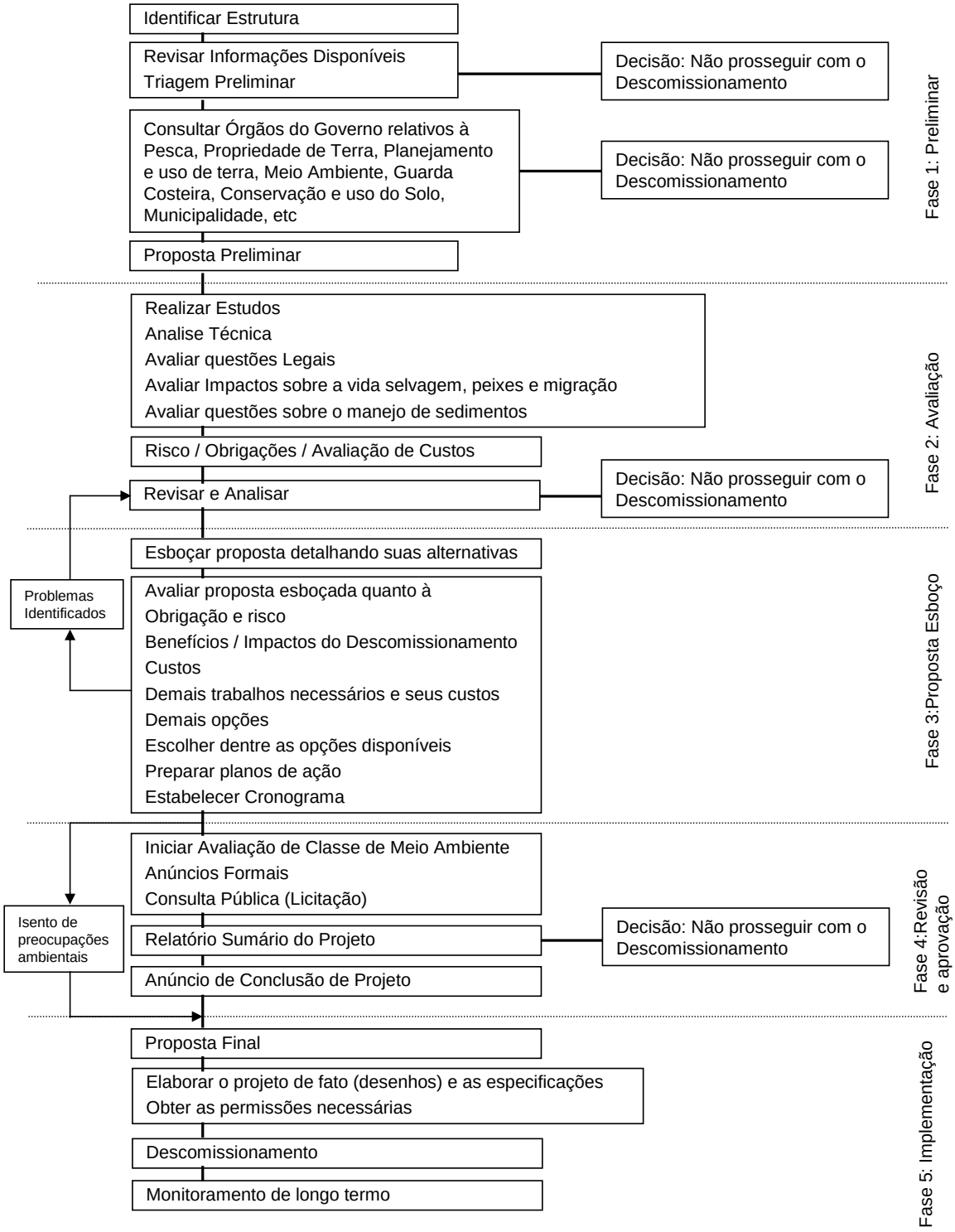


**Figura 3-6 - Etapas para a remoção de barragem – executado pelo Departamento de Recursos Naturais de Ontário / Canadá (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002).**

Questões como propriedade devem ser observadas no processo de descomissionamento de barragens. Pequenas barragens colocam em risco a população a jusante por causa do efeito desastroso que ocorreria em caso de seu rompimento. Para populações que habitam nas proximidades dessas estruturas, a remoção de barragem colocaria fim a esta ameaça.

No caso de falha da barragem, com ou sem ruptura, haverá uma onda de cheia induzida e as comunidades a jusante serão afetadas. É possível assumir com segurança o valor de 25 km/h para a velocidade de propagação de cheia induzida (VOGEL, 1998 apud VISEU, 2006). Considerando tal velocidade, os habitantes dos primeiros 25 quilômetros terão uma hora para evacuar o local. É um tempo muito curto para que equipes de evacuação e salvamento cheguem até os locais afetados pela onda de cheia para remanejar a população. Assim, é sugerido um zoneamento de risco no vale a jusante.

Países diferentes adotaram métodos semelhantes no que diz respeito ao zoneamento de jusante. Neste trabalho adotou-se um valor de 10 km a jusante para ser caracterizado como Zona de Auto-Salvamento, também nomeado zona 1, baseado em outros valores sugeridos por Viseu (2006). Tal valor representa aproximadamente a distância percorrida pela onda de cheia em 30 minutos, considerando que a onda viaja numa velocidade próxima de 25 km/h. Este valor foi estipulado por se tratar de um trabalho amplo para auxiliar na tomada de decisão. Diferentes países adotam valores diferentes, dependendo das características físicas de suas bacias e não serão tratados aqui. Ocorrendo uma falha da barragem, sirenes dispostas ao longo de jusante devem soar alertando a população da Zona de Auto Salvamento de que houve falha na barragem e que devem evacuar o local imediatamente. A população da zona 1 deve ser sujeita a um programa especial de prevenção/proteção, já que estão muito mais expostos ao risco iminente do que populações de outras zonas mais a jusante. Se possível, o ideal seria colocar restrições à ocupação humana nessa região mais crítica.

A zona 2 será aquela área que for atingida pela onda de cheia entre 30 minutos e 2 horas. O aviso à população nesta área deve ser feito por autoridades da Defesa Civil. Esta zona também é denominada Zona de Intervenção Principal e é onde os esforços de proteção civil devem se concentrar para garantir que a evacuação e o socorro das populações em risco sejam feitos. A zona 3 ou Zona de Intervenção Secundária é a área que a onda de cheia demora tempo maior que 2 horas para ser atingida. Nesta zona, os avisos também devem ser feitos por órgãos da Defesa Civil, que terão mais tempo disponível para efetuar uma evacuação segura.

As responsabilidades associadas à remoção de uma barragem é um processo pouco definível. Historicamente nos EUA, a deposição de material erodido do reservatório em áreas a jusante foi alvo de processos contra os proprietários de barragens. Outros processos foram abertos devido a alterações na qualidade da água, erosões ou assoreamento do rio, mudanças no nível d'água – NA - do lençol freático e inundações naturais. Estes riscos devem ser computados aos tomadores de decisão.

No caso de remoção de uma barragem, os direitos de propriedade devem ser reavaliados. Descrições de propriedades que contenham frases do tipo "até o limite da água" devem ser redefinidas uma vez que após a remoção da barragem, o nível da água será dinâmico, com alterações freqüentes. Logo, questões de propriedade e construções devem ser estabelecidas para evitar futuros desentendimentos (RYE, 2000).

Barragens, como tantas outras estruturas, não foram projetadas para descomissionamento. Por isso, problemas relacionados ao descomissionamento requerem atenção especial. Ainda mais quando se tratam de sedimentos acumulados no reservatório, que podem, ou não, afetar a operação da barragem, dependendo da finalidade para qual ela tenha sido projetada. Sedimentos podem conter metais ou outros materiais que podem ser nocivos se trazidos à tona ou transportados rio abaixo. A remoção e disposição final de sedimentos é uma das questões mais enfocadas no descomissionamento de barragens. Trata-se de uma operação cara, especialmente se os sedimentos estão contaminados e oferecem algum tipo de ameaça à saúde. Caso não estejam contaminados, os sedimentos podem ser

liberados rio abaixo assim que a barragem for removida. É o método mais barato de lidar com sedimentos, apesar de trazer prejuízos temporários à qualidade da água. Embora existam estudos a respeito, não foram observados problemas causados por sedimentos de um grande reservatório carreados rio abaixo, exceto pela qualidade da água (GRANATA, et al., 2008). Entretanto, o cronograma da remoção da barragem deve considerar o sincronismo da soltura de sedimentos para minimizar os efeitos da carga dos mesmos em atividades pesqueiras, abastecimento, dentre outras.

Outro aspecto importante a ser observado quando se tratar de descomissionamento de barragens é a alteração no nível do lençol freático, que será rebaixado nas adjacências do reservatório. Poços que foram perfurados após a instalação do reservatório poderão não mais alcançar o nível d'água, que será rebaixado com a remoção, e "secarão". Pontes e píeres dentre outras obras hidráulicas a jusante, construídas após a instalação da barragem, devem ser protegidas e reforçadas para suportar grandes velocidades do rio as quais estarão sujeitas logo após a remoção da barragem.

Houve casos, citados por DeHeer (2001) em que a manutenção de barragens se mostrou mais vantajosa que o descomissionamento. O custo do descomissionamento da barragem Rising, no rio Housatonic em Massachusetts nos EUA, com 10m de altura foi estimado em 8 vezes o custo de repará-la, devido ao alto custo de se construir um canal revestido e aos gastos com disposição dos sedimentos do reservatório. A barragem Highland Lake, no estado de Maine nos EUA, com 6 metros de altura foi substituída invés de descomissionada devido ao protesto da população que vivia no entorno do reservatório. Os municípios adjacentes preferiram pagar o custo da substituição da barragem no lugar de descomissioná-la. Já a barragem Yorktowne, também no estado de Maine, com 8m de altura foi reparada no lugar de descomissionada porque o proprietário não encontrou alternativa para a fonte de energia que impulsionasse seu moinho movido à água, do qual ele dependia para sua atividade econômica.

A decisão de se remover uma barragem envolve complexas interações entre diversos fatores ambientais e sociais. Considerações completas e racionais de cada um dos fatores demandam muito tempo e recurso financeiro. Já uma

análise simplificada é necessária para permitir uma priorização racional dos projetos de remoção de barragem para que, então, análises mais detalhadas, que consumam mais tempo, possam ser feitas com foco em projetos que possivelmente trarão maiores benefícios.

Ao se fazer uma estimativa dos investimentos e retornos que a remoção de uma barragem pode trazer, é possível calcular um Índice Benefício Custo - IBC. Aplicando IBC nos diversos projetos de remoção de barragem, é possível estabelecer uma ordem de prioridade daqueles com maiores benefícios e menores custos, que são os mais vantajosos, a serem analisados. Andersen et al. (2000) propõe quatro categorias de custo para balizar os custos potenciais e quatro categorias de benefícios para estimar as vantagens da remoção de barragem.

A abordagem é feita para pequenas barragens que são definidas como aquelas que têm de 3,3 a 13 metros de altura. O limite inferior é para restringir a análise àquelas barragens que têm que prover algum meio para transposição de peixes. Já o limite superior é fixado naquele valor para não gerar confusões com barragens de alta queda (PERKINS, 2000 apud ANDERSEN, 2000). Essa distinção é feita para evitar as seguintes complicações:

Supersaturação de gases dissolvidos na água a jusante causada pelo vertedor;
Estratificação térmica do reservatório;
Perda de um caminho claro para peixes jovens seguirem rio abaixo devido à dissipação das linhas de fluxo no reservatório;

No caso de mais de um empreendimento a ser descomissionado, será priorizado aquele que prover maiores benefícios com menores dispêndios econômicos, de acordo com a equação 3-7.

$$\mathbf{IBC} = \frac{\mathbf{BRB}}{\mathbf{CRB}}$$

Equação 3-7

Nesta equação, IBC é o Índice benefício-custo, BRB é o Benefício da remoção de barragem e finalmente CRB o Custo esperados para a remoção de barragem.

A seguir apresenta-se a proposição de como se estimar os benefícios e os custos de uma remoção de barragem, usando uma análise Bayesiana, a partir de atributo específico de campo.

Quatro categorias de custo foram propostas, sendo elas:

C1 – somente o custo da remoção da estrutura;

C2 – remoção da estrutura e da remediação dos sedimentos contaminados do reservatório;

C3 - remoção da estrutura e da remediação dos sedimentos contaminados do reservatório e a jusante;

C4 – remoção da estrutura e remediação de sedimentos de jusante não contaminados;

A cada categoria é associada um custo U. As probabilidades iniciais de custo para cada uma das categorias são estimadas a partir dos casos históricos de remoção de barragens. Atributos específicos de campo são então usados para atualizar essas probabilidades condicionais iniciais usando o teorema de Bayes. O CRB é formado pela soma dos produtos entre a magnitude do custo de cada categoria e a probabilidade condicional daquela categoria ocorrer em uma localização particular, segundo a equação 3-8:

$$CRB = U_1 \times P[C_1] + U_2 \times P[C_2] \times + U_3 \times P[C_3] \times + U_4 \times P[C_4]$$

Equação 3-8

onde:

U – é a magnitude do custo

P[C] – é a probabilidade condicional de ocorrência de cada categoria de custo para uma remoção particular.

Foram sugeridos pelos autores valores de referência para as magnitudes dos custos.

U1 = 10 – custo da remoção somente da estrutura;

U2 = 500 - remoção da estrutura e da remediação dos sedimentos contaminados do reservatório;

U3 = 1000 - remoção da estrutura e da remediação dos sedimentos contaminados do reservatório e a jusante;

U4=100 - remoção da estrutura e remediação de sedimentos de jusante não contaminados;

As probabilidades condicionais para ocorrência de cada categoria de custo são baseadas em médias históricas.

P[C1] = 0,8

P[C2] = 0,1

P[C3] = 0,07

P[C4] = 0,03

Tais estimativas iniciais são atualizadas por atributos específicos de campo, que provêem uma indicação do potencial de ocorrência de cada custo $C_i$ para cada barragem. A equação Bayesiana envolve probabilidade das condições iniciais $P[C_i]$, a probabilidade conjunta de que cada atributo $A_k$ considerado ocorrerá com cada custo $C_i$, isto é, $P[A_k|C_i]$, conforme a equação 3-9, a seguir:

$$P'[C_i] = \frac{P[A_k|C_i] \times P[C_i]}{\sum_j P\left[A_k|C_j\right] \times P\left[C_j\right]}$$

Equação 3-9

onde P’[$C_i$] é a probabilidade atualizada do I-ésimo custo de categoria.

A equação 3-9 é aplicada repetidamente por todos os atributos que são usados na avaliação de cada barragem, cada vez usando a probabilidade inicial para estimar a probabilidade atualizada. A tabela 3-10 apresenta os atributos e as probabilidades combinadas para categoria de custo.

**Tabela 3-10 – Probabilidades combinadas com custos de categorias (ANDERSEN, et al., 2000)**

| Probabilidades combinadas com custo de categoria | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Atributos Associados com Categoria de custo ($A_k$) | $P[A_k\|C_1]$ Estrutura | $P[A_k\|C_2]$ Estrutura + sedimentos contaminados a montante | $P[A_k\|C_3]$ Estrutura + sedimentos contaminados a montante e jusante | $P[A_k\|C_4]$ Estrutura + sedimentos NÃO contaminados a jusante |
| Barragem sem reservatório | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Barragem de gravidade de concreto em vale encaixado | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,8 |
| Barragem de aterro ou enrocamento ou combinação dos dois | 0.4 | 0,6 | 0,7 | 0,55 |
| Uso pecuário a montante | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,55 |
| Uso agrícola com plantações a montante | 0,5 | 0,7 | 0,65 | 0,65 |
| Atividades mineradoras a montante | 0,1 | 0,9 | 0,8 | 0,2 |
| Floresta primária sem atividade madeireira | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,7 |
| Floresta com indústria madeireira pesada | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,8 |
| Uso industrial a montante | 0,3 | 0,7 | 0,8 | 0,6 |

Os benefícios esperados da remoção são propostos em 4 categorias.

$B_1$ - Recreação

$B_2$ - Padrões de atividade pesqueira atingidos

$B_3$ - Padrões de saúde e segurança atingidos

$B_4$ - Padrões de água potável atingidos.

Para cada custo das categorias, um índice de benefício é associado (G). A magnitude desse benefício dependerá de fatores específicos de campo como

presença de peixes ameaçados de extinção ou de usos da água a jusante. A tabela 3-11 a seguir sugere os índices de benefício para cada uma das categorias baseadas em fatores específicos de campo.

**Tabela 3-11 – Utilidades para categorias de uso benéfico (ALDERSEN, et al., 2000)**

| Utilidades para categorias de uso benéfico | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Fatores específicos de campo | $G_1$ Mudança marginal, recreação | $G_2$ Padrões pesqueiros atendidos | $G_3$ Padrões saúde e segurança atendidos | $G_4$ Padrões potabilidade atendidos |
| Peixes ameaçados | | 1.000 | | |
| Uso da água para consumo a jusante | | | | 1.000 |
| Sem possibilidade de uso da água para consumo | | | | 1 |
| Uso público a jusante com preocupações de saúde | | | 1.000 | |
| Falha da barragem resultaria em perdas de vidas | | | 1.000 | |
| Falha da barragem resultaria em extensos danos a propriedades | | | 400 | |
| Falha da barragem resultaria em moderados danos a propriedades | | | 200 | |
| Promoção de turismo, rafting e pesca | 300 | | | |
| Restauração completa da função do ecossistema | | 400 | | |
| Pequena melhora na pesca local | | 200 | | |
| Ausência de outros fatores (ponto de partida) | 1 | 10 | 100 | 1.000 |

As probabilidades condicionais para ocorrência de cada categoria de uso benéfico são baseadas em médias históricas. Para ilustração, essas probabilidades são:

$P[B_1] = 0,5$;

$P[B_2] = 0,4$;

$P[B_3] = 0,09$;

$P[B_4] = 0,01$;

Essas probabilidades condicionais representam a chance de um uso benéfico particular ser atingido graças à remoção da barragem, dependendo de cada caso. O cálculo Bayesiano propõe estimar as probabilidades específicas de campo de atingir cada uma das categorias de usos benéficos.

Tais probabilidades serão estimadas da mesma forma da equação 3-9, como mostra a equação 3-10:

$$P'[B_i] = \frac{P[A_k|B_i] \times P[B_i]}{\sum_j P\left[A_k|B_j\right] \times P\left[B_j\right]}$$

Equação 3-10

onde todos os termos já foram previamente definidos. Tal equação será aplicada repetidamente por todos os atributos específicos de campo ($A_k$) que sejam considerados influentes na categoria de uso benéfico.

A tabela 3-12 apresenta alguns atributos potenciais e as probabilidades combinadas de ocorrência que podem ser usadas para atualizar a probabilidade $P[B_i]$ das categorias de uso benéfico.

Três categorias de perda de benefício também são propostas:

$L_1$ – Perda do potencial de irrigação

$L_2$ – Perda do potencial de geração hidrelétrica

$L_3$ – Perda do controle de cheias e capacidade de armazenagem

A avaliação das perdas de benefícios é direta e, portanto carrega pequena incerteza. Andersen et al. (2000) propôs os seguintes índices para cada uma delas:

$L_1 = 200$

$L_2 = 100$

$L_3 = 100$

**Tabela 3-12 – Probabilidade combinada com custo da categoria (ANDERSEN, et al., 2000)**

| | Probabilidade combinada com categoria de custo | | | |
|---|---|---|---|---|
| Atributos associados a categorias de uso benéfico ($A_k$) | $P[A_k\|B_1]$ Mudanças marginais (recreação) | $P[A_k\|B_2]$ Padrões pesca atingidos | $P[A_k\|B_3]$ Padrões de saúde e segurança atingidos | $P[A_k\|B_4]$ Padrões de potabilidade atingidos |
| Sítios de desova de alta qualidade a montante | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 0,5 |
| Recuperação de zona de corredeiras de alto gradiente | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,5 |
| Obstrução de passagem de peixes a jusante | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,5 |
| Qualidade da água antes da remoção de barragem está próxima ao padrão de potabilidade | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,8 |
| Aconselhável não comer peixes pescados no reservatório | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 |
| Lago proibido para barcos | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 |
| Redução de problemas de temperatura a jusante | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,7 |
| Restauração do fluxo natural de sedimentos a jusante | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,5 |

O benefício de remoção de barragem (BRB) pode ser concluído pela equação 3-11, onde $L_1$, $L_2$ e $L_3$ são usadas somente onde aplicáveis.

$$BRB = G_1 \times P[B_1] + G_2 \times P[B_2] + \mathrm{G}_3 \times P[B_3] + \mathrm{G}_4 \times P[B_4] - L_1 - L_2 - L_3$$

Equação 3-11

Exemplos de probabilidades de condições específicas de campo, utilidades benéficas e probabilidades conjuntas para usos benéficos são sugeridas, porém não devem ser tomadas como valores ideais. Os valores propostos pelos autores podem e devem ser reavaliados por especialistas científicos e

comunidade para cada caso de barragem. Uma avaliação cuidadosa desses valores propostos pode ajudar a reduzir o vício de valores propostos pelos autores, melhorando a análise estatística melhor (ANDERSEN, et al., 2000).

## 3.5 ASPECTOS PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL

No cenário brasileiro, a legislação vigente prevê diversas considerações sobre barragens e reservatórios. Entretanto, não aborda sob nenhum aspecto o tema de descomissionamento de barragens. O que existe hoje são diretrizes do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que delimitam para quais tipos de obras são necessários certos tipos de estudos, planos de controle ambientais, medidas mitigadoras, por exemplo. A seguir são apresentadas, de forma compacta, algumas resoluções e sobre o que tratam (CONAMA, 2008). Maiores detalhes sobre as resoluções encontram-se no Anexo B deste trabalho.

### *3.5.1 Resolução CONAMA nº 1, 23 de janeiro de 1986*

Esta resolução define, em seus artigos 1° o que é o impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas no meio ambiente causada por atividades humanas. Já no artigo 2° são definidos quais empreendimentos estão sujeitos à apresentação de estudos de avaliação de impactos para seu licenciamento, por exemplo, barragens para fins energéticos, acima de 10 MW, barragens de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, canais, transposição de bacias e aterros sanitários entre outros.

### *3.5.2 Resolução CONAMA nº 237, 19 de dezembro de 1997*

Este dispositivo regula os tipos de empreendimento e a profundidade de seus estudos ambientais necessários para a obtenção do licenciamento ambiental, uma vez considerados que causem impactos ao meio ambiente. São abordados também os tipos de licença ambiental e os trâmites para suas obtenções, apresentados no artigo 8°. O artigo 9° é o que deve dar guarda aos estudos, projetos e execução de obras de remoção de barragens. Já nos artigos 10° a 12° são definidos os procedimentos a serem seguidos pelos órgãos ambientais bem como a forma no momento de expedição das licenças. No Anexo B a resolução 237/97 encontra-se listada com maiores detalhes.

### *3.5.3 Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*

Além de estabelecer padrões de qualidade da água, é introduzido o termo ‘enquadramento’, que representa a meta de qualidade do corpo hídrico, a ser atingida. A classificação quanto à qualidade da água se refere ao tipo de uso que aquele corpo hídrico pode ter. Além das classes de uso, a resolução CONAMA 357 estabelece e oficializa diferentes parâmetros de controle da qualidade das águas territoriais, que muitas vezes são confundidos como critérios de licenciamento.

No processo de descomissionamento, a Resolução 357 deve ser observada quanto aos padrões de emissão de determinados constituintes a serem descarregados quando do esvaziamento do reservatório como nos sedimentos a serem mantidos no reservatório ou carreados para jusante. As principais diretivas e definições da Resolução 357 encontram-se no Anexo B deste trabalho

## 3.6 ASPECTOS DE SEGURANÇA DAS BARRAGENS

Com relação à segurança de barragens, alguns dispositivos legais fazem menção ou previsão e definem as responsabilidades do Estado neste aspecto, como mostrado a seguir. Maiores detalhes encontram-se no Anexo B.

### *3.6.1 Decreto nº 5847, de 14 de julho de 2006*

Este decreto estimula uma maior atuação da Secretaria de Defesa Civil através de Política Nacional de Defesa Civil, exercer atribuições inerentes de órgão central do Sistema Nacional de Defesa Civil. Estas medidas auxiliam a questão do descomissionamento no que diz respeito à prevenção e alerta de catástrofes e perigos potenciais que deverão ser comunicados ao Estado, por exemplo uma barragem abandonada que esteja seriamente avariada e que coloque em risco a população de jusante.

Pelo artigo 18º deste decreto, à Secretaria Nacional de Defesa Civil compete estabelecer medidas de redução de desastres em todo país, instruir processos para reconhecimento de situações de emergência, promover a consolidação e a interligação das informações de riscos e desastres (BRASIL, 2006).

### *3.6.2 Projeto de Lei 1181/2003*

Estabelece a política nacional de segurança de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Estabelece ainda a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB.

Regulamenta medidas e ações de segurança a serem adotadas em todas as etapas da vida útil de uma barragem, cria condições de ampliação do universo de controle de barragens.

Classifica as barragens por categoria de risco, por dano associado e pelo seu volume. Tal classificação será alta, média ou baixa, em funções das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao plano de segurança de barragens. Define também o Plano de Segurança de Barragens, educação e comunicação sobre barragens como medida de conscientização da importância da segurança de barragens além de definir as competências do órgão fiscalizador.

Como fundamentos da PNSB podem ser citados o planejamento de segurança de barragens desde as etapas de projeto até sua operação e desativação, o envio de informações ao público para participar de ações preventivas e emergenciais. Além disso, o empreendedor é considerado responsável legal pela segurança de sua barragem e a PNSB deve promover mecanismos de participação e controle social.

A fiscalização da segurança de barragens caberá à entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico, à entidade outorgante de direitos minerários para fins de disposição final ou temporária de rejeitos ou à entidade que forneceu licença ambiental de instalação e operação para fins de disposição de resíduos industriais.

Como instrumentos da PNSB podem ser citados o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado, o Plano de Segurança de Barragem, o Sistema nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB, o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente – SINIMA, o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental, o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadora de Recursos Ambientais e o Relatório de Segurança de Barragens (BRASIL, 2003).

Dentre todas as legislações supracitadas, nenhuma aborda aspectos legislativos de como proceder, no caso de descomissionamento de barragens. Tal ausência é mais uma componente da justificativa deste trabalho, e até uma incitação para a revisão da legislação sobre barragens que não dispõe explicitamente as medidas previstas no caso de um descomissionamento parcial ou total.

# 4 EXPERIÊNCIAS DE DESCOMISSIONAMENTO

## 4.1 ASPECTOS GERAIS

Nos EUA, há tantas pequenas barragens não cadastradas e que foram removidas que os dados oficiais não representam a totalidade real dos descomissionamentos lá praticados (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002). Embora as experiências de descomissionamento divulgadas não sejam tantas quanto o total de barragens descomissionadas ao longo do tempo, é possível citar alguns casos de descomissionamento daquele país (THE ASPEN INSTITUTE, 2002).

Os motivos para o descomissionamento não se confrontam sempre apenas com questões econômicas que o reservatório proporciona como geração de energia elétrica, irrigação ou pesca, por exemplo. Há casos em que as questões de embate do descomissionamento resvalam na manutenção da barragem por preservação de patrimônio histórico (LINDLOFF, et al., 2008). Exemplos na tabela 4-1 ilustram alguns casos de preservação parcial da barragem por questões de significado histórico. Com exceção de um dos oito casos referidos, as barragens foram removidas total ou parcialmente, mas sempre mantendo um vínculo histórico com a importância da barragem, seja na construção de um memorial da barragem, na elaboração de uma coleção de memória fotográfica antes e durante a remoção da barragem, num estudo e documentação de material arqueológico submerso pelo reservatório ou na manutenção de parte da barragem como patrimônio “vivo”. A única exceção foi a manutenção de uma barragem como um todo, porém com a construção de uma estrutura que permita a migração de peixes.

**Tabela 4-1: Barragens dos EUA removidas recentemente (LINDLOFF, et al., 2008)**

| Barragem | Rio | Estado | Pais | Altura (m) | Extensão (m) | Ano | Preocupações | Resultado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Reading Public Museum | Wyomissing Creek | Pennsylvania | EUA | 1,00; 2,60. | 15,00; 20,00. | 2004 | Documentação escrita e fotográfica, representação e preservação parcial | Melhora na educação pública pelo uso do museu, melhoria no habitat de peixes migratórios. |
| Embrey | Rappahannock | Virginia | EUA | 7,30 | 231,00 | 2004 | Patrimônio Cultural submerso, documentação e preservação parcial | Estudo do patrimônio Cultural submerso e melhoria no habitat de peixes migratórios. |
| Kent | Cuyahoga | Ohio | EUA | 4,20 | 37,50 | 2004 | Representação e Preservação Parcial | Preservação Inovadora de patrimônio histórico e melhoria na qualidade da água. |
| Marmot ; Little Sandy | Sandy; Little Sandy | Oregon | EUA | 14,1 | 58,5 | 2007; 2008 | Potencial reuso para oportunidades de educação pública. | Melhoria no habitat de peixes migratórios. |
| Irving Mill | Ridley Creek | Pennsylvania | EUA | 4,00 | 33,0 | 2004 | Documentação e preservação parcial | Melhoria no habitat de peixes migratórios. |
| Heishman's Mill | Conodoguinet Creek | Pennsylvania | EUA | 1,80 | 50,0 | Não remov ida | Preservação | Construção de um canal inovador para passagem de peixes migratórios |
| Cascade Diversion | Merced | Califórnia | EUA | 6,0 | 55,2 | 2003 | Documentação e representação | Melhoria no habitat de peixes no rio Merced e eliminação de questões de segurança de barragem. |

O componente de preservação histórica se destaca em todos os casos apontados pela tabela 4-1. Procurou-se dar outra finalidade às barragens sem a necessidade de removê-las completamente, levado por fatores tais como transformação do lugar em museu, preservação de patrimônio histórico e construção de canal para a passagem de peixes migratórios.

Apesar das barragens já não interessarem mais para as finalidades propostas em suas construções, seu valor histórico ainda interessava e foi preservado. Parte das barragens foi preservada mantendo naqueles locais evidências de sua existência e do patrimônio histórico que elas representavam, demonstrando que o descomissionamento pode ocorrer atendendo os interesses históricos de uma população (LINDLOFF, et al., 2008). O valor histórico da barragem ou reservatório deverá ser avaliado por algum órgão competente, e seu parecer irá contribuir na tomada de decisão final sobre a remoção da estrutura.

Seja a remoção parcial da barragem, deixando um remanescente histórico para preservação pela simples permanência de parte da estrutura no rio, ou transformando a estrutura em museu ou patrimônio histórico, tais obras são executadas através de abertura apropriada de brechas no barramento, o transporte de sedimentos do rio é restabelecido e a migração de peixes é restabelecida, enquanto uma parte da barragem é deixada para preservação de seu patrimônio. A brecha pode alcançar qualquer tamanho, desde um chanfro em “V” que vá da base até o topo, passando pela remoção de uma seção da barragem, até mesmo a remoção completa da barragem exceto suas estruturas de suporte (AMERICAN RIVERS, 2008).

Independentemente do procedimento adotado, trata-se de uma obra como qualquer outra, necessitando de licença prévia, licença de instalação e licença de operação. Conforme já mencionado, deverão ser apresentados relatórios de impacto ecológico, econômico e social, planos de mitigação de impactos às autoridades e órgãos responsáveis.

Como citado anteriormente, a questão dos sedimentos acumulados no reservatório é uma das maiores preocupações quando se trata de remoção de

barragens. E como exemplo Rye (2000) aponta dois casos de remoção de barragem ocorreram no rio Otter Tail, em 1999, como ilustra a tabela 4-2.

**Tabela 4-2 Características das Barragens Mill Pond e Frazee (RYE, 2000)**

| | Barragem Mill Pond em Appleton no rio Pomme de Terre | Barragem Frazee no rio Otter Tail |
|---|---|---|
| Ano de Construção | 1872 | 1923 |
| Uso Original | Força hidráulica para moinho de farinha | Hidroeletricidade |
| Tipo de Barragem | Barragem de terra e vertedouro de concreto | Barragem de terra e vertedouro de concreto |
| Altura da barragem | 5,2 m | 5,8 m |
| Carga hidráulica Normal | 2,9 m | 4,6 m |
| Comprimento da barragem | 47,9 m | 18,3 m |
| Área do reservatório | 23,1 ha = 0,231 km² | 3,7 ha = 0,037 km² |
| Área de drenagem | 235.000 ha = 2.350 km² | 61.600 ha = 616 km² |

## 4.2 BARRAGEM MILL POND

Com o passar do tempo, os sedimentos depositados deixaram de 0,9 a 1,2 metros de lâmina d´água no reservatório da Barragem de Mill Pond, fazendo com que, em 1996, o conselho da cidade de Appleton aprovasse uma resolução apoiando a remoção da barragem e contratasse empresa para executar projeto preliminar, em janeiro de 1997. Em março de 1997 ocorreu a maior cheia já registrada em Appleton e parte da barragem rompeu. Outro segmento da barragem foi removido em 1998.

Como resultado da ruptura e remoção do vertedouro, o nível d’água - NA - rebaixou, expondo os sedimentos, permitindo assim germinação de vegetação e aumento da estabilidade dos taludes de material depositado no interior do reservatório.

A barragem foi removida, finalmente, entre fevereiro e março de 1999. Duas soleiras em “V” foram instaladas na barragem para o processo de remoção,

provendo proteção para a barragem, reduzindo a liberação de sedimentos pelo controle de comportas e permitindo a passagem de peixes e canoas.

## 4.3 BARRAGEM FRAZEE

Esta barragem foi historicamente usada para a geração de energia elétrica para a companhia Otter Tail, e seu reservatório utilizado por uma serralheria muito grande. Os stop logs foram removidos em 1998, tornando possível o rebaixamento do nível d'água do reservatório, o que também causou a exposição dos sedimentos acumulados no fundo. Isso permitiu que tais sedimentos fossem estabilizados pela germinação de nova vegetação. Tal crescimento de vegetação atenuou as preocupações dos residentes quanto aos aspectos estéticos do reservatório abandonado.

Uma análise geral prévia ao rebaixamento do reservatório constatou a presença de uma camada de 0,9 a 1,2 metros de argila abaixo da camada de cascas de árvore. Para a remoção da barragem foi necessária também a instalação de uma comporta de controle a montante para proteção de um cruzamento de rodovia existente. Duas soleiras em "V" também foram instaladas para proteção da estrutura, aumentando o NA de montante e permitindo passagem de canoas e peixes.

As tabelas 4-3 e 4-4 mostram os resultados de qualidade da água antes, durante e após a remoção das barragens de Mill Pond e Frazee, respectivamente.

**Tabela 4-3 - Resultado da qualidade da água no processo de remoção da barragem de Mill Pond em Appleton (RYE, 2000)**

| Sólidos em suspensão Totais (mg/L) | | | |
|---|---|---|---|
| Data da amostra | Montante da barragem | Jusante da barragem | Vazão ($m^3/s$) |
| 26/2/1999 | Congelado | 620 | -- |
| 10/3/1999 | Congelado | 300 | -- |
| 17/3/1999 | 60 | 170 | 7,47 |
| 24/3/1999 | 48 | 64 | 7,56 |
| 12/5/1999 | 46 | 81 | 12,74 |
| 1/4/2000 | 36 | 42 | 5,29 |
| Remoção da barragem e construção da soleira de pedra em "V" / Instalação de rip-rap de 24/2/1999 até 19/3/1999 | | | |

**Tabela 4-4 – Resultado da qualidade da água no processo de remoção da barragem de Frazee (RYE, 2000)**

| Sólidos Suspensos Totais - SST (mg/L) | | | |
|---|---|---|---|
| Data da amostra | Montante da barragem | Abaixo da barragem | Jusante da barragem |
| 09/2/1999 | <1 | <1 | <1 |
| 25/2/1999 | 10 | 22 | 11 |
| 26/2/1999 | 5 | 20 | 9 |
| 1/3/1999 | <4 | 370 | 24 |
| 4/3/1999 | 4 | 220 | 18 |
| 21/4/1999 | 14 | 24 | <4 |
| 5/5/1999 | 11 | 50 | 25 |
| 14/7/1999 | 3 | 2 | 3 |
| 1/4/2000 | 3,4 | 10 | 14 |
| Nota: 5/5/1999 concentração de SST acima da barragem era de 2.100 mg/L devido à tempestade que carreou sedimentos aumentando a turbidez do rio | | | |
| Remoção da barragem entre 22/2/1999 até 4/3/1999 | | | |

A análise dos sólidos suspensos totais, feita após a remoção das duas barragens, indica que os impactos associados à qualidade de água foram relativamente de curta duração. A longo termo os benefícios da ausência de obstáculos na migração de peixes são geralmente considerados como compensadores em relação à perda da barragem. Investigações complementares das implicações da descarga de sedimentos a jusante em mudanças geomorfológicas no canal mostram que o resultado foi benéfico (RYE, 2000).

## 4.4 BARRAGENS J.C. BOYLE, COPCO E IRON GATE

A bacia do rio Klamath drena 11,900 km² até a barragem Iron Gate, no quilômetro 304 do rio. Mais a montante, no quilômetro 421, o Lago Klamath dificulta o acesso de peixes para os 9,500 km² superiores da bacia. Entre as décadas de 1910 e 1960 foram construídas neste curso d'água J,C, Boyle, no quilômetro 360 e Copco, no quilômetro 317. Neste caso não houve remoção de barragens, mas sim simulações de como os sedimentos acumulados nos reservatórios se comportariam na ocasião de uma remoção. As barragens em questão são, de montante para jusante, J.C. Boyle, Copco e Iron Gate, no rio Klamath, no estado da Califórnia, nos EUA, e juntas acumulam cerca de 12 milhões de metros cúbicos de sedimento. Conforme já mencionado anteriormente, quando se pretende executar a remoção de uma barragem é necessário se preocupar com a questão dos sedimentos armazenados no reservatório. A simulação realizada aborda este assunto (CUI, et al., 2005).

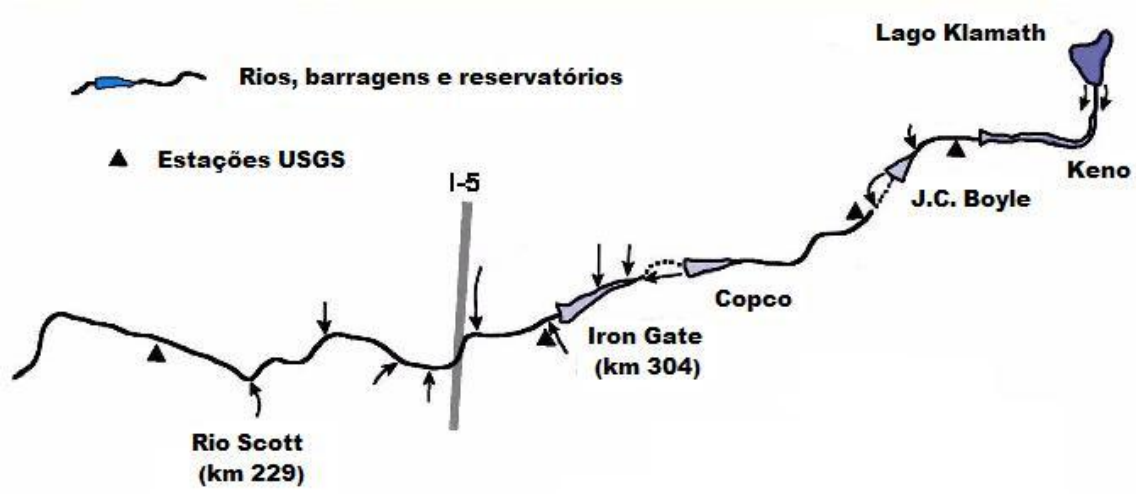


**Figura 4-1 – Esquema da disposição das barragens do Rio Klamath (CUI, et al., 2005)**

É possível fazer uma estimativa da quantidade de sedimentos a serem transportados no caso de uma remoção de barragem, entretanto estudos e simulações feitas por Cui et al. (2005) demonstram que a previsão da dinâmica de transporte de sedimentos após remoção de barragem geralmente requer

muitos dados de campo, e sua coleta demanda tempo e recursos financeiros, o que seria inviável.

Entretanto, certos gerenciamentos sobre remoção de barragem podem ser necessários antes de se gastar recursos financeiros para coleta de dados sobre qual barragem é mais viável de se remover. Por exemplo, se uma análise preliminar sobre transporte de sedimentos de uma suposta barragem a ser removida demonstrar que a remoção causará impactos inadmissíveis naquele curso d'água, recursos deverão ser dirigidos para soluções que não permitam, ou minimizem, o transporte de sedimentos. Com reconhecimento de campo e análise dos poucos dados existentes, foi possível avaliar o potencial de deposição de sedimentos a jusante da barragem após sua remoção, seguindo a linha de raciocínio de pior caso possível.

A avaliação foi feita com auxílio do software DREAM-1, um dos modelos de análise expressa de remoção de barragens desenvolvido pelo Stillwater-Sciences. O software utiliza a equação de Brownlie de 1982 para transporte de material de fundo para o transporte de areia. É um modelo de transporte unidimensional, projetado para analisar o transporte e deposição de sedimentos após remoção de barragens com reservatórios de materiais não-coesivos. Entretanto, a maioria dos sedimentos dos reservatórios em questão é composta por argila e silte, materiais coesivos. Devido à escassez de tempo e de recursos para campanhas de campo para recalibrar no modelo os parâmetros de materiais coesivos, decidiu-se usar o modelo DREAM-1 de maneira inalterada, ignorando a coesividade do material depositado nos reservatórios.

Ao se negligenciar o fator coesividade, a ação de aderência entre as partículas não é considerada, e assim admite-se na simulação que o efeito da erosão sobre os sedimentos acumulados no reservatório seja maior do que realmente ocorreria. Dessa forma, os resultados da simulação estão superestimando os sedimentos que se acumularão a jusante das barragens a serem removidas. Para se estimar a maior quantidade de sedimentos transportados à jusante das barragens, a ausência do fator coesividade colabora com a condição de simulação do pior cenário possível. Os resultados da avaliação apontam para um potencial de deposição de sedimentos que ocorreria apenas num curto

período num trecho de dez quilômetros a jusante com espessura máxima de deposição de sedimentos de 1,2 metros.

Uma série de suposições foi usada para garantir o pior cenário possível na simulação, em termos de deposição de sedimentos a jusante após a remoção das barragens. Rapidamente citadas:

Ignorar o efeito de coesividade nos sedimentos depositados nos reservatórios;

Incluir as porções mais finas de sedimentos transportados em suspensão, na simulação;

Assumir que a profundidade média de sedimentos depositáveis na área do curso principal do rio é cinco vezes superior ao valor médio do reservatório

Assumir uma granulometria potencialmente maior do que é provável de se ocorrer;

Assumir uma disposição triangular do depósito de sedimentos começando no curso do rio e duas vezes mais profunda rente à barragem, conforme mostra a figura 4-2.

As simulações com o software DREAM-1 foram realizadas considerando apenas a remoção da barragem Iron Gate, mais à jusante. Mas considerando que os sedimentos liberados da remoção das barragens Copco e J.C. Boyle foram adicionados ao reservatório de Iron Gate, antes da simulação de sua remoção, conforme figura 4-2 e tabela 4-5. O túnel de desvio, usado na construção de Iron Gate foi usado também no na simulação do rebaixamento de seu reservatório antes de sua remoção.

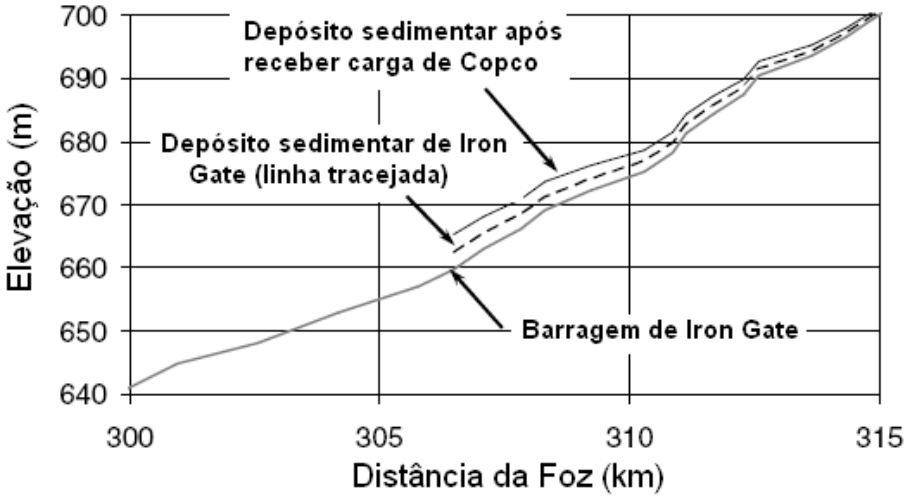


**Figura 4-2 - Sedimento depositado no canal principal do reservatório Iron Gate (CUI, et al., 2005)**

**Tabela 4-5 - Estimativa grosseira dos sedimentos liberados dos reservatórios assumindo J.C. Boyle e Copco removidas antes de Iron Gate (CUI, et al., 2005)**

| | Copco | Iron Gate | Iron Gate+Copco |
|---|---|---|---|
| Volume total ($m^3$) | 7.900.000 | 3.600.000 | 7.520.000 |
| Área de deposição ($m^2$) | 2.973.000 | 6.968.000 | 6.968.000 |
| Média de profundidade no reservatório (m) | 2,66 | 0,52 | 1,08 |
| Média de profundidade no canal principal (m) | 13,3 | 2,6 | 5,4 |
| Largura Estimada (m) | 46 | 46 | 46 |
| Comprimento do estimado (m) | 6.400 | 10.300 | 10.300 |
| Volume de sedimento liberado ($m^3$) | 3.920.000 | 1.230.000 | 2.560.000 |

Apesar de fazer parte da simulação, o volume de sedimentos em J.C. Boyle não foi citado na tabela 4-5 devido ao seu tamanho desprezível.

Para cada cenário hidrológico – cheia e estiagem – foram feitas duas simulações, totalizando quatro. E para cada condição hidrológica foi feita uma simulação considerando características de erosão, transporte e deposição com

liberação descontrolada pelo túnel sem remoção da barragem. Ainda para o mesmo cenário foi realizada a segunda simulação para os 6 meses seguintes de rebaixamento do reservatório esvaziado através do túnel de desvio seguido da remoção completa da barragem. Independentemente do cenário hidrológico, ambas as simulações admitiram como hipótese começar o rebaixamento durante a estação de vazão baixa, em 1 de Julho, que continuou até 30 de Dezembro, já na estação de vazão alta, na qual a barragem seria removida. Os resultados apresentados se referem somente à segunda simulação, no cenário de estiagem. A figura 4-3 ilustra o resultado da espessura de sedimento com a remoção de barragem na segunda simulação, depois de 6 meses de rebaixamento de reservatório sob condições de estiagem. A figura 4-4 ilustra a espessura da deposição de sedimentos no leito do rio.

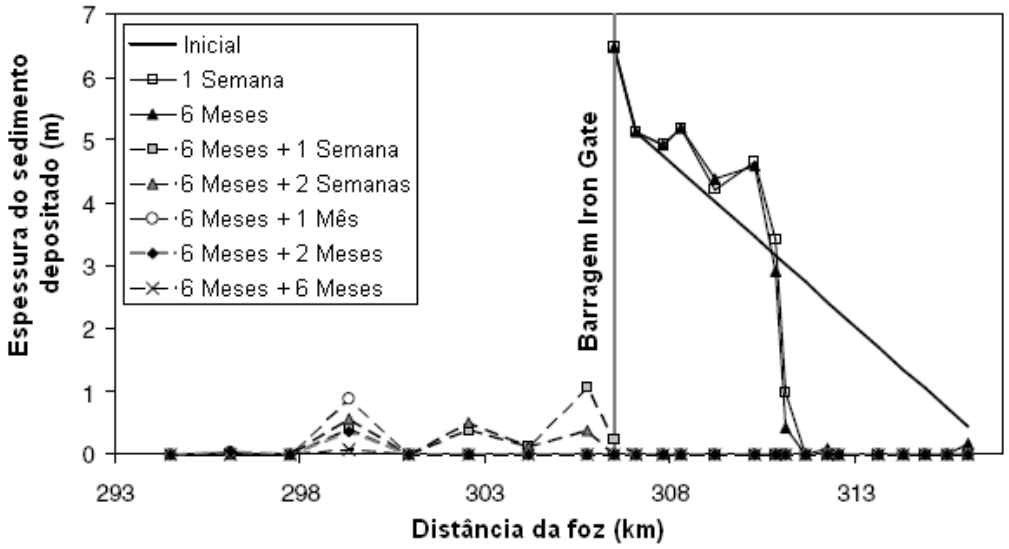


**Figura 4-3 - Espessura simulada da deposição dos sedimentos na segunda simulação: Seis meses de rebaixamento de reservatório com túnel de desvio antes da remoção sob condições de estiagem (CUI, et al., 2005)**

Através da ilustração fica visível que 6 meses após o rebaixamento do reservatório haverá um depósito com cerca de 1 metro nos primeiros 10 quilômetros a jusante da barragem de Iron Gate, antes de sua remoção.

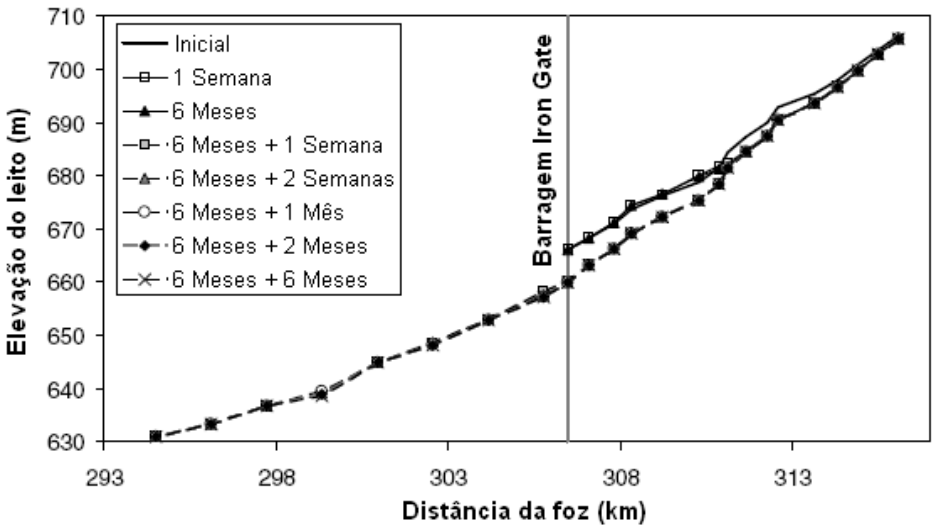


**Figura 4-4 - Elevação do leito do rio na segunda simulação: Seis meses de rebaixamento do reservatório com túnel de desvio antes da remoção da barragem sob condições de estiagem (CUI, et al., 2005).**

Os resultados nas figuras 4-3 e 4-4 indicam que a elevação do leito é quase imperceptível antes e depois da remoção da barragem, indicando deposição mínima em seu leito. A máxima deposição de sedimentos, que teve espessura de 1,2 metros, é limitada dentro de aproximadamente 10 km à jusante após a remoção da barragem, que constitui apenas uma pequena fração da profundidade (CUI, et al., 2005). Os resultados para a simulação com cenário hidrológico de cheia foram similares ao cenário de estiagem.

Devido à declividade considerável, à pequena largura do canal, à alta vazão e aos sedimentos finos armazenados nos reservatórios, foi estimado que as remoções das barragens J.C. Boyle, Copco e Iron Gate não resultariam em acúmulos significativos a jusante das barragens. Uma simulação de pior cenário possível demonstrou que haveria sedimentação dentro de 10 quilômetros a jusante da barragem Iron Gate com uma máxima espessura de 1,2 metros. Resultados também demonstraram que o depósito de sedimentos não duraria mais do que seis meses.

A simulação de cenários de transporte de sedimentos se faz bastante útil ao se considerar o descomissionamento de barragens. É possível variar parâmetros

e forçar cenários piores que a realidade de modo a estimar um cenário bastante adverso e ainda assim estar preparado para ele. A grande vantagem da simulação com poucos dados é a rapidez de se trabalhar com os dados disponíveis no momento e, caso a simulação demonstre algum resultado inaceitável, mais recursos podem ser empregados em novas coletas de dados de campo para uma nova simulação com maior quantidade de dados para se aproximar de um cenário mais realístico e se obter uma simulação mais fidedigna.

## 4.5 BARRAGEM EDWARDS

A Barragem Edwards, com 8m de altura e 280 m de comprimento, construída em 1837 no rio Kennebec, estado de Maine nos EUA, foi removida em Junho 1999 ao custo de US$ 5 milhões depois que a Comissão Federal Reguladora de Energia (Federal Energy Regulatory Commission - FERC) decidiu, em 1997, que os custos operacionais e de manutenção superavam os benefícios. Essa foi a primeira vez que a FERC determinou que a operação continuada da barragem causava dano ambiental inaceitável que não poderia ser amenizado com qualquer ação menor que sua remoção.

A barragem foi entregue ao estado de Maine e os custos foram pagos com fundos privados. Sua remoção abriu 27 quilômetros de rio para salmões e arenques pela primeira vez em 160 anos.

## 4.6 BARRAGENS GRANGEVILLE, LEWISTON

Em 1998, quatro barragens destinadas a abastecimento com até 5 m de altura foram removidas no rio Butte Creek, estado da Califórnia nos EUA, a um custo de US$ 9 milhões. Suas remoções foram possíveis pela construção de extensos canais de desvio, tubulações e bombas para esvaziamento do

reservatório. O rio Butte Creek é um dos quatro tributários do Rio Sacramento com população de salmão-chinuque, que é ameaçado de extinção. A remoção liberou acesso a 40 quilômetros do rio Butte Creek pela primeira vez desde os anos 1920.

A barragem Grangeville, com 17m de altura, construída em 1903 no rio Clearwater no estado de Idaho nos EUA, foi removida em 1963 porque o reservatório estava completamente assoreado e impedia a circulação de peixes anádromos (salmão). Cinco toneladas de dinamite foram utilizadas na remoção da barragem, que teve que de ser demolida numa única explosão, pois foi considerado que seria muito difícil instalar uma segunda carga de explosivos para serem detonados depois que o rio começasse a fluir novamente. Os sedimentos acumulados foram erodidos durante muitos dias após a remoção da barragem. Na primavera de 1964, o rio já tinha carreado praticamente toda a quantidade de sedimentos acumulados no reservatório.

A barragem de Lewiston, de 14m de altura por 320m de comprimento, construída em aterro e concreto em 1927 no principal curso d'água do rio Clearwater, em Idaho, foi descomissionada em 1973 ao custo de US$ 3 milhões. Foi removida porque a recém-construída barragem Lower Granite, no baixo rio Snake, a jusante de Lewiston, iria interferir na operação de Lewiston. A parte de concreto da barragem foi removida em blocos com o uso de dinamite. Todo o entulho da remoção foi colocado ao longo da margem do rio e coberto com solo e vegetação para minimizar os impactos estéticos. O cronograma de remoção foi planejado para o período de baixo uso de água da cidade de Lewiston para minimizar os impactos causados pelo aumento da carga de sedimentos aos peixes no rio (FRIENDS OF EARTH, et AL, 1999 apud DEHEER, 2001).

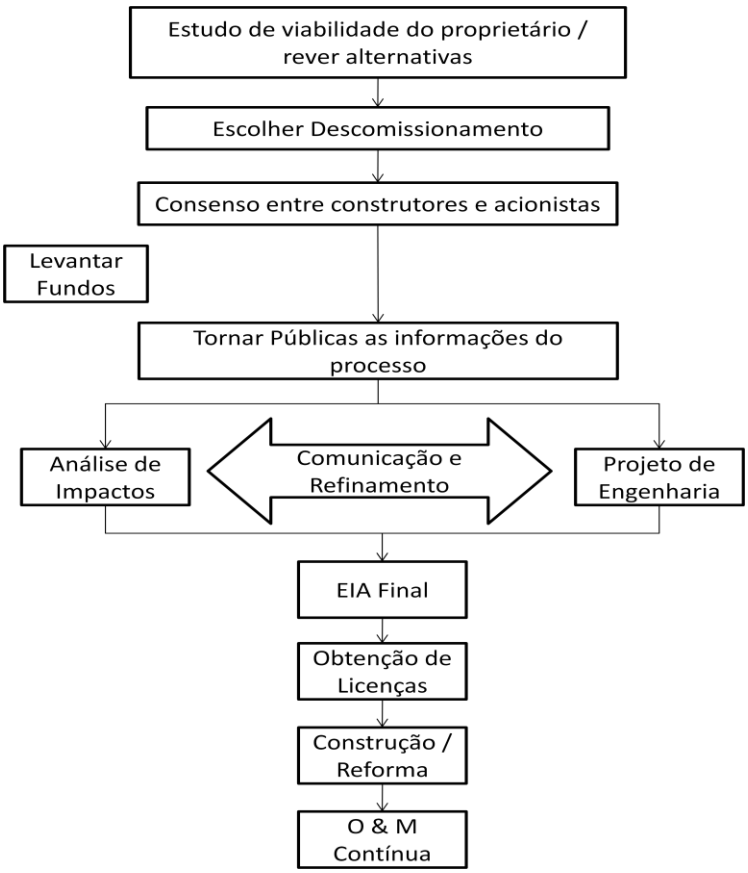


**Figura 4-5 - Processo de Descomissionamento (DEHEER, 2001)**

Na figura 4-5 acima é ilustrado um processo genérico para o descomissionamento de barragens proposto por DeHeer (2001). O processo de descomissionamento começa com o estudo de viabilidade do projeto e é seguido pela escolha do tipo de descomissionamento a ser feito, se remoção parcial ou total da estrutura. Os acionistas da empresa proprietária da barragem são consultados e entram em acordo com os construtores a realizar a obra. A partir daí, levantam-se fundos para a obra e as informações do projeto são abertas ao público. A partir desse ponto são discutidos a análise de impactos juntamente com as técnicas de engenharia a serem empregadas na obra, buscando o refinamento do projeto. Depois da definição do projeto final, elaboram-se os estudos ambientais finais, percorrem-se os trâmites ambientais legais para obtenção das licenças e só então a obra é realizada. Entretanto o projeto não é dado por encerrado após as obras porque dentro do projeto de engenharia estão previstas operação e manutenção (OM) com monitoramento das novas condições do rio já sem a barragem.

## 4.7 BARRAGEM DE MILLTOWN

Em casos que necessitem de esvaziamento do reservatório, a preocupação com as ondas de cheia é uma constante. Apesar de ser feito planejamento para realizar as obras durante as janelas hidrológicas, isto é, em períodos que se espera que o rio se encontre num regime de vazões mínimas, vazões maiores podem surpreender o andamento das obras. Dependendo do tamanho do reservatório, das condições de jusante, das condições da barragem, uma janela hidrológica pode não ser suficiente para esvaziar o reservatório por inteiro. Nestes casos a solução adotada é a construção de ensecadeiras e um canal de desvio paralelo ao reservatório que conduzirá o curso natural do rio por um caminho alternativo.

Esse tipo de obra torna-se muito mais útil quando o reservatório armazena sedimentos contaminados. Assim a ensecadeira, que é construída na cabeceira do reservatório, impede o afluxo de água ao mesmo, permitindo que tal reservatório seja esvaziado de alguma forma e que as máquinas possam entrar no então leito seco e executar a remoção de tais sedimentos contaminados. Goodell, et al. (2005) aborda a simulação da remoção da barragem de Milltown, no rio Clark Fork, sob o aspecto sedimentológico utilizando o modelo HEC-6, desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers em 1993. Os programadores desse modelo afirmam que, apesar de ter sido desenvolvido para simulações de regimes de vazão gradualmente variáveis, o HEC-6 pode ser aplicado à simulação de remoção de barragens por não se tratar de um caso de simulação de colapso da barragem. A simulação desse tipo de obra foi proposta em três etapas:

A primeira etapa consistiu em construir duas barreiras de contenção pré-moldadas em células, adjacentes à margem do rio, que serviriam como paredes limítrofes do canal de desvio, auxiliando no confinamento do fluxo neste canal. Em seguida o reservatório seria rebaixado até a crista do vertedor através da abertura completa das comportas por seis dias. Nos 149 dias seguintes ao rebaixamento até a crista do vertedor, o canal de desvio seria construído e os sedimentos removidos do reservatório mecanicamente até

alcançar o material aluvionar. Uma berma de terra seria construída imediatamente a montante da barragem, separando-a em dois lados: lado do vertedouro e lado da tomada d'água para a casa de força. Por último, no primeiro estágio, a tomada d'água da casa de força seria convertida em uma tomada d'água de baixo nível para dar vazão ao fluxo que seguirá na etapa 2.

No segundo estágio, o fluxo do rio seria desviado do reservatório para o canal lateral pela ensecadeira de montante, colocada na cabeceira do reservatório. Como a berma de terra construída na primeira etapa isolou o lado do vertedor do lado da tomada d'água, o canal lateral descarregará o fluxo no lado da tomada d'água baixa, que passará pela casa de força, sendo descarregada a jusante. O reservatório, já isolado por ensecadeira a montante e pela berma e vertedor a jusante, seria então rebaixado até o nível da tomada d'água baixa em 30 dias. Pelos 90 dias seguintes, o lado da barragem que contém o vertedor seria removido e uma camada de 0,75 m de rip-rap protegeria o leito do rio recém-exposto.

O terceiro estágio incluiria 38 dias de descarga no nível da tomada d'água baixa, seguidos por 30 dias de rebaixamento do reservatório até o nível do leito do rio, finalizando com 873 dias de vazões no nível do leito do rio, completando um total de 941 dias. Os três rebaixamentos propostos aconteceriam no primeiro ano e somariam uma redução do nível d'água de 10,65 m, passando de um nível d'água máximo de 979,05 m para 968,4 m. A figura 4-7 ilustra a situação.

Além da demonstração da técnica de remoção da barragem, Goodell et al. (2005) também apresenta gráficos desta simulação com o comportamento das concentrações de sedimentos ao longo do processo de remoção da barragem, o que permite aos simuladores e planejadores avaliar a eficácia das alternativas propostas para minimizar os impactos e realizar alterações na simulação para se obter melhores resultados.

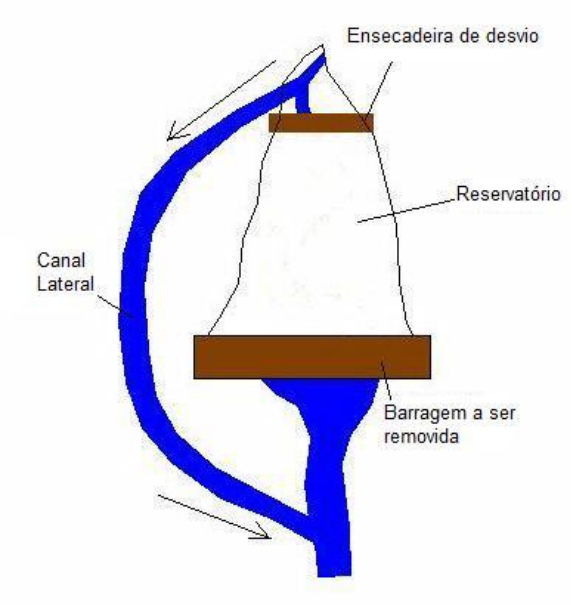


**Figura 4-6 – Exemplo de Canal By-Pass (GOODELL, et al., 2005)**

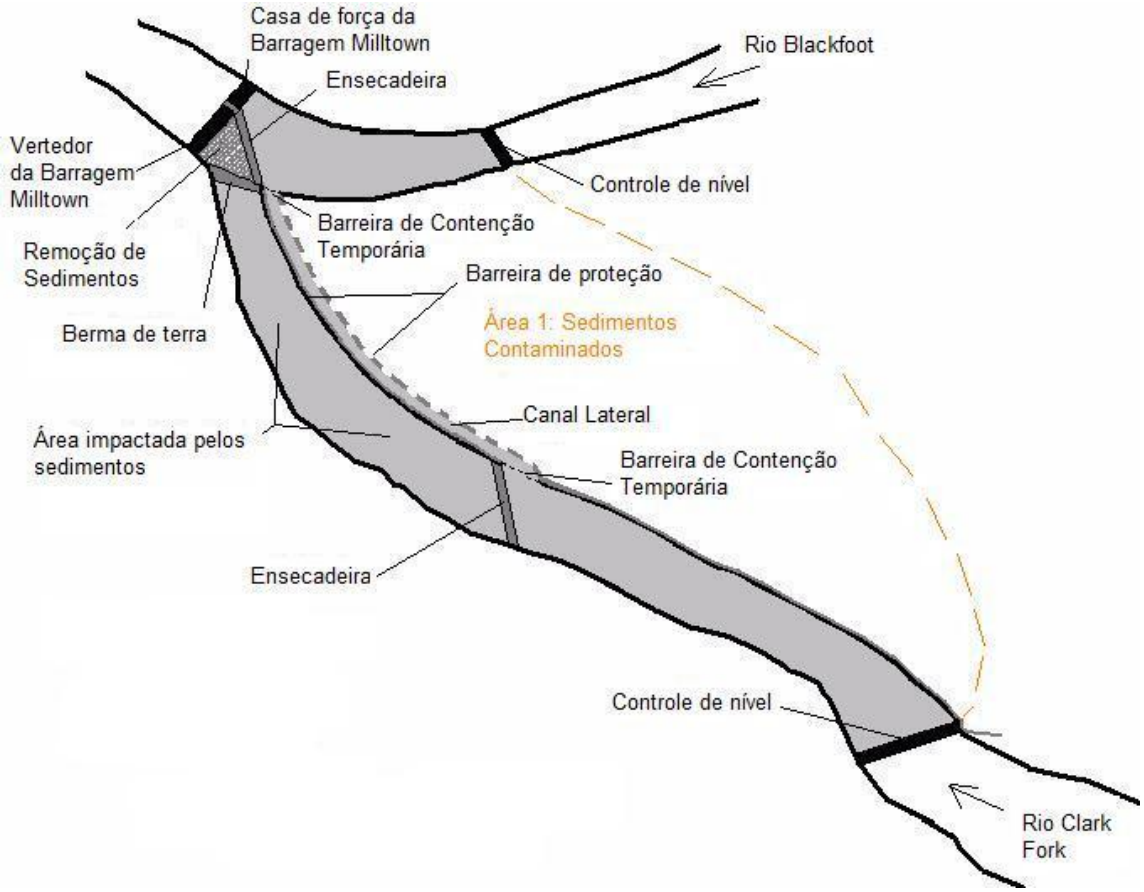


**Figura 4-7 – Canal By-Pass proposto para a barragem Milltown (GOODELL, et al., 2005)**

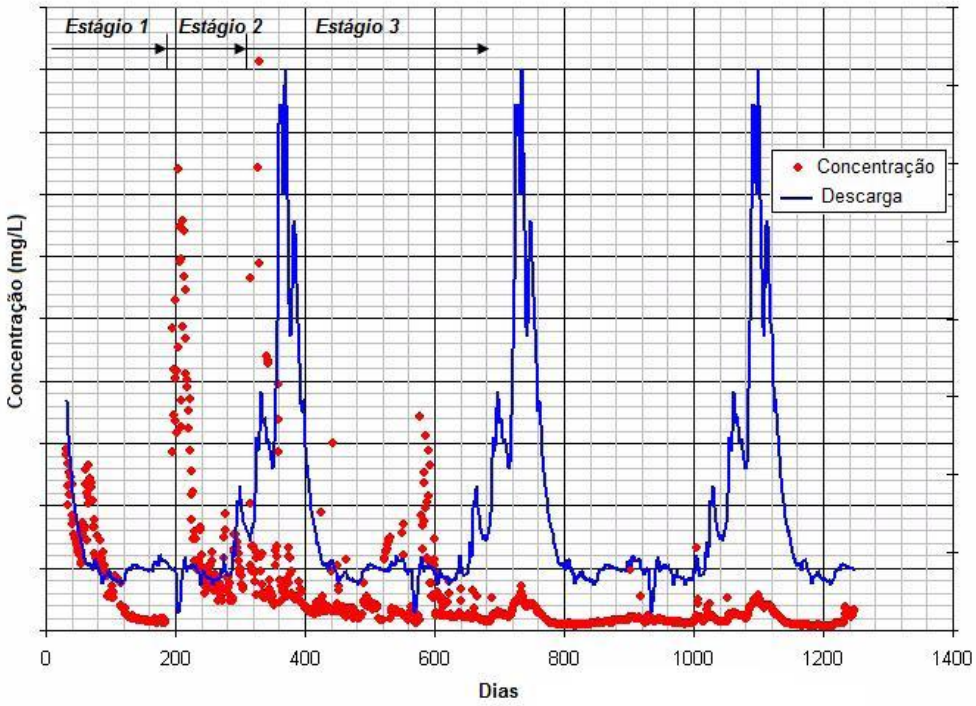


**Figura 4-8 – Concentração de sedimentos e vazões na simulação de descomissionamento (GOODELL, et al., 2005)**

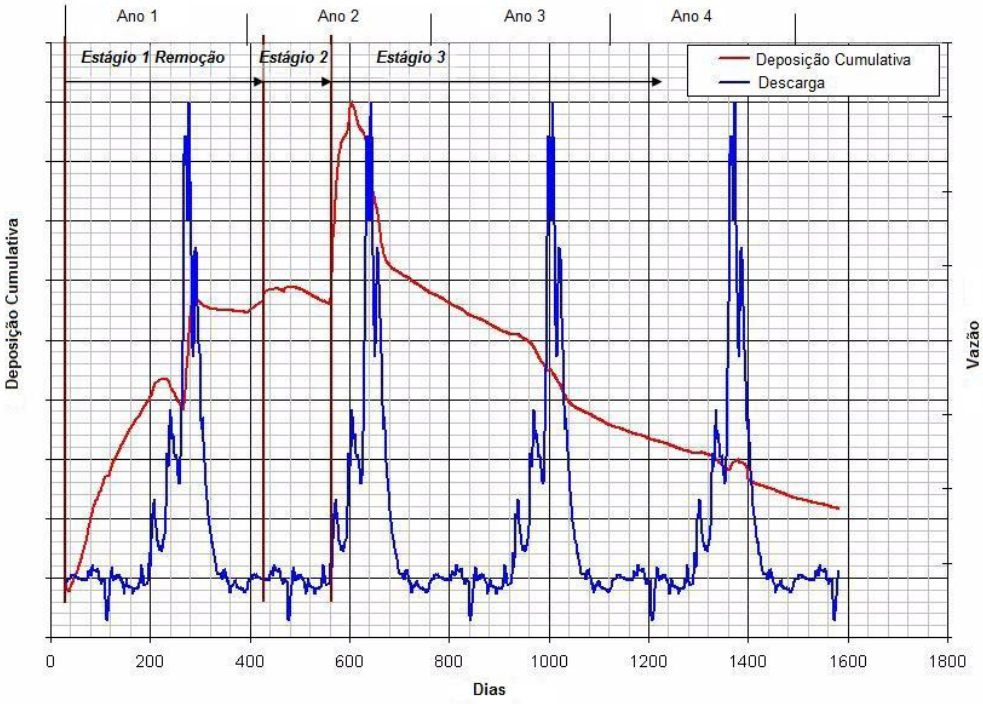


**Figura 4-9 – Resultado da Simulação da acumulação de sedimentos ao longo dos anos (GOODELL, et al., 2005)**

É possível perceber pela figura 4-9 que haveria deposição na seção a jusante de barragem e seu ápice ocorreria no segundo ano após a remoção. Entretanto, no final do quarto ano o leito do rio teria sua elevação quase igual ao seu valor antes da remoção da barragem. Nesta simulação, tal comportamento demonstra que o leito do rio a jusante da barragem se recuperaria rapidamente do acúmulo de sedimentos proveniente da remoção da barragem,

Assim, é possível concluir que o uso do modelo HEC-6 pode ser utilizado para avaliação o impacto da concentração de sedimentos como uma ferramenta inicial. Recomenda-se o uso de outras ferramentas complementares para estimar o cenário futuro pós-remoção de barragem, já que algumas condições do HEC-6 não são respeitadas no desenvolver de uma remoção de barragem, por exemplo o talvegue do rio passa a ser múltiplo, fato este que não é observado na simulação do modelo.

Modelos matemáticos são ferramentas poderosas para simular cenários de remoção de barragem e o comportamento dos sedimentos. Podem ser avaliadas as concentrações de sedimentos e, caso tais concentrações não sejam toleráveis, os planejadores podem optar por remoção mecânica, mesmo que parcial, dos sedimentos de modo a abaixar a concentração de sedimentos para um patamar aceitável.

## 4.8 TÉCNICA DE HIDROSUCÇÃO DE SEDIMENTOS

Uma técnica para a remoção de sedimentos de um reservatório é o Sistema de Remoção por Hidrosucção de Sedimentos (SRHS). Sistemas convencionais de dragagem utilizam de bomba acionada mecanicamente para remover os sedimentos depositados no fundo do reservatório. Já a hidrosucção utiliza a carga hidráulica correspondente à diferença entre os níveis de montante e jusante. Existem duas variações deste método: sifão (draga) e descarga de fundo (by-pass). Atenção para o nome “descarga de fundo” no método SRHS,

que não quer dizer que serão abertas comportas de fundo, mas sim pelo fato de que a tubulação não passará por cima da barragem e sim por alguma abertura na parte baixa da mesma. O efeito sifão puxa a água e os sedimentos para a tubulação de dragagem, não necessitando assim de energia externa aplicada ao sistema. Uma extremidade da tubulação fica próxima ou em contato com os sedimentos depositados a montante e a outra extremidade da tubulação fica à jusante da barragem, conforme ilustram as figuras 4-10 e 4-11. A mistura água e sedimentos é então descarregada a jusante da barragem. Na descarga de fundo, a extremidade de jusante da tubulação passa por alguma abertura na parte baixa da barragem, e não por cima, como na descarga sifonada (HOTCHKISS, et al., 1995).

Diferentes maneiras de se manejar sedimentos de uma barragem possuem vantagens e desvantagens. Uma maneira muito simples é abrir comportas de fundo,quando existirem, e deixar o fluxo carrear os sedimentos para jusante. Entretanto, tal técnica acaba sobrecarregando o trecho de rio a jusante com sedimentos deixando a água extremamente turva e ocasionando súbitas deposições. A primeira descarga de sedimentos pode ser especialmente prejudicial devido ao material depositado imediatamente adjacente à barragem, rica em organismos e em sólidos não dissolvidos (GUTZMER, 1993 apud HITCHKISS, 1995). A técnica de descarga carregará, na maioria dos casos, muitos sedimentos finos. Já a técnica SRHS pode superar alguns destes problemas liberando somente a quantidade de sedimentos compatível com a capacidade de transporte do fluxo naquele instante. No modo draga, os sedimentos podem ser removidos e com utilização de filtros, a granulometria desejada para se lançar a jusante pode ser escolhida, assumindo que tais sedimentos não estejam contaminados. A descarga de sedimentos é feita de maneira constante e duradoura, buscando sempre manter uma boa capacidade de transporte de sedimentos, evitando uma variação brusca na quantidade transportada, característico das técnicas de abertura de comportas de fundo. Com uma menor quantidade de água utilizada pelo método SRHS o reservatório pode manter sua quantidade de água armazenada.

No modo by-pass, uma estrutura de desvio de sedimentos é instalada na cabeceira do reservatório, evitando que os sedimentos se acumulem no

reservatório. Se o SRHS by-pass for instalado na ocasião da construção do reservatório, sua vida útil será prolongada consideravelmente.

Independentemente do método que reintroduz sedimentos a jusante, a turbidez da água aumentará. O objetivo do SRHS é restaurar as condições de jusante anteriores à barragem através da soltura de sedimentos de acordo com a capacidade de transporte. Se as condições de jusantes sofrerem alterações, o SRHS também pode ser alterado para atender a capacidade de transporte de sedimentos naquele momento.

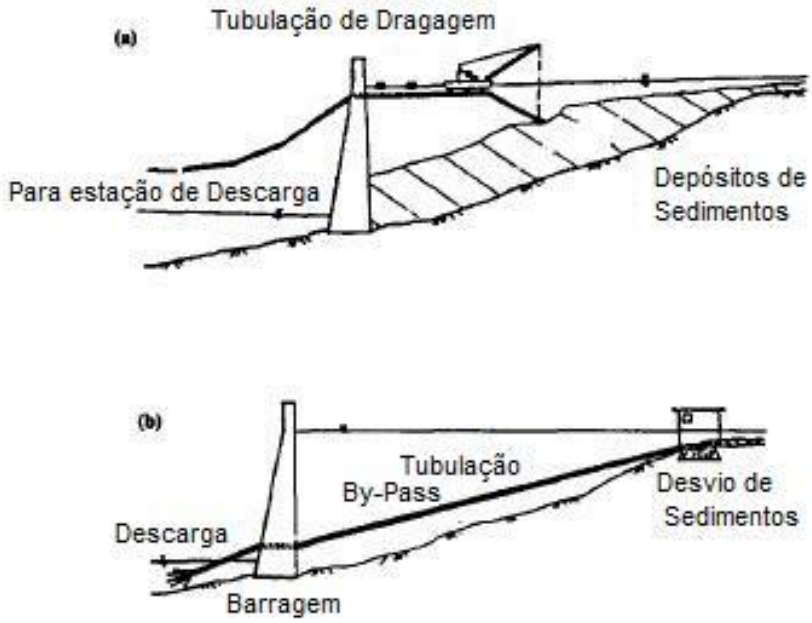


**Figura 4-10- Sistema de Remoção por Hidrosucção de Sedimentos (SRHS). (a) draga de hidrosucção; (b) hidrosucção com by-pass. (HOTCHKISS, et al., 1995)**

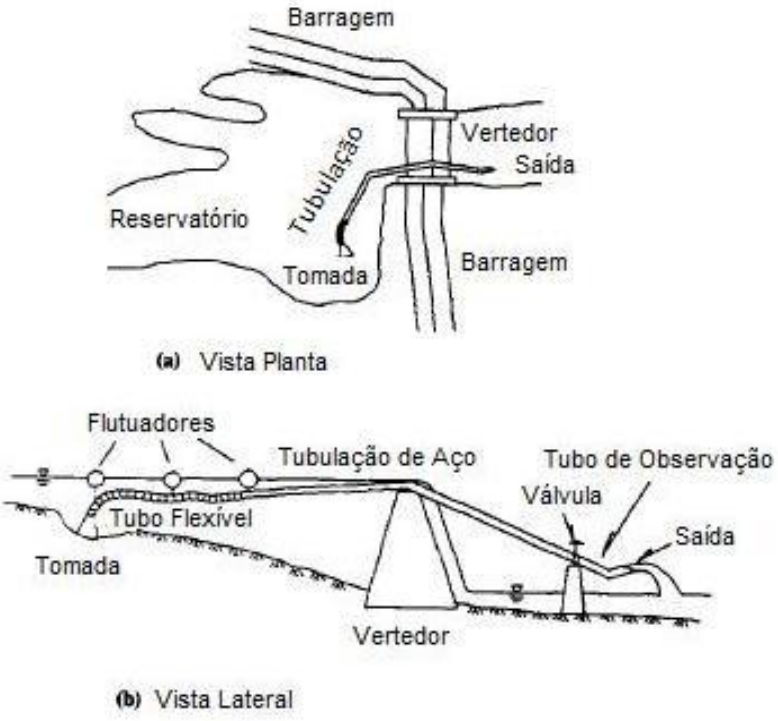


**Figura 4-11 – Sistema de Remoção por Hidrosucção de Sedimentos (HOTCHKISS, et al., 1995)**

## 4.9 BARRAGEM QUINTA AVENIDA

Este caso não se trata de um exemplo de Descomissionamento efetivo, mas sim de um estudo de caso onde foi proposta a remoção da estrutura.

A barragem de baixa queda Quinta Avenida foi construída em 1935 para fornecer água de refrigeração à usina da Universidade Estadual de Ohio. A estrutura já não era mais necessária devido à maior eficiência da usina e às alterações ambientais que foram impostas à usina. Mesmo assim, após uma ampliação nos anos 1960, passou a ter 145 m de comprimento e 2,5 m de altura. E em 1999 passou por inspeção pela qual não foram constatadas condições que a colocassem em risco apesar de alguns sinais de deterioração do concreto (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004).

Os efeitos da barragem, que tem baixa queda, são bastante evidentes a montante. Em 1999 a Agência de Proteção Ambiental de Ohio monitorou a água a montante da barragem que, por não atingir os níveis mínimos de qualidade, recebeu não conformidade de qualidade de habitat, assim como a área adjacente ao campus da universidade estadual de Ohio.

A presença de tal barragem impede a formação das corredeiras e piscinas naturais, consideradas necessárias para o bom habitat de peixes e macro-invertebrados. Também impede o curso d'água de assimilar descargas de efluentes orgânicos, que acabam ficando concentrados no reservatório.

Com o propósito de estimativa de custo inicial, reserva de fundos e recursos, a alternativa para a solução destes problemas foi proposta: Remoção da barragem e restauração do rio, promovendo diversidade de peixes e vida aquática assim como eliminar correntes submersas que ameaçam canoístas e pescadores. Alternativas igualmente consideradas no estudo de viabilidade e que podem levar a uma mudança no projeto proposto incluem cortar um entalhe na barragem permitindo a passagem de mais água e vida aquática com segurança, através de um canal lateral, ou possivelmente criar uma escada de pedras para passagem de peixes.

No estudo proposto da barragem Quinta Avenida foram identificados potenciais cenários de modificações e remoção de barragem para se avaliar os impactos positivos e negativos nos âmbitos sociais, econômicos e ambientais associados a essas modificações. As alternativas consideradas neste estudo são:

Sem ação – esta alternativa não modificaria a barragem de baixa queda. Não haveria ações de melhoria na segurança da barragem e as estruturas iriam permanecer nas mesmas condições iniciais.

Remoção da barragem – Essa alternativa prevê a remoção completa da barragem de baixa queda do rio Olentangy. A estrutura provém apenas uso recreacional do reservatório.

Modificação da Barragem – Nesta alternativa foram contemplados:

Abertura de um chanfro na barragem

Adição de escada de peixes

Adição de canal lateral (by-pass) para passagem de peixes e/ou possivelmente caminhões-tanque

Qualquer modificação que resultasse numa melhoria da vida aquática

Escada de pedra – Esta alternativa considera a instalação de rochas de tamanhos adequados na face de jusante para permitir a passagem de peixes.

Baseado em informações existentes, o projeto inicialmente proposto de programar o cronograma e custos foi baseado na remoção da barragem. Essa informação foi desenvolvida para permitir o planejamento adequado dos fundos e recursos financeiros, mas não significa que o resultado final da viabilidade foi pré-determinado. Todas as soluções aceitáveis para melhorar o ecossistema do rio em questão foram consideradas e tratadas de maneira igual no que diz respeito à análise de viabilidade. Este conceito de análise de alternativas foi apoiado pelos financiadores e pelo grupo conselheiro do projeto. Enquanto a alternativa de remoção de barragem provavelmente traz os maiores benefícios para o rio e seu ecossistema e restaura o rio para um estado mais natural, ela também deve ser aquela mais viável economicamente dentre as alternativas já citadas.

Uma avaliação ambiental e uma documentação de impactos não-significativos encontrados foram entregues a Agencia Ambiental dos EUA na fase de viabilidade do projeto. Uma vez que foram introduzidas mudanças drásticas no ambiente atual daquela seção do rio, o inventário de espécies habitantes daquela bacia hidrográfica foi revisto e destacadas as principais espécies animais e vegetais em ameaça ou risco de extinção. Entretanto, devido à pequena extensão da área de projeto e à escassez de elementos, não foi esperado que se encontrasse tais espécies no local em questão.

Os benefícios estimados com o projeto de remoção da barragem Quinta Avenida foram comparados em uma simples tabela com o estado do rio na ausência do projeto. Foram comparados extensão de rio, qualidade da água e importância do habitat.

**Tabela 4-6 - Benefícios Estimados da Remoção da Barragem Quinta Avenida (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004)**

| Tipo de Habitat | Milhas de Rio | Qualidade da Água (0-10) | Importância (1-5) | Unidade padrão de saída |
|---|---|---|---|---|
| Sem projeto (Rio Retido) | 2 | 5 | 2 | 20 |
| Com projeto (Rio Livre) | 4 | 8 | 3 | 96 |
| Benefício Líquido | | | | 76 unidades |

Os benefícios citados na tabela 4-6 teriam grandes possibilidades de serem alcançados se o projeto fosse implantado. O custo total deste projeto seria em torno de US$ 2.399.380,00, incluindo US$ 1.452.000,00 para a demolição e remoção de aproximadamente 1910 m³ de concreto e dragagem de algum sedimento em sua remoção. US$ 400.000 para estabilização de taludes e restauração de componentes aquáticos, incluindo aumento do habitat. O governo federal dos EUA assumiria 65% do custo da obra e demais instituições governamentais assumiriam os 35% restantes.

O cronograma e as despesas estimadas para a remoção da barragem neste caso foram os seguintes:

**Tabela 4-7 – Cronograma do Projeto de Remoção da Barragem 5° Avenida (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004)**

| Descrição | Duração | Data de conclusão |
|---|---|---|
| Plano Preliminar de Restauração (PPR) | 3 Meses | fev/04 |
| Revisão / Aprovação / Financiamento da Divisão de Rios de Ohio | 1 Mês | mar/04 |
| Fase de Planejamento e Análise de Projeto | 8 Meses | Nov/04 |
| Assinatura do Contrato de Cooperação de Projeto | | dez/04 |
| Aquisição Real do Estado | 2 Meses | fev/05 |
| Construção | 4 Meses | jun/05 |
| TOTAL | 18 Meses | jun/05 |

**Tabela 4-8 - Custos do Projeto para programação futura dos fundos (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004)**

| Descrição | Custo Estimado (US$) | Federal (US$) | Não-Federal (US$) |
|---|---|---|---|
| Remoção da Barragem Quinta Avenida e restauração do Rio Olentangy | 1.852.000 | 1.203.800 | 635.200 |
| Estudos na fase de viabilidade | 359.000 | 233.350 | 125.650 |
| Supervisão e Administração (7% da construção) | 129.640 | 84.266 | 45.374 |
| Custo da deposição do material escavado e dragado (2% da construção) | 38.740 | 25.181 | 13.559 |
| Aquisição de terras, taxas uso de terras alheiras, realocações, áreas de depósito. | 20.000 | 0 | 20.000 |
| CUSTO TOTAL | 2.399.380 | 1.546.597 | 839.783 |

Tais custos foram estimados para dragagem e aterro dos sedimentos da barragem da Quinta Avenida. Caso sejam encontrados sedimentos contaminados este custo seria revisado e aumentaria substancialmente.

No caso da barragem Quinta Avenida foi constatado que seu descomissionamento seria uma alternativa viável para mitigação dos impactos negativos que ela vinha trazendo, como a classificação do habitat inadequado

pelo órgão ambiental responsável nos EUA. A avaliação dos impactos da presença e ausência da barragem é um dos primeiros passos para se lançar a idéia do descomissionamento. Essa atividade deve sempre ser executada por equipes especializadas nas diversas áreas impactadas.

## 4.10 BARRAGEM SAN CLEMENTE

Desde a construção da barragem de San Clemente, em 1921, o rio Carmel e seu ecossistema sofrem com os impactos gerados pela obra. Erosão, decréscimo da população de determinados peixes, vidas e propriedades a jusante da barragem são ameaçadas por um colapso da estrutura insegura. Entretanto, atualmente existe a possibilidade de se remover esta barragem que se encontra antiquada e iniciar o processo de recuperação da bacia degradada. O Rio Carmel nasce no parque nacional Los Padres e drena 660 km² com suas cabeceiras nas montanhas Santa Lucia, as quais provêm habitat para algumas espécies consideradas ameaçadas (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010).

A barragem San Clemente possui 32 m de altura em arco de concreto, localizada a 30 km do Oceano Pacífico, no Rio Carmel e seu proprietário é a Califórnia American Water (CalAm). Hoje a capacidade do reservatório é de 10% do seu valor original, quando construída em 1921, que era de 1.757.711 m³, ou $1{,}76 \times 10^6$ hm³.

**Figura 4-12- Barragem San Clemente (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)**

Em 1990 o Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia e a Divisão de Segurança de Barragens chamaram atenção para a preocupação com a segurança da barragem num caso de terremoto ou máxima cheia possível. A CalAm foi incumbida de dar solução a este problema de segurança em sua barragem e propôs um projeto de reforço da estrutura da estrutura. Em 2006, o Departamento de Recursos Hídricos divulgou um EIA/RIMA com cinco possíveis soluções para o problema de segurança da barragem, incluindo a proposta da CalAm.

A alternativa mais viável, desvio do rio e remoção da barragem, não apenas pôs fim à questão de segurança da barragem, mas também a outros assuntos relacionados aos impactos no rio. Tal projeto apontou para os seguintes benefícios ao público:

Solução permanente para a questão da segurança da barragem;
Acesso facilitado a 40 km de rio para habitat de procriação para espécies de peixes;
Restauração dos sedimentos a jusante da barragem;

Restauração ecológica entre habitats aquáticos.

Por esses motivos, diversos órgãos trabalharam com a CalAm a fim de desenvolver uma solução viável para programar o desvio do rio e remoção da barragem. Em dezembro de 2007, o Departamento de Recursos Hídricos certificou um EIA/RIMA final e, em fevereiro de 2008, a divisão de segurança de barragens confirmou que o desvio do rio e remoção da barragem aliviaria o problema de segurança com aquela barragem.

Os custos totais da remoção da barragem e o desvio do rio foram estimados em US$ 83 milhões. Conforme o plano, a empresa responsável pela barragem pagaria o valor inicialmente proposto por ela mesma, equivalente à obra de reforço da barragem, aproximadamente US$ 49 milhões. O Instituto de Conservação da Costa da Califórnia, juntamente com o Serviço Nacional de Pesca Marinha, assegurariam cerca de US$ 39 milhões provenientes dos fundos estaduais, federais, e fundações privadas para completar o total de recursos para a remoção da barragem.

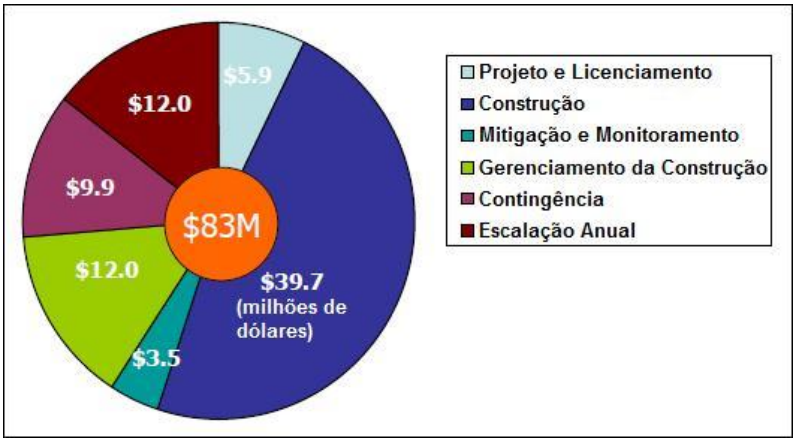


**Figura 4-13- Custos do Projeto de remoção da barragem San Clemente (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)**

Como em qualquer projeto de remoção de barragem, a preocupação com o manejo dos sedimentos é latente. Neste caso, o difícil acesso de máquinas e caminhões ao terreno descartaria a alternativa de remoção dos sedimentos. Da mesma forma, a preocupação com inundações na parte baixa do rio Carmel,

permitindo que o sedimento fosse transportado para jusante também foi descartada, já que seria pior que o efeito de uma onda de cheia, sem sedimentos. Assim, foi proposto no projeto um desvio de 800 metros que conduzisse o fluxo do rio Carmel para o Córrego San Clemente e o trecho curto-circuitado do rio Carmel entre o desvio até a barragem seria utilizado permanentemente para acúmulo de sedimentos.

O projeto de desvio do fluxo do rio Carmel para o córrego San Clemente foi considerado uma boa opção devido à proximidade entre os dois cursos d'água. A confluência de ambos localiza-se junto à barragem. Os dois cursos d'água são separados por uma estreita cumeeira, conforme ilustra a figura 4-15. Ainda nesta figura é possível perceber que o braço do rio Carmel armazena a maioria dos sedimentos do reservatório. O projeto tiraria proveito dessa situação, deixando o trecho do rio a ser curto-circuitado, já assoreado, como um depósito de sedimentos. Dessa forma os custos do projeto com remoção de sedimentos seriam drasticamente reduzidos, viabilizando-o.

Para transformar o braço do rio Carmel num depósito permanente de sedimentos, o rio deveria ser desviado para o Córrego San Clemente, a montante desta área de acúmulo de sedimentos. O canal de desvio seria aberto cortando a linha de cumeeira, atravessando-a. A rocha escavada na abertura deste canal seria utilizada na construção da estrutura que bloquearia o rio impedindo-o de avançar na área de depósito permanente de sedimentos, conforme ilustra o número 2 da figura 4-16.

Apesar de o Rio Carmel acumular a maioria dos sedimentos do reservatório, o córrego San Clemente também deveria ser escavado e seus 290.000 m³ de sedimentos lançados na área de depósito. O transporte desse sedimento seria feito por um acesso aberto na cumeeira, como mostra o número 3 da figura 4-16. Todo sedimento acumulado imediatamente atrás da barragem também será removido e alocado no depósito de sedimentos a ser criado (número 5 da figura 4-16). Uma vez que todo o sedimento estivesse no depósito, seria necessário estabilizar o declive do curso d'água para que, no caso de uma cheia, não houvesse carreamento do sedimento para jusante, conforme número 4 da figura 4-16.

O trecho do Córrego San Clemente que comportaria a vazão do Rio Carmel seria escavado até seu leito em condições pré-barragem para facilitar a subida de peixes pelo rio. Uma série de piscinas naturais seria criada com a escada de pedras a serem posicionadas no córrego.

**Figura 4-14 - Foto aérea do local da barragem (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)**

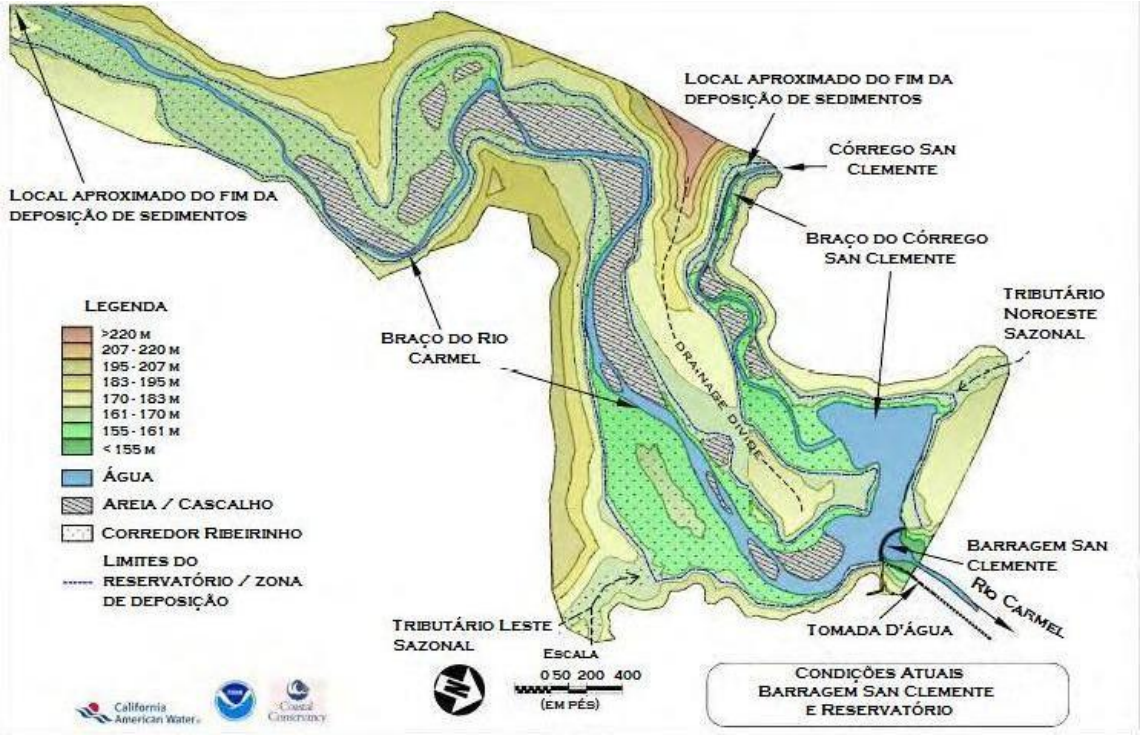


**Figura 4-15 - Esquema da situação atual (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)**

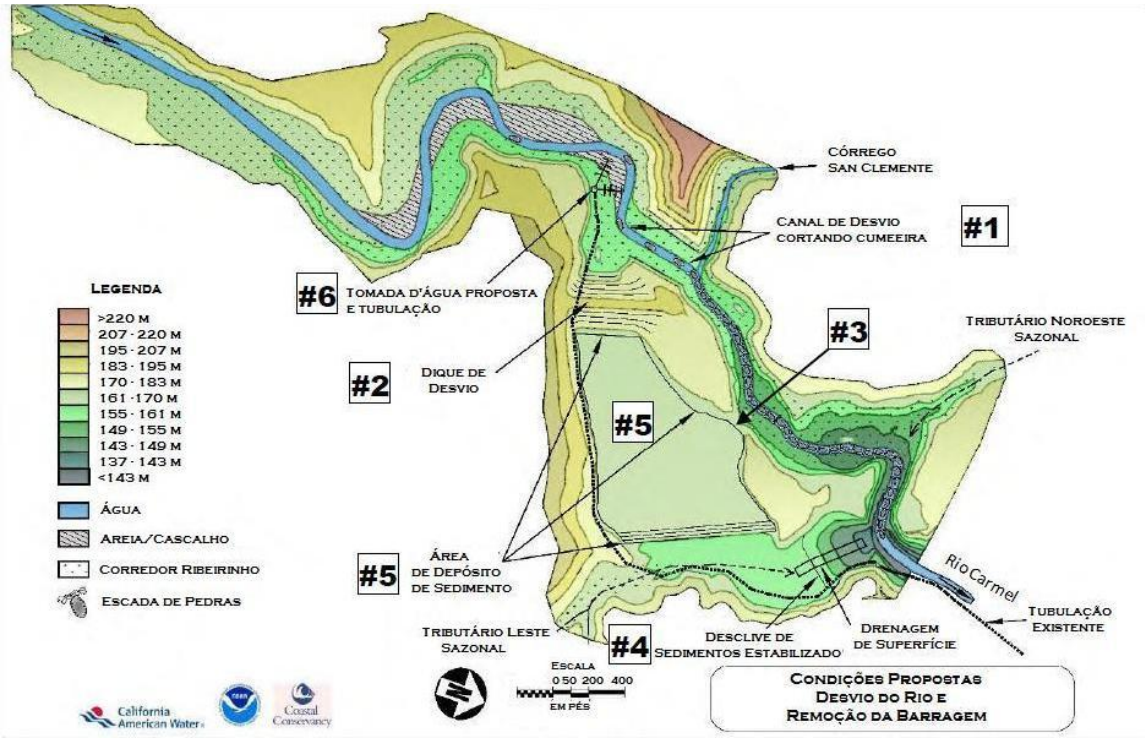


**Figura 4-16 – Esquema do Projeto (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)**

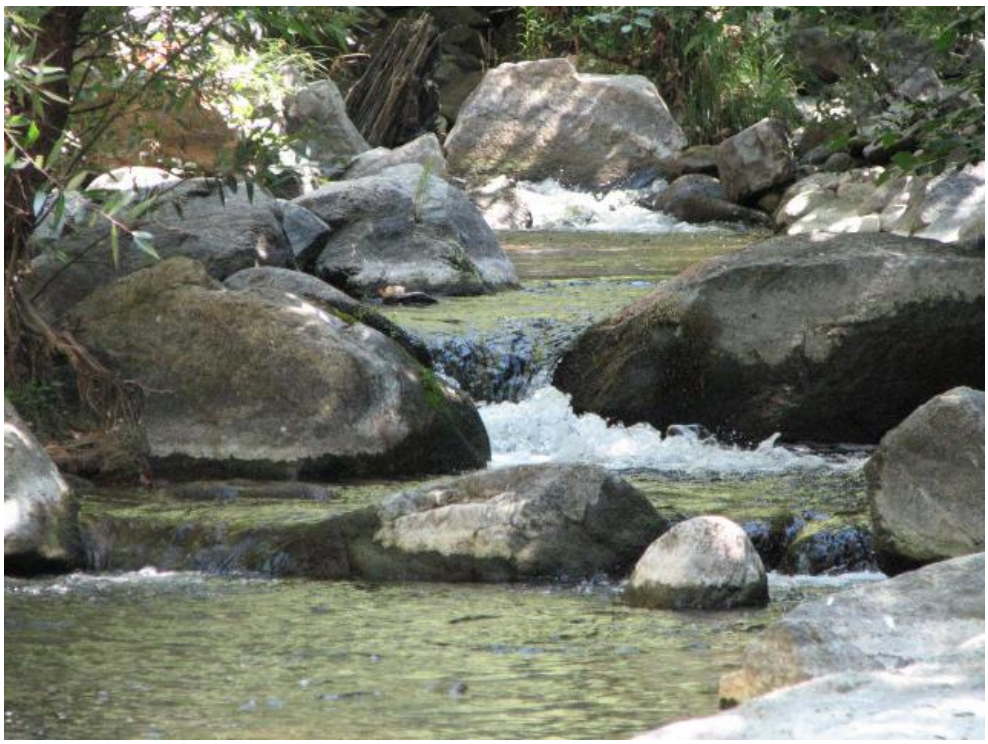

**Figura 4-17 – Escada de pedras no rio Carmel (PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE, 2010)**

Uma vez removidos todos os sedimentos, a barragem seria demolida. Os escombros de concreto seriam usados na própria obra, para estabilizar a barragem de desvio.

A barragem conta com um sangradouro que perderia sua função no momento de rebaixar o reservatório. Pensando nisso, o projeto incluiria um novo sangradouro a montante do desvio do rio que conduziria água desde o ponto de desvio até o ponto a jusante da barragem, conforme mostra o número 6 da figura 4-16.

Por fim, o projeto prevê a abertura de um chanfro na barragem de Old Carmel River, localizada a cerca de 600 metros a jusante da barragem de San Clemente. Construída em 1893 e com quase 11 metros de altura.

A realização do projeto estaria prevista para três anos, sendo restrita aos períodos de estiagem para evitar regimes caudalosos do rio e impactos às populações de peixes. Durante os anos 2 e 3 da construção, os cursos d'água do Rio Carmel e Córrego San Clemente seriam desviados ao redor do

reservatório, que seria rebaixado e esvaziado. Para os acessos ao sítio da barragem, seriam utilizadas e melhoradas as trilhas de jipe já existentes que levam ao reservatório.

O primeiro ano consistiria em melhorar os acessos de estradas ao sítio da construção, tais como área de desvio do canal e criação de estradas temporárias. No segundo ano, o canal de desvio seria construído, cortando a cumeeira, e o dique de desvio seria erguido e os sedimentos escavados do córrego San Clemente. O terceiro ano de construção incluiria reconstrução do braço do córrego San Clemente, estabilização de área de deposição de sedimentos, remoção da barragem e início de restauração de habitat. Após a conclusão do projeto no terceiro ano, foram reservadas atividades para manutenção e monitoramento da obra.

## 4.11 MARMOT DAM

Inicialmente construída pela Portland General Electric (PGE) no rio Sandy para suprir demandas de energia elétrica no ano de 1912 com seus 22 MW de potência. Em 1999, a barragem Marmot não conseguiu renovar sua licença de operação, que expiraria em 2004. A Comissão Federal Reguladora de Energia (FERC) optou pelo descomissionamento da barragem. Este processo se incumbia de remover as antigas escoras de madeira de 14 metros de altura por 58,5 metros de extensão, que sustentavam a barragem, remoção da escada de peixes, e outras estruturas. Todo o trabalho de remoção dessas estruturas levou apenas cinco meses para ser concluído durante o ano de 2008 e a restauração final do rio se daria em 2009 (KELLER, 2009).

Um dos motivos pela não renovação da licença foi a análise feita pela PGE, que concluiu que os custos de operação e manutenção continuariam a subir. Além disso, os custos para manter o nível de proteção a determinadas espécies de peixes provavelmente sobrepujariam os benefícios financeiros

trazidos pela geração de energia elétrica. As principais características do projeto da barragem são:

Barragem em concreto compactado a rolo (CCR) com 14 metros de altura e 58,5 metros de extensão. Crista do vertedor com 103,5 metros de extensão. A construção dessas estruturas foi encerrada em 1989, e vieram para substituir a antiga estrutura de madeira construída em 1913. A extremidade sul da barragem contava com uma escada de peixes enquanto que no lado norte existia uma extensão da barragem feita em concreto de gravidade, provendo adicionais 42 metros de vertedor e direcionando a água para uma estrutura de tomada. Tal tomada d'água conta com duas comportas que regulavam o desvio d'água para o canal, onde a vazão mínima sempre era atendida a jusante da barragem;

2280 metros de canal trapezoidal em concreto que transportava água da barragem Marmot através de três túneis que somavam 2538 metros de extensão que retornavam a água para o rio Little Sandy;

Barragem de desvio Little Sandy, com 4,7 metros, no rio Little Sandy, que desviava toda a água do rio para casa de força, exceto quando a vazão superava 22,65 $m^3/s$, quando o excesso era vertido;

5040 metros de calha de madeira que transportava água do rio Little Sandy para o Lago Roslyn;

Lago Roslyn, com 0,65 $km^2$, localizado 97,5 metros acima da casa de força, cercado de diques por três lados;

Dois condutos forçados com 427 metros cada, que traziam água da lago Roslyn para a casa de força, e;

A casa de força a noroeste do Lago Roslyn, onde a água era descarregada no rio Bull Run.

Em 2007, para o descomissionamento, foi implantada uma ensecadeira de montante com o propósito de garantir a demolição das estruturas de madeira

que se encontravam abandonadas dentro do rio desde a época da construção da barragem de CCR. Projetada para resistir a vazões de 70,8 m³/s e para ser galgada na época de cheia, a ensecadeira necessitou de perfuração de poços de drenagem para garantir sua estabilidade. Usando dados da época da construção da barragem de CCR, em 1989, foi estimado que fosse necessária a perfuração de um número de poços de bombeamento que somassem uma vazão de 15 a 19 m³/min para rebaixamento do nível do lençol freático.

Para a demolição da barragem Marmot em condições seguras e secas, procurou-se manter o nível do lençol freático 1 metro abaixo do nível de escavação. Na construção da ensecadeira de jusante e durante o processo de rebaixamento do nível d'água, entre esta ensecadeira e a barragem foi feito o resgate de espécies que foram transferidos para montante do rio.

Para a remoção da barragem, sedimentos aprisionados a montante foram escavados e transportados para preencher as áreas de empréstimo. Perfurações e explosões foram realizadas no barramento para sua remoção. A primeira explosão desagregou os 3 metros superiores da barragem e estes escombros foram removidos e separados para um posterior processamento, onde tal material seria utilizado para pavimentação de acessos ou enchimento de áreas de empréstimo. A segunda explosão produziu resultados bem próximos à primeira. Já a terceira explosão produziu fragmentos bem maiores que necessitaram de quebra mecânica adicional. A quarta e última explosão praticamente finalizou a remoção da barragem, restando apenas alguns poucos resquícios para serem removidos mecanicamente com a ajuda de máquinas com martelos hidráulicos, conforme ilustra a figura 4-18.

**Figura 4-18 - Remoção de parte da barragem Marmot (KELLER, 2009)**

Antes da remoção da escada de peixes, foi instalado um dispositivo de captura e transporte de peixes a montante, que funcionou de maneira redundante à escada de peixes durante cinco dias antes de sua remoção. Após sua remoção, a captura e transporte de peixes ocorreu de duas a três vezes por semana. O custo total da obra de descomissionamento foi de US$ 12,3 milhões.

# 5 ESTUDO DE CASO

Nesta etapa do trabalho foi proposta e aplicada uma metodologia de análise para o descomissionamento de barragens, que é complementar à metodologia proposta por Menescal et al. (2001). Para tal, foram utilizadas informações disponíveis em sistemas de cadastro de barramentos, particularmente o cadastro de barragens das bacias dos rios Piracicaba, rio Capivari e rio Jundiaí, também conhecidas como bacias PCJ, elaborado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) e pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO). Tal cadastro foi brevemente descrito e criticado. Suas principais características de descrição de barragens foram apresentadas e, caso fossem consideradas insuficientes, seriam acrescentadas novas categorias de classificação.

Este cadastro de barragens teve como objetivo instrumentalizar o órgão gestor de recursos hídricos com informações sobre as estruturas existentes, visando trabalhos futuros sobre a gestão do uso e da segurança destas barragens cadastradas. Para algumas barragens do cadastro foi aplicada a metodologia baseada na avaliação de potencial de risco proposta por Menescal et al. (2001), apresentada no capítulo 3.3.2 deste trabalho. Entretanto, antes de aplicada, a metodologia foi aprimorada, sendo acrescidas mais variáveis relevantes às análises de descomissionamento de barragens.

Tal como o exemplo do relatório produzido Conselho de Recreação ao Ar Livre do Canadá, citado no item 3.3.1, a proposta deste trabalho também inclui a identificação e avaliação sistemática de algumas barragens a verificar se existem algumas sujeitas ao descomissionamento.

## 5.1 O CADASTRO DE BARRAGENS DO PCJ

O cadastro de barragens das bacias PCJ surgiu para caracterizar os problemas das barragens daquelas bacias após alguns acidentes envolvendo rompimento de barragens e inundações. A caracterização dos problemas estruturais e hidráulicos foi feita através de levantamento de campo e inspeções nos barramentos. Verificação de documentação técnica das barragens, inspeção fotográfica de anomalias também fizeram parte da elaboração do cadastro de barragens.

Como priorização na seleção das barragens inspecionadas, foram escolhidas aquelas que oferecessem risco potencial contra vidas humanas, barragens localizadas em municípios com maior densidade populacional e ainda aquelas com capacidade de amortecimento de cheias, por exemplo.

Inicialmente, na confecção do cadastro, foi levantada grande quantidade de barragens nas bacias PCJ. Após algumas filtragens, buscando os barramentos de maior importância para serem analisados, a lista de barramentos apontados para compor o cadastro e para vistoria reduziu de 900 para 200.

Realizado o cadastro e avaliação dos barramentos selecionados, suas informações sobre o estado de conservação, sua situação com relação à manutenção, dados administrativos, dimensionamento hidráulico adequado, foram colocadas em um banco de dados, que serviu de fonte para a elaboração deste trabalho.

A seguir são exibidas as categorias de dados que constam no cadastro de barragens das bacias PCJ. Todas as categorias elencadas contêm subdivisões, que permitem localizar outras informações, quando existentes, necessárias para aplicação da metodologia de avaliação de potencial de risco.

Proprietário
Informações gerais
Documentação
Informações hidrológicas

Barragem principal
Sangradouro / Vertedouro
Tomada d'água
Drenagens
Revestimento e instrumentação
Usos atuais
Áreas
Aspectos de gestão
Responsável pela barragem
Responsável pelo cadastro
Inspeção de segurança
Responsável pela revisão técnica
Fotos
Croquis

As figuras 5-1 até 5-4, a seguir, exemplificam as telas do cadastro de barragens das bacias PCJ com as respectivas categorias de dados citados anteriormente. Tais figuras representam bem a situação geral do cadastro, o qual contém campos sucintos para certos dados e não contém todos os campos de informação preenchidos. Por outro lado, o espaço reservado para as fotos pode mostrar detalhes que não são descritos em outros campos de informações. De certa forma o campo reservado para fotos ajuda a compor o quadro de análise da situação das barragens analisadas.

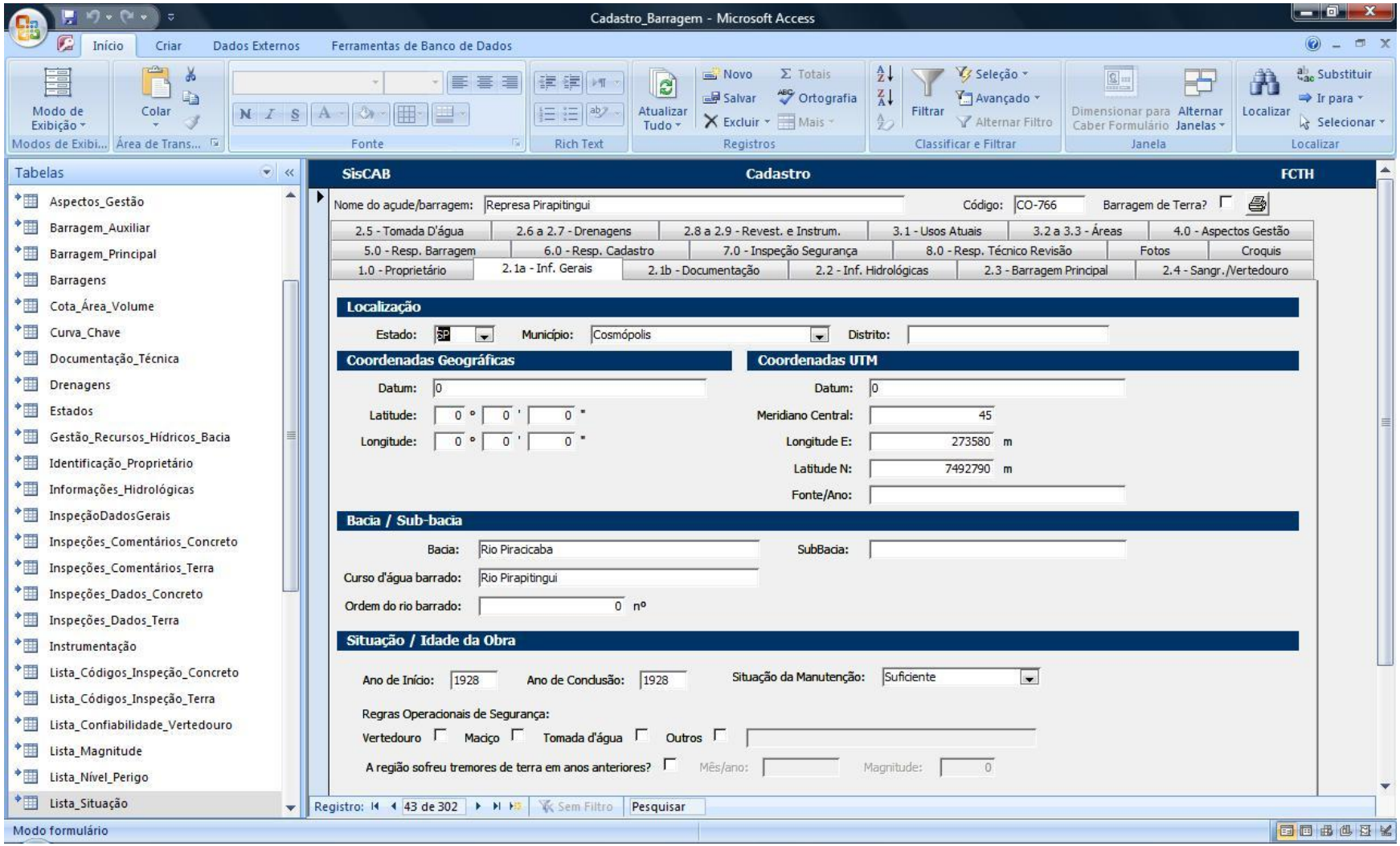


**Figura 5-1 - Ilustração do Cadastro de Barragens - Informações Gerais (ENGECORPS, et al., 2005)**

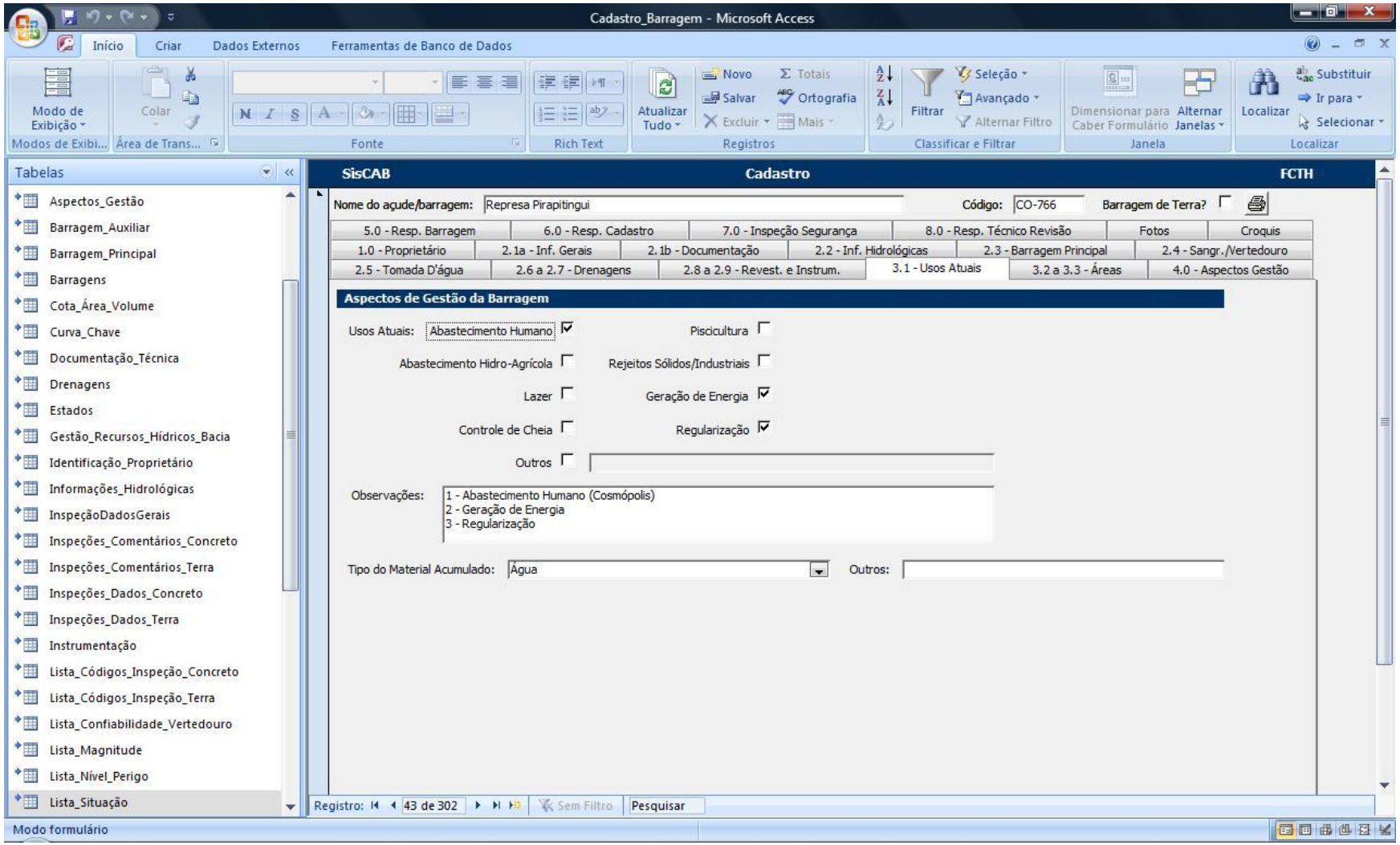


**Figura 5-2 – Ilustração do Cadastro de Barragens – Usos Atuais (ENGECORPS, et al., 2005)**

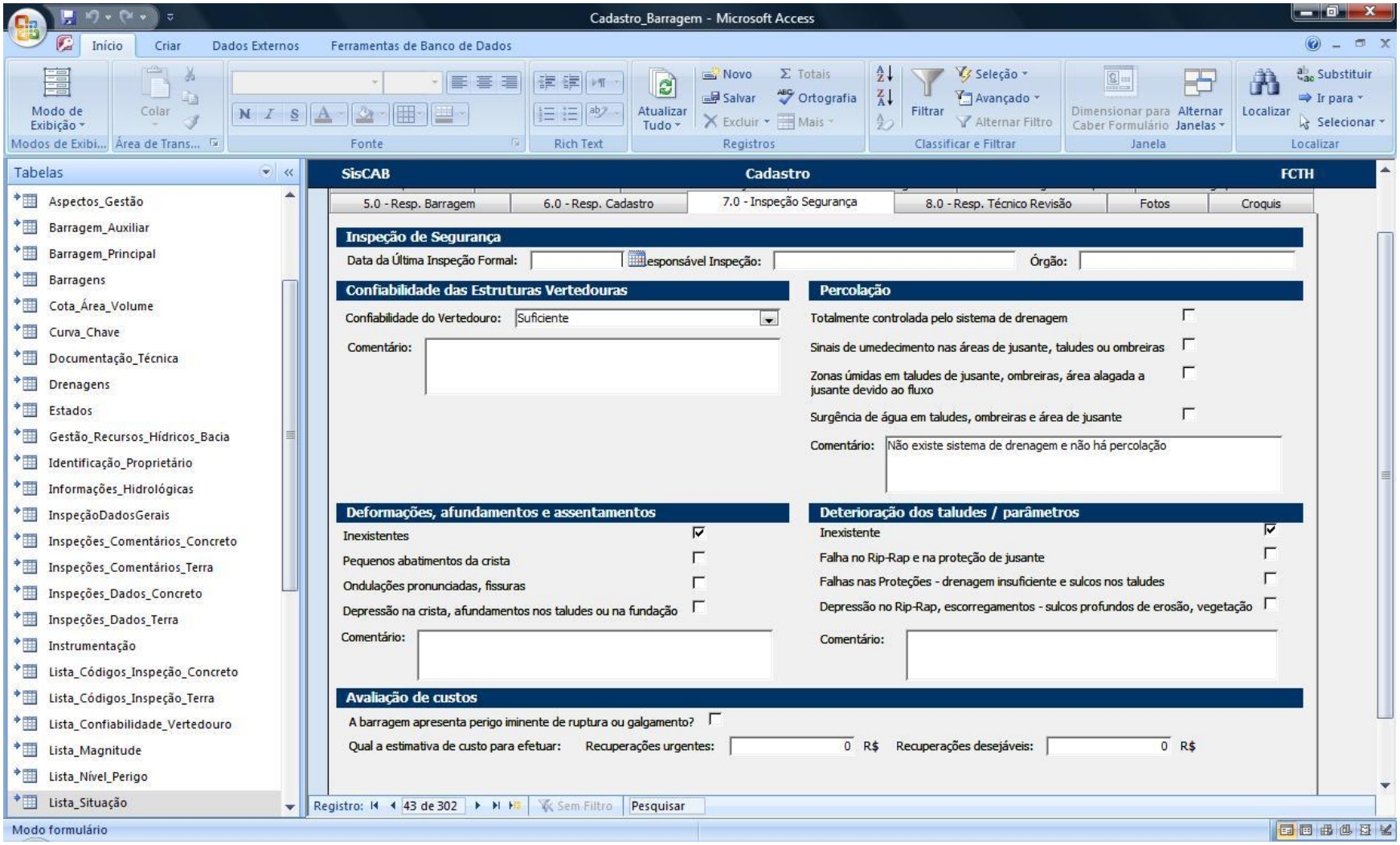


**Figura 5-3 – Ilustração do Cadastro de Barragens – Inspeção Segurança (ENGECORPS, et al., 2005)**

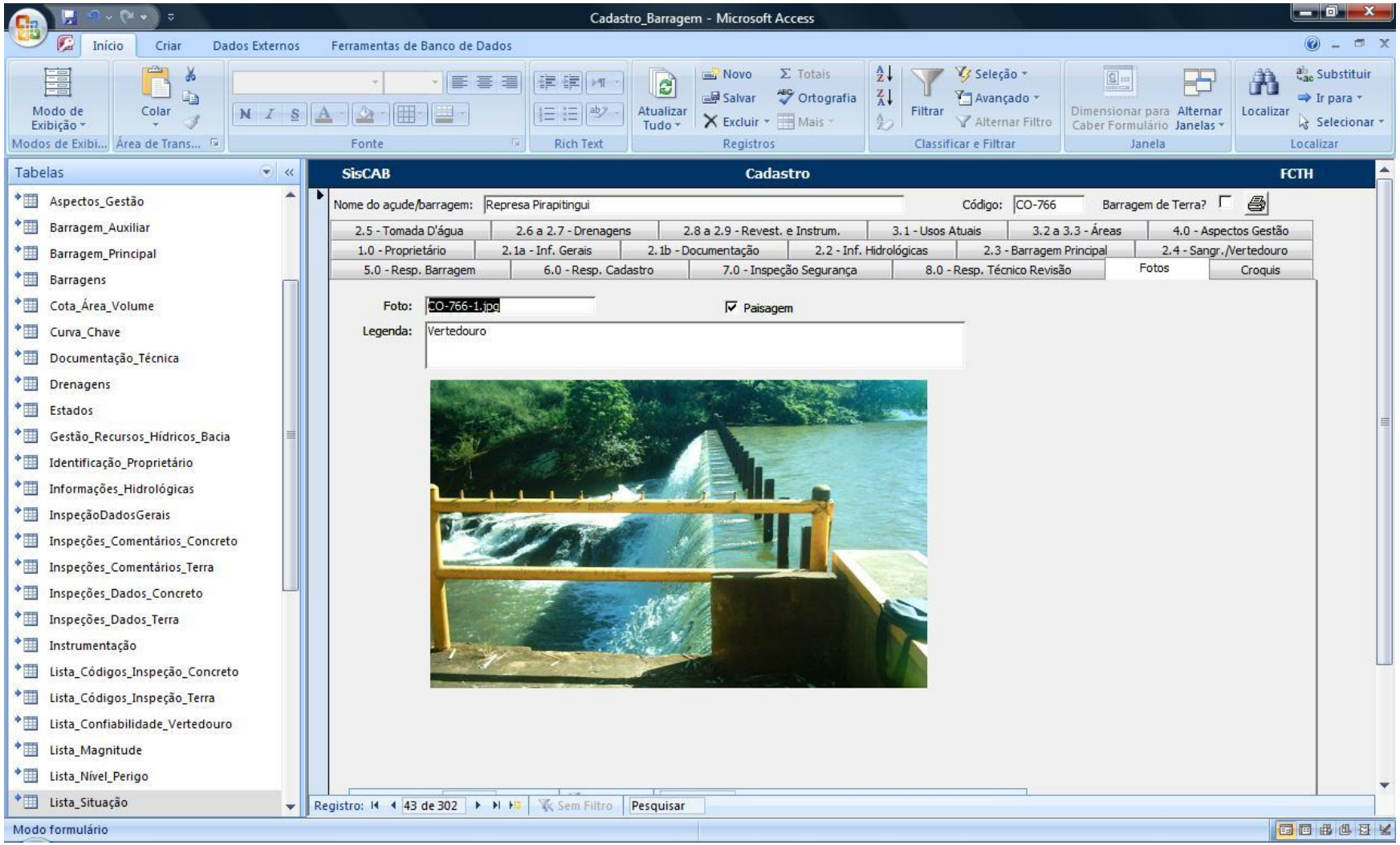


**Figura 5-4 - Ilustração do Cadastro de Barragens – Fotos (ENGECORPS, et al., 2005)**

A categoria “Barragem Principal”, ilustrada na figura 5-1 contém dados sobre a extensão e altura do barramento, bem como volume do reservatório. Já a categoria “Usos Atuais” na figura 5-2 foi importante na avaliação da Importância Estratégica da barragem em questão. Na figura 5-3, as informações sobre a “Inspeção de Segurança” serviu na determinação da Vulnerabilidade da barragem. Todas essas informações ajudaram a compor o Potencial de Risco, de acordo com a metodologia que será apresentada no item 5.2 deste trabalho.

Todas as informações cadastrais seriam de grande utilidade se estivessem totalmente preenchidas, o que não ocorre no cadastro. Outras informações também poderiam constar no cadastro, complementando aquelas não apenas referentes à barragem em si, mas aos impactos diretos e indiretos causados pela barragem ao meio ambiente e a economia e a sociedade envolvida.

Baseado nos casos de descomissionamento de outros países e em suas respectivas peculiaridades ficou claro que o cadastro de barragens da bacia do PCJ explora muito superficialmente as características sócio-econômico-ambiental de cada barramento. Embora os levantamentos das características técnicas dos barramentos sejam satisfatórios, não é possível extrapolar informações que satisfaçam alguns questionamentos levantados em casos passados de descomissionamento de outros países.

Uma série de questões baseada em casos de descomissionamento passados é apresentada a seguir na tabela 5-1, para auxiliar na caracterização não-técnica das barragens e, por conseqüência, auxiliar no processo de tomada de decisão no descomissionamento dos barramentos quando este é proposto (Sentinelles Petitcodiac Riverkeeper, 2002). Com base nesta e outras experiências internacionais, pode-se recomendar que cadastros desta natureza devam conter um relatório individual por barragem, expondo um pouco de sua história nos âmbitos sócio-econômico-ambiental e não tão somente suas características técnicas.

**Tabela 5-1: Questões a serem consideradas no descomissionamento e suas categorias (SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER, 2002)**

| | Questões a se considerar | Ambiental | Econômica | Engenharia | Social |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Qual é a condição de segurança da barragem? | | | X | X |
| 2 | Quais são os custos para manter a barragem segura (reparos, seguro, OM, dragagem periódica, licenciamento)? | | X | X | X |
| 3 | Há alguém clamando a propriedade da barragem abandonada? Caso não, quem é o proprietário das terras onde ela se encontra? | | X | | X |
| 4 | Originalmente qual era o uso da barragem? Qual propósito ela atende hoje? | | X | | X |
| 5 | O reservatório contribui diretamente para a economia local? | X | X | | X |
| 6 | Qual a história da área quando a barragem foi construída? Quais aspectos históricos da barragem, dos arredores da comunidade e indústrias podem ser representados através de uma série de painéis representativos ou placas? | | X | | X |
| 7 | Um projeto recreacional seria apoiado pelos residentes e pelas autoridades municipais? | | X | | X |
| 8 | Há interesse na comunidade em participar do projeto de descomissionamento? Quem manteria o local após sua criação? | | X | | X |
| 9 | Qual é o grau de compreensão da comunidade sobre a barragem e o rio? | | | | X |
| 10 | Qual é a atitude da comunidade frente à barragem e o rio? | | | | X |
| 11 | Quem são os acionistas na decisão de se remover a barragem? | | X | | X |

| | Questões a se considerar | Ambiental | Econômica | Engenharia | Social |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | Quais pessoas ou grupos são beneficiados pela barragem (incluindo indivíduos, empresas ou organizações)? Como eles se beneficiam (economicamente, qualidade de vida)? | | X | | X |
| 13 | Quais são os custos totais do projeto? Há fundos disponíveis para os custos da remoção da barragem e restauração do local? | X | X | | X |
| 14 | O reservatório contribui positivamente para qualidades estéticas? Negativamente? | X | | | |
| 15 | Quantas propriedades ou empreendimentos há no reservatório? | | X | | X |
| 16 | A barragem tem papel importante na contenção de cheias? | | | X | X |
| 17 | O que aconteceria se a barragem falhasse por conta própria? Quais seriam os impactos ambientais e nas propriedades a jusante? Quem seria responsabilizado(s)? | X | X | X | X |
| 18 | Há preocupações com responsabilidades civis durante o processo de remoção da barragem? | | X | X | X |
| 19 | Quais são os impactos da remoção nas infra-estruturas arredores? | | X | X | X |
| 20 | Que tipo de muro de proteção será necessário para se evitar erosão? | | X | X | |
| 21 | De que forma a existência da barragem e sua remoção afetam as condições de enchente da área? O que acontece durante uma chuva torrencial? | | X | X | |
| 22 | Há alguma propriedade a jusante da barragem que possa ser afetada pela sua remoção? | | X | X | X |
| 23 | Quem terá a propriedade das terras até então alagadas? | | X | | X |
| 24 | Haverá mudança nos valores das propriedades no entorno do reservatório? Valorizará? | | X | | X |

| | Questões a se considerar | Ambiental | Econômica | Engenharia | Social |
|---|---|---|---|---|---|
| 25 | Haverá aumento de acesso público a essas propriedades com a remoção da barragem? Os proprietários concordam com esse aumento? | | X | | X |
| 26 | Quais são os benefícios econômicos com o uso recreacional do reservatório? O rio restaurado proporcionará mais oportunidades recreacionais? | | X | | X |
| 27 | A restauração das terras através da remoção da barragem poderia ajudar a revitalizar as áreas marginais ao rio? | X | X | X | X |
| 28 | Quais são os impactos da remoção na drenagem de tempestades ao redor da barragem? | | X | X | |
| 29 | Há acesso de ambos os lados da barragem para os maquinários realizarem a remoção da barragem? | | X | X | |
| 30 | Quais são as condições do ecossistema a montante e a jusante da barragem? | X | | | |
| 31 | Qual a importância que a comunidade dá às espécies e aos habitat? | X | | | X |
| 32 | Quais tipos de indústrias existiam nas imediações do reservatório na época de sua criação? Quais tipos de indústrias existem hoje em seus arredores? | X | X | | |
| 33 | Que tipo de poluentes tais indústrias produziram que poderiam ter se acumulado no reservatório? | X | | | |

Na hipótese de se decidir realizar o descomissionamento, estas informações complementariam de forma vigorosa o conhecimento da situação de cada barragem que, no caso atual, encontra-se em estado superficial.

O cadastro de barragens das bacias PCJ contempla um histórico de vistorias às barragens, onde foram verificadas anomalias em seus funcionamentos. Dessas anomalias, surgiram códigos de identificação da situação, magnitude e nível de perigo que tais anomalias oferecem.

**Tabela 5-2: Códigos da situação da anomalia da barragem (ENGECORPS, et al., (2005)**

| Código | Situação da anomalia |
|---|---|
| NA | Não Aplicável |
| NE | Não Existente |
| PV | Primeira Vez |
| DS | Desapareceu |
| DI | Diminuiu |
| PC | Permaneceu Constante |
| AU | Aumentou |
| NI | Não Inspecionado (Justificar) |

**Tabela 5-3: Magnitude da anomalia da barragem (ENGECORPS, et al., (2005)**

| Código | Magnitude da anomalia |
|---|---|
| I | Insignificante |
| P | Pequena |
| M | Média |
| G | Grande |

**Tabela 5-4: Nível de perigo da anomalia da barragem (ENGECORPS, et al., (2005)**

| Código | Nível de Perigo |
|---|---|
| 0 | Nenhum |
| 1 | Atenção |
| 2 | Alerta |
| 3 | Emergência |

A partir do relatório de Cadastramento e Avaliação de Barramentos das Bacias PCJ, foram tomados cinco casos para aplicação da metodologia de avaliação do potencial de risco. As barragens escolhidas foram aquelas que apresentem maior possibilidade de aplicação da metodologia proposta, isto é, aquelas que possuíssem cadastro com maior quantidade de dados preenchidos.

Analisando o banco de dados, verificou-se que a quantidade de campos para se preencher com informações técnicas estava razoavelmente adequada, com diversos tipos de informações. Entretanto, na grande maioria dos casos, tais campos encontravam-se vazios. Seja por ausência de dados ou dificuldade de acesso a eles, o cadastro de barragens encontra-se bastante subutilizado. Para utilizar todo seu potencial, seria conveniente uma pesquisa mais aprofundada com novas visitas de campo para preenchimento da maior quantidade possível de informações.

Quase todo o cadastro é composto por barragens de aterro. Há algumas raras exceções de barragem de concreto. Foram levantadas as informações sobre os tipos de usos que se faziam na época do cadastro.

**Tabela 5-5 - Usos das águas dos reservatórios (ENGECORPS, et al., (2005)**

| Usos | Sim | Não |
|---|---|---|
| Abastecimento Humano | 26 | 176 |
| Abastecimento Agrícola | 34 | 168 |
| Lazer | 64 | 138 |
| Controle de cheia | 68 | 134 |
| Piscicultura | 27 | 175 |
| Rejeitos Sólidos Industriais | 1 | 201 |
| Geração Energia | 2 | 200 |
| Regularização | 9 | 193 |
| Outros | 26 | 177 |

**Tabela 5-6 - Comprimento das barragens (ENGECORPS, et al., (2005)**

| Comprimento (m) | Quantidade |
|---|---|
| Até 30 | 15 |
| 30 a 70 | 45 |
| 71 a 150 | 92 |
| 151 a 300 | 34 |
| Acima de 300 | 7 |
| Média (m) | 125 |

Vale ressaltar que, das barragens de até 30 metros de comprimento citadas na tabela 5-6, existem algumas com comprimento zero que, na verdade, nem são consideradas barragens. Podem ser lagos ou lagoas utilizados como fonte de recurso hídrico. O mesmo vale para as algumas barragens que tenham zero metro de altura, inclusas na categoria de barragens com até 1,5 metros de altura, na tabela 5-7 apresentada a seguir.

.

**Tabela 5-7 - Altura das barragens (ENGECORPS, et al., (2005)**

| Altura (m) | Quantidade |
|---|---|
| Até 1,5 | 34 |
| 1,6 a 4,0 | 103 |
| 4,1 a 10 | 54 |
| Acima de 10 | 2 |
| Média (m) | 3,5 |

Dentre as barragens pertencentes ao cadastro, existe uma quantidade considerável que oferece algum risco potencial a jusante. E, conforme citado anteriormente, as populações de jusante deveriam ser classificadas de acordo com o zoneamento proposto por VISEU (2006).

A tabela 5-8 apresenta as barragens que se situam próximas aos municípios e à população de jusante em risco no caso de falha. Embora o cadastro de barragens disponha de estimativas de quantas pessoas situam-se a jusante, não informa a que distância estas populações se encontram. Seria interessante a

incorporação de tal informação no cadastro para se determinar o zoneamento das áreas de risco, auxiliar na elaboração de um plano emergencial de evacuação do terreno no caso de falha das barragens e também seria útil na tomada de decisão do descomissionamento caso venha a acontecer com determinada barragem.

**Tabela 5-8 - Locais ameaçados a jusante (ENGECORPS, et al., (2005)**

| ID Barragem | Nome Barragem | Cidades Texto | Município | População (habitantes) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Desconhecido | Perímetro Urbano | Rio Claro | 5000 |
| 6 | Harmonia | Perímetro Urbano | Sta. Gertrudes | 1000 |
| 13 | Lagoa Biris | Perímetro urbano | Charqueadas | 5000 |
| 18 | Desconhecido | Pequenos Sítios | São Pedro | 500 |
| 19 | Maria Angélica | Perímetro urbano | São Pedro | 5000 |
| 25 | Lagoa Generoso | Condomínio | Piracicaba | 500 |
| 27 | Caterpillar | Bairro Monte Alegre | Piracicaba | 500 |
| 39 | Barro Preto | Perímetro urbano | Cordeirópolis | 1000 |
| 41 | | Perímetro urbano | Cordeirópolis | 1000 |
| 52 | Usina do Rio Atibaia | Condomínios e sítios | Atibaia | |
| 53 | Hotel | Perímetro urbano | Atibaia | 100 |
| 55 | Desconhecido | Perímetro urbano | Atibaia | 1000 |
| 59 | Santo Inácio | Perímetro Urbano a 1500 m | Jarinu | |
| 62 | Pesqueiro Biazi | | Louvreira | |
| 66 | Represa I | Bairro | Vinhedo | 160 |
| 73 | Caxambu | Bairro Caxambu | Jundiaí | 2500 |
| 75 | Desconhecido | Bairro Alvorada e Setor industrial | Jundiaí | 2500 |
| 76 | Desconhecido | Bairro Alvorada e Setor industrial | Jundiaí | 2500 |
| 77 | Faz. Rio das Pedras | Condomínio em Implantação | Jundiaí | 1000 |
| 94 | Desconhecido | Área urbana | Indaiatuba | 1600 |
| 96 | Jacarandas | Localizada dentro do condomínio | Indaiatuba | 200 |
| 97 | Araramas | Área urbana | Indaiatuba | 100 |
| 118 | Parque Ecológico Hermógenes Leitão Filho | Bairro Cidade Universitária | Campinas | 100 |
| 120 | Desconhecido | | Campinas | 100 |
| 126 | Parque Araçariguama | Perímetro urbano | Sta. Bárbara d'Oeste | 1000 |
| 127 | Água Boa | Casas da fazenda | Sta. Bárbara | 50 |

| ID Barragem | Nome Barragem | Cidades Texto | Município | População (habitantes) |
|---|---|---|---|---|
| | | | d'Oeste | |
| 128 | Água Branca | Casas da Fazenda | Sta. Bárbara d'Oeste | 50 |
| 155 | Lagoa Rossil | Joaquim Egidio | Campinas | |
| 159 | Lagoa da Hípica | Condomínio | Campinas | 100 |
| 160 | Lagoa da Caverna Maldita | | Campinas | 150 |
| 176 | Lagoa do Dalto | 20 casas | Pedreira | 100 |
| 188 | Praça Vitória Régia | 5 casas | Holambra | 20 |
| 225 | Lagoa do Piva | Condomínio Jardim Imperial | Americana | 500 |
| 226 | Parque Ecológico | Perímetro Urbano | Americana | |
| 229 | Represa do Laurindo | Distante 2 km | Nova Odessa | 4000 |
| 230 | Kachenco | Área urbana a 500 m | Nova Odessa | 1200 |
| 232 | Parque Ecológico Isidoro Bordon | Perímetro urbano | Nova Odessa | 2200 |
| 233 | Recanto 1 | Área industrial a 150 m | Nova Odessa | 1200 |
| 235 | Recanto 3 | Loteamento a 20 m | Nova Odessa | 500 |
| 238 | Lagoa João Aranha | Bairro | Paulínia | 100 |
| 245 | Lagoa Pq. Armando Ferreira | Bairro | Paulínia | 200 |
| 253 | TEKA | Perímetro urbano | Sumaré | 500 |
| 255 | Marcelo | Assentamento I | Sumaré | 400 |
| 258 | Horto Captação | Assentamento 3 Córregos | Sumaré | 150 |
| 271 | Desconhecido | Bairro São Sebastião | Hortolândia | 200 |
| 272 | Lagoa de Santa Clara | Bairro | Hortolândia | 100 |

Algumas barragens da tabela 5-8, encontram-se sem dados de população a jusante provavelmente por falta de dados. Ainda dentre as barragens citadas na tabela 5-8, algumas merecem maior destaque. São aquelas que têm infra-estrutura como pontes, estações de tratamento de água ou esgoto, rodovias a jusante ameaçadas por um possível rompimento da barragem. Tais barragens são apresentadas na tabela 5-9.

**Tabela 5-9 - Barragens que oferecem risco à infra-estrutura (ENGECORPS, et al., (2005)**

| ID Barragem no cadastro | Nome Barragem | Infra Estrutura | Barragem | Observação |
|---|---|---|---|---|
| 6 | Harmonia | ETA | SG-008 | |
| 259 | Horto | Estrada Sumaré - Hortolândia (1200 m), Linha de transmissão 350 m | SU-831 | |
| 260 | Ponte Funda II | Estrada do Cruzeiro, distante 600 m | SU-833 | Entre 2000/2001, houve o rompimento da barragem SU-834 (Ravagnani),causando estragos em cercas. Também causou o assoreamento do reservatório, o qual foi desassoreado em parte. |
| 261 | José Ravagnani | Rodovia Bandeirantes a 50 m | SU-834 | A água passa por baixo da Rodovia Bandeirantes através de tubos de CA de 2,5 x 3,0 m. |
| 264 | - | Estrada rural distante 300 m | SU-838 | |
| 269 | - | Rodovia Bandeirantes, distante 800 m | HT-845 | |
| 270 | IASP | Distante 500 m | HT-846 | |
| 39 | Barro Preto | Estrada - coroamento | CD-117 | |
| 273 | - | SP 101, distante 50 m | HT-850 | |
| 274 | - | SP 101, distante 1100 m | HT-851 | |

| ID Barragem no cadastro | Nome Barragem | Infra Estrutura | Barragem | Observação |
|---|---|---|---|---|
| 123 | Parque Linear | Rua, distante 7 m | CP-442 | Em fevereiro de 2002 ocorreu o extravasamento pela rua, porém não ocorreu nenhum acidente humano. |
| 156 | - | Rodovia D. Pedro, distante 1000 m | CP-582 | |
| 147 | Clube de Campo Atlético | Estrada Rural a 30 m | LI-547 | |
| 52 | Usina do Rio Atibaia | Rod. D. Pedro SP-065 a 250 m | AT-219 | |
| 146 | Pesqueiro Pecos | Estrada de terra a 10 m. | LI-544 | |
| 129 | Estação Elevatória Alice | Ponte 150 m | SB-475 | |
| 62 | Pesqueiro Biazi | Ferrovia a 200 m, e Rod. Geraldo Dias SP-332 a 250 m | LO-282 | |
| 158 | Eng Agrônomo Antônio de Pádua Amaral Mello | Estrada dos Amarais | CP-585 | Os dois itens acima se encontram distantes cerca de 3000 metros da barragem. |
| 75 | - | Rod. Anhanguera SP 330 a 1100 m | JU-312 | |
| 76 | - | Rod. Anhanguera SP 330 à 1100 m | JU-313 | |
| 293 | Pesqueiro Bordon | Estrada Monte Mor - Sumaré, coroamento | MM-889 | |

| ID Barragem no cadastro | Nome Barragem | Infra Estrutura | Barragem | Observação |
|---|---|---|---|---|
| 296 | - | Linha de transmissão a 100 m | MM-892 | |
| 297 | Pesqueiro do Alemão | Estrada SP 101, a 600 m | MM-894 | |
| 278 | Georgetti | Rodovia SP-101 a 300 m | MM-856 | |
| 279 | Sobradinho | Rodovia SP-101 a 400 m | MM-857 | |
| 77 | Faz. Rio das Pedras | Rodovia SP-300, a 300 m | JU-315 | |
| 239 | - | Rod. General Milton Tavares, distante 50 m | PA-809 | |
| 244 | Lagoa St Terezinha | Av. Juscelino Kubitschek de Oliveira, distante 5 m | PA-815 | |
| 240 | Lagoa das Flores | Ponte distante 80 m. | PA-811 | |
| 103 | - | Estrada Guarujá a 30 m, ferrovia a 80 m | AS-393 | |
| 8 | - | Ferrovia a 100 m | SG-010 | |
| 34 | Represa Paramirim | Rod SP 151 a 2000 m | IR-098 | |
| 36 | Tanque Novo | Rod SP 151 a 500 m | IR-103 | |

| ID Barragem no cadastro | Nome Barragem | Infra Estrutura | Barragem | Observação |
|---|---|---|---|---|
| 7 | Fazenda Sta Gertrudes | Rod SP 310 a 1000 m | SG-009 | |
| 40 | Represa Bairro Cascalho | Rod. SP-316 a 500 m, e Rod. SP-310 a 3000 m | CD-119 | |
| 225 | Lagoa do Piva | Rodovia Anhanguera 200 m | AM-784 | Não apresenta risco ao entorno por se tratar de uma lagoa natural e se localizar no ponto mais baixo da região |
| 235 | Recanto 3 | Ponte a 500 m | no-796 | |
| 263 | - | Rodovia Bandeirantes a 1500 m | SU-837 | |
| 57 | Danape | Rod. Edgar Maximo Zamboto a 20 m | JR-246 | |
| 54 | - | Rodo via D. Pedro I - SP 065 - a 50 m | AT-227 | |
| 258 | Horto Captação | Estrada Sumaré - Hortolândia, distante 150 m | SU-830 | O assentamento se encontra distante 300 m. |

Na elaboração do cadastro de barragens, inspeções em cada barragem foram feitas buscando avaliar maus funcionamentos de diversas partes das barragens. Uma lista classifica os tipos de falhas e/ou mau funcionamento em letras que vão de “A” até “I” e cada letra apresenta suas subdivisões “A.1, A.2, A.3”, etc.

A aparente falta de dados que vai do item “E” até “I” deve-se pela não aplicabilidade das inspeções de barragem de concreto às barragens de terra. Isto é, não quer dizer que a partir do item “E” não tenha havido falhas, tampouco havido negligência na coleta de informações, mas sim que a partir daquele item as informações deixaram de ser aplicáveis às barragens de terra, que compõem a quase totalidade do cadastro.

A fim de se obter estatísticas sobre as falhas mais freqüentes nas barragens cadastradas, foram compilados os dados de falhas e deficiências das barragens, conforme apresentado na tabela 5-10.

**Tabela 5-10 – Estatísticas das falhas nas barragens do cadastro (ENGECORPS, et al., 2005)**

| ID Código Inspeção | Código | Texto | Contagem | % do total |
|---|---|---|---|---|
| 1 | A | INFRAESTRUTURA OPERACIONAL | | |
| 2 | A.1 | Falta de documentação sobre a barragem | 175 | 87,5 |
| 3 | A.2 | Falta de material para manutenção | 162 | 81 |
| 4 | A.3 | Falta de treinamento do pessoal | 161 | 80,5 |
| 5 | A.4 | Precariedade de acesso de veículos | 53 | 26,5 |
| 6 | A.5 | Falta de energia elétrica | 62 | 31 |
| 7 | A.6 | Falta de sistema de comunicação eficiente | 94 | 47 |
| 8 | A.7 | Falta ou deficiência de cercas de proteção | 146 | 73 |
| 9 | A.8 | Falta ou deficiência nas placas de aviso | 156 | 78 |
| 10 | A.9 | Falta de acompanhamento da Adm. Regional | 165 | 82,5 |
| 11 | A.10 | Falta de instrução dos equipamentos hidromecânicos | 22 | 11 |
| | | | | |
| 12 | B | BARRAGEM | | |
| 13 | B.1 | TALUDE DE MONTANTE | | |
| 14 | B.1.1 | Erosões | 29 | 14,5 |
| 15 | B.1.2 | Escorregamentos | 6 | 3 |
| 16 | B.1.3 | Rachaduras/afundamento (laje de concreto) | 0 | 0 |
| 17 | B.1.4 | Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado | 2 | 1 |
| 18 | B.1.5 | Afundamentos e buracos | 9 | 4,5 |
| 19 | B.1.6 | Árvores e arbustos | 64 | 32 |
| 20 | B.1.7 | Erosão nos encontros das ombreiras | 8 | 4 |
| 21 | B.1.8 | Canaletas quebradas ou obstruídas | 0 | 0 |
| 22 | B.1.9 | Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais | 3 | 1,5 |
| 23 | B.1.10 | Sinais de movimento | 0 | 0 |
| 24 | B.2 | COROAMENTO | | |
| 25 | B.2.1 | Erosões | 15 | 7,5 |
| 26 | B.2.2 | Rachaduras | 2 | 1 |
| 27 | B.2.3 | Falta de revestimento | 151 | 75,5 |
| 28 | B.2.4 | Falha no revestimento | 4 | 2 |
| 29 | B.2.5 | Afundamento e buracos | 29 | 14,5 |
| 30 | B.2.6 | Árvores e arbustos | 54 | 27 |
| 31 | B.2.7 | Defeitos na drenagem | 23 | 11,5 |
| 32 | B.2.8 | Defeitos no meio-fio | 8 | 4 |
| 33 | B.2.9 | Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais | 3 | 1,5 |
| 34 | B.2.10 | Sinais de movimento | 0 | 0 |
| 35 | B.2.11 | Desalinhamento do meio-fio | 0 | 0 |
| 36 | B.2.12 | Ameaça de transbordamento da barragem | 18 | 9 |

| ID Código Inspeção | Código | Texto | Contagem | % do total |
|---|---|---|---|---|
| 37 | B.3 | TALUDE DE JUSANTE | | |
| 38 | B.3.1 | Erosões | 28 | 14 |
| 39 | B.3.2 | Escorregamentos | 3 | 1,5 |
| 40 | B.3.3 | Rachaduras/afundamento (laje de concreto) | 0 | 0 |
| 41 | B.3.4 | Falha na proteção granular | 23 | 11,5 |
| 42 | B.3.5 | Falha na proteção vegetal | 23 | 11,5 |
| 43 | B.3.6 | Afundamento e buracos | 11 | 5,5 |
| 44 | B.3.7 | Árvores e arbustos | 117 | 58,5 |
| 45 | B.3.8 | Erosão nos encontros das ombreiras | 3 | 1,5 |
| 46 | B.3.9 | Cavernas e buracos nas ombreiras | 0 | 0 |
| 47 | B.3.10 | Canaletas quebradas ou obstruídas | 1 | 0,5 |
| 48 | B.3.11 | Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais | 7 | 3,5 |
| 49 | B.3.12 | Sinais de movimento | 0 | 0 |
| 50 | B.3.13 | Sinais de fuga d'água ou áreas úmidas | 10 | 5 |
| 51 | B.3.14 | Carreamento de material na água dos drenos | 0 | 0 |
| 52 | B.3.15 | Existência de precipitação de óxido de ferro na saída da drenagem | 0 | 0 |
| 53 | B.3.16 | Marcas de Enchente | 5 | 2,5 |
| 54 | B.4 | REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM | | |
| 55 | B.4.1 | Construções irregulares próximas ao rio | 17 | 8,5 |
| 56 | B.4.2 | Fuga d'água | 4 | 2 |
| 57 | B.4.3 | Erosão nas ombreiras | 0 | 0 |
| 58 | B.4.4 | Cavernas e buracos nos ombreiras | 0 | 0 |
| 59 | B.4.5 | Árvores e arbustos na faixa de 10m do pé da barragem | 136 | 68 |
| 60 | B.5 | INSTRUMENTAÇÃO | | |
| 61 | B.5.1 | Acesso precário aos instrumentos | 1 | 0,5 |
| 62 | B.5.2 | Piezômetros entupidos ou defeituosos | 0 | 0 |
| 63 | B.5.3 | Marcos de recalque defeituosos | 0 | 0 |
| 64 | B.5.4 | Medidores de vazão de percolação defeituosos | 0 | 0 |
| 65 | B.5.5 | Falta de instrumentação | 180 | 90 |
| 66 | B.5.6 | Falta de registro de leituras da instrumentação | 0 | 0 |
| | | | | |
| 67 | C | SANGRADOURO/VERTEDOURO | | |
| 68 | C.1 | CANAIS DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO | | |
| 69 | C.1.1 | Árvores e arbustos | 14 | 7 |
| 70 | C.1.2 | Obstrução ou entulhos | 61 | 30,5 |
| 71 | C.1.3 | Desalinhamento dos taludes e muros laterais | 16 | 8 |
| 72 | C.1.4 | Erosões ou escorregamentos nos taludes | 21 | 10,5 |
| 73 | C.1.5 | Erosão na base dos canais escavados | 24 | 12 |
| 74 | C.1.6 | Erosão na área à jusante (erosão regressiva) | 15 | 7,5 |

| ID Código Inspeção | Código | Texto | Contagem | % do total |
|---|---|---|---|---|
| 75 | C.1.7 | Construções irregulares (aterro, casa, cerca) | 2 | 1 |
| 76 | C.2 | ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DA SOLEIRA | | |
| 77 | C.2.1 | Rachaduras ou trincas no concreto | 6 | 3 |
| 78 | C.2.2 | Ferragem do concreto exposta | 1 | 0,5 |
| 79 | C.2.3 | Deterioração da superfície do concreto | 8 | 4 |
| 80 | C.2.4 | Descalçamento da estrutura | 7 | 3,5 |
| 81 | C.2.5 | Juntas danificadas | 4 | 2 |
| 82 | C.2.6 | Sinais de deslocamentos das estruturas | 5 | 2,5 |
| 83 | C.3 | RÁPIDO/BACIA AMORTECEDORA | | |
| 84 | C.3.1 | Acesso precário aos instrumentos | 2 | 1 |
| 85 | C.3.2 | Piezômetros entupidos ou defeituosos | 0 | 0 |
| 86 | C.3.3 | Marcos de recalque defeituosos | 0 | 0 |
| 87 | C.3.4 | Medidores de vazão de percolação defeituosos | 1 | 0,5 |
| 88 | C.3.5 | Falta de instrumentação | 158 | 79 |
| 89 | C.3.6 | Falta de registro de leituras da instrumentação | 2 | 1 |
| 90 | C.4 | MUROS LATERAIS | | |
| 91 | C.4.1 | Erosão na fundação | 7 | 3,5 |
| 92 | C.4.2 | Erosão nos contatos dos muros | 8 | 4 |
| 93 | C.4.3 | Rachaduras no concreto | 8 | 4 |
| 94 | C.4.4 | Ferragem do concreto exposta | 1 | 0,5 |
| 95 | C.4.5 | Deterioração da superfície do concreto | 6 | 3 |
| 96 | C.4.6 | Situação dos drenos de parede | 0 | 0 |
| 97 | C.5 | COMPORTAS DO VERTEDOURO | | |
| 98 | C.5.1 | Peças fixas (corrosão, amassamento da guia e falha na pintura) | 4 | 2 |
| 99 | C.5.2 | Estrutura (corrosão, amassamento e falha na pintura) | 4 | 2 |
| 100 | C.5.3 | Defeito das vedações (vazamento) | 10 | 5 |
| 101 | C.5.4 | Defeito das rodas (comporta vagão) | 0 | 0 |
| 102 | C.5.5 | Defeitos nos rolamentos ou buchas e retentores | 0 | 0 |
| 103 | C.5.6 | Defeito no ponto de içamento | 3 | 1,5 |
| 104 | C.5.7 | Situação de eventuais comportas de madeira | 6 | 3 |
| | | | | |
| 105 | D | RESERVATÓRIO | | |
| 106 | D.1 | Réguas danificadas ou faltando | 192 | 96 |
| 107 | D.2 | Construções em áreas de proteção | 36 | 18 |
| 108 | D.3 | Poluição por esgoto, lixo, pesticidas, etc. | 20 | 10 |
| 109 | D.4 | Indícios de má qualidade d’água | 20 | 10 |
| 110 | D.5 | Erosões | 25 | 12,5 |
| 111 | D.6 | Assoreamento | 67 | 33,5 |
| 112 | D.7 | Desmoronamento das margens | 35 | 17,5 |
| 113 | D.8 | Existência de vegetação aquática excessiva | 28 | 14 |

| ID Código Inspeção | Código | Texto | Contagem | % do total |
|---|---|---|---|---|
| 114 | D.9 | Desmatamentos na área de proteção | 1 | 0,5 |
| 115 | D.10 | Presença de animais e peixes mortos | 3 | 1,5 |
| 116 | D.11 | Animais pastando | 55 | 27,5 |
| | | | | |
| 117 | E | TORRE DA TOMADA D'ÁGUA | | |
| 118 | E.1 | ENTRADA | | |
| 119 | E.1.1 | Assoreamento | | |
| 120 | E.1.2 | Obstrução e entulhos | | |
| 121 | E.1.3 | Tubulação danificada | | |
| 122 | E.1.4 | Registros defeituosos | | |
| 123 | E.1.5 | Falta de grade de proteção | | |
| 124 | E.1.6 | Defeitos na grade | | |
| 125 | E.2 | ACIONAMENTO | | |
| 126 | E.2.1 | Hastes (travada no mancal, corrosão e empenamento) | | |
| 127 | E.2.2 | Base dos mancais (corrosão, falta de chumbadores) | | |
| 128 | E.2.3 | Falta de mancais | | |
| 129 | E.2.4 | Corrosão nos mancais | | |
| 130 | E.2.5 | Falha nos chumbadores, lubrificação e pintura do pedestal | | |
| 131 | E.2.6 | Falta de indicador de abertura | | |
| 132 | E.2.7 | Falta de volante | | |
| 133 | E.3 | COMPORTAS | | |
| 134 | E.3.1 | Peças fixas (corrosão, amassamento da guia e falha na pintura) | | |
| 135 | E.3.2 | Estrutura (corrosão, amassamento e falha na pintura) | | |
| 136 | E.3.3 | Defeito das vedações (vazamento) | | |
| 137 | E.3.4 | Defeito das rodas (comporta vagão) | | |
| 138 | E.3.5 | Defeitos nos rolamentos ou buchas e retentores | | |
| 139 | E.3.6 | Defeito no ponto de içamento | | |
| 140 | E.4 | ESTRUTURA | | |
| 141 | E.4.1 | Ferragem exposta na estrutura da torre | | |
| 142 | E.4.2 | Falta de guarda corpo na escada de acesso | | |
| 143 | E.4.3 | Deterioração do guarda corpo na escada de acesso | | |
| 144 | E.4.4 | Ferragem exposta na plataforma (passadiço) | | |
| 145 | E.4.5 | Falta de guarda corpo no passadiço | | |
| 146 | E.4.6 | Deterioração do guarda corpo no passadiço | | |
| 147 | E.4.7 | Deterioração do portão do abrigo de manobra | | |
| 148 | E.4.8 | Deterioração do tubo de aeração e "bypass" | | |
| 149 | E.4.9 | Deterioração da instalação de controle | | |
| | | | | |
| 150 | F | CAIXA DE MONTANTE (BOCA DE | | |

| ID Código Inspeção | Código | Texto | Contagem | % do total |
|---|---|---|---|---|
| | | ENTRADA E “STOP-LOG”) | | |
| 151 | F.1 | Assoreamento | | |
| 152 | F.2 | Obstrução e entulhos | | |
| 153 | F.3 | Ferragem exposta na estrutura de concreto | | |
| 154 | F.4 | Deterioração no concreto | | |
| 155 | F.5 | Falta de grade de proteção | | |
| 156 | F.6 | Defeitos na grade | | |
| 157 | F.7 | Peças fixas (corrosão, amassamento da guia e falha na pintura) | | |
| 158 | F.8 | Estrutura do “stop-log” (corrosão, amassamento e falha na pintura) | | |
| 159 | F.9 | Defeito no acionamento do “stop-log” | | |
| 160 | F.10 | Defeito no ponto de içamento | | |
| | | | | |
| 161 | G | GALERIA | | |
| 162 | G.1 | Corrosão e vazamentos na tubulação | | |
| 163 | G.2 | Sinais de abrasão ou cavitação | | |
| 164 | G.3 | Defeitos nas juntas | | |
| 165 | G.4 | Deformação do conduto | | |
| 166 | G.5 | Desalinhamento do conduto | | |
| 167 | G.6 | Surgências de água no concreto | | |
| 168 | G.7 | Precariedade de acesso | | |
| 169 | G.8 | Vazamento nos dispositivos de controle | | |
| 170 | G.9 | Surgência de água junto à galeria | | |
| 171 | G.10 | Falta de manutenção | | |
| 172 | G.11 | Presença de pedras e lixo dentro da galeria | | |
| 173 | G.12 | Defeitos no concreto | | |
| 174 | G.13 | Existência de carbonatação das paredes | | |
| 175 | G.14 | Nível de afogamento da galeria | | |
| | | | | |
| 176 | H | ESTRUTURA DE SAÍDA | | |
| 177 | H.1 | Corrosão e vazamentos na tubulação | | |
| 178 | H.2 | Sinais de abrasão ou cavitação | | |
| 179 | H.3 | Ruídos estranhos | | |
| 180 | H.4 | Defeito nos dispositivos de controle | | |
| 181 | H.5 | Surgências de água no concreto | | |
| 182 | H.6 | Precariedade de acesso (árvores e arbustos) | | |
| 183 | H.7 | Vazamento nos dispositivos de controle | | |
| 184 | H.8 | Falta de manutenção | | |
| 185 | H.9 | Construções irregulares | | |
| 186 | H.10 | Falta ou deficiência de drenagem da caixa de válvulas | | |
| 187 | H.11 | Presença de pedras e lixo dentro da caixa de válvulas | | |

| ID Código Inspeção | Código | Texto | Contagem | % do total |
|---|---|---|---|---|
| 188 | H.12 | Defeitos no concreto | | |
| 189 | H.13 | Defeitos na cerca de proteção | | |
| | | | | |
| 190 | I | MEDIDOR DE VAZÃO | | |
| 191 | I.1 | Ausência da placa medidora de vazão | | |
| 192 | I.2 | Corrosão da placa | | |
| 193 | I.3 | Defeitos no concreto | | |
| 194 | I.4 | Falta de escalas de leitura de vazão | | |
| 195 | I.5 | Assoreamento da câmara de medição | | |
| 196 | I.6 | Erosão à jusante do medidor | | |

Na tabela 5-11 são expostas as deficiências de maiores ocorrências no cadastro de barragens das bacias PCJ. Mais da metade das barragens do cadastro apresenta algum tipo de falha, sendo por manutenção insuficiente, falta de treinamento dos operadores, deficiência no revestimento do coroamento da barragem e falta de instrumentação do barramento, entre outros. Isso acaba passando a impressão de que as barragens do cadastro estão, de certa forma, abandonadas. Essa impressão pode estar equivocada caso a falta desses dados no cadastro seja, por dificuldade de acesso a eles, na ocasião da elaboração do cadastro, seja por confidencialidade ou outro motivo. Caso a barragem realmente não apresente tais dados, esse fato indica verdadeira displicência na operação de tais barragens.

**Tabela 5-11 - Resumo com as deficiências mais freqüentes (ENGECORPS, et al., 2005)**

| ID Código Inspeção | Código | Texto | Contagem | % do total |
|---|---|---|---|---|
| 1 | A | INFRAESTRUTURA OPERACIONAL | | |
| 2 | A.1 | Falta de documentação sobre a barragem | 175 | 87,5 |
| 3 | A.2 | Falta de material para manutenção | 162 | 81 |
| 4 | A.3 | Falta de treinamento do pessoal | 161 | 80,5 |
| 8 | A.7 | Falta ou deficiência de cercas de proteção | 146 | 73 |
| 9 | A.8 | Falta ou deficiência nas placas de aviso | 156 | 78 |
| 10 | A.9 | Falta de acompanhamento da Adm. Regional | 165 | 82,5 |
| | | | | |
| 12 | B | BARRAGEM | | |
| 24 | B.2 | COROAMENTO | | |
| 27 | B.2.3 | Falta de revestimento | 151 | 75,5 |
| 37 | B.3 | TALUDE DE JUSANTE | | |
| 44 | B.3.7 | Árvores e arbustos | 117 | 58,5 |
| 54 | B.4 | REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM | | |
| 59 | B.4.5 | Árvores e arbustos na faixa de 10m do pé da barragem | 136 | 68 |
| 60 | B.5 | INSTRUMENTAÇÃO | | |
| 65 | B.5.5 | Falta de instrumentação | 180 | 90 |
| | | | | |
| 67 | C | SANGRADOURO/VERTEDOURO | | |
| 83 | C.3 | RÁPIDO/BACIA AMORTECEDORA | | |
| 88 | C.3.5 | Falta de instrumentação | 158 | 79 |
| | | | | |
| 105 | D | RESERVATÓRIO | | |
| 106 | D.1 | Réguas danificadas ou faltando | 192 | 96 |

## 5.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE

Uma primeira metodologia suposta para avaliação e suporte à decisão no descomissionamento de barragens foi a atribuição de pontos a situações e anomalias existentes nas barragens e que indicasse possibilidade de descomissionamento. Seriam avaliados aspectos como risco, aspectos sociais, ambientais, estruturais e de segurança.

Observou-se, no entanto, grande dificuldade em se atribuir pesos às diferentes anomalias, tanto em função da subjetividade existente na descrição e

caracterização dos problemas, como pela extensa gama de critérios que poderiam permitir diferenciar um problema mais grave de outro menos grave. Concluiu-se que a atribuição de notas e pesos seria uma metodologia vaga, sem um embasamento criterioso. Por outro lado, a metodologia de avaliação de vulnerabilidade em barragens proposta por Menescal et al. (2001), citada no capítulo 3.3.2, permite ponderar aspectos como o estado da estrutura, sua utilidade e sua suscetibilidade a falhas. Tais características satisfazem parcialmente a necessidade do estudo de descomissionamento de uma barragem, o que levou à idéia de adaptá-la, incrementando-a, como critério para a tomada de decisão no descomissionamento.

Sobre a metodologia proposta por Menescal et al. (2001), vale observar que na tabela 3-4, o campo A será sempre preenchido com a opção “volume útil” pequeno, pois a metodologia foi destinada para aplicação em açudes do Nordeste brasileiro que têm volumes significativos de armazenamento de água. Porém é possível considerar que os volumes dos reservatórios das barragens do cadastro sempre fiquem enquadrados como abaixo de 200 $hm^3$, isto é, volume pequeno no campo A, dentro das opções de enquadramento oferecidas na tabela. Já os campos B e C encontram-se em condições bastante subjetivas de análise. A mesma inferência pode ser aplicada no item 2 da tabela 3-2, no qual o volume total dos reservatórios das barragens analisadas será sempre considerado como pequeno, inferior a 20 $hm^3$. Assim, a tabela 3-4 poderia ser estendida para incluir outros itens descritivos da importância estratégica, dando mais características e representatividade do barramento, por exemplo, os impactos positivos como navegação, esporte, lazer, turismo, abastecimento, irrigação, piscicultura e armazenamento de rejeitos sólidos ou industriais, evitando que esses fossem descarregados diretamente no curso d’água. Considerando-se tais condicionantes ambientais, uma tabela de Importância Estratégica mais refinada é obtida, ilustrada na tabela 5-12.

De forma semelhante, para ponderar os impactos negativos das barragens, poderiam ser citadas questões nos âmbitos ecológicos, limnológicos e sedimentológicos, incorporando tais questões à tabela 3-2, Periculosidade. Incorporando-se tais novas categorias, pode ser composta uma nova tabela de Periculosidade, conforme apresentado na tabela 5-13.

**Tabela 5-12 – Proposição de nova tabela de Importância Estratégica**

| **Regularização** [L] | **Geração de Energia** [K] | **Rejeitos Sólidos / Industriais** [J] | **Controle de Cheias** [I] | **Piscicultura** [H] | **Irrigação** [G] | **Abastecimento** [F] | **Esporte, Lazer e Turismo** [E] | **Contribui com Navegação** [D] | **Custo da Barragem** [C] | **População a Jusante** [B] | **Vol útil hm³** [A] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grande interferência (2,0) | Conectada à distribuidora / transmissora (2,0) | Rejeitos Contaminados (2,5) | Interferência considerável (2,5) | Grandes criações (2,0) | Grandes áreas cultivadas (2,0) | Principal base de abastecimento (2,5) | Principal base econômica (2,0) | Principal base econômica (2,0) | Elevado (1,5) | Grande (2,5) | Grande >800 (2) |
| Pequena interferência (1,5) | Consumo de pequenas instalações (1,5) | Rejeitos Tratados (1,5) | Pouca interferência (1,5) | Criações de subsistência (1,5) | Pequenas culturas familiares (1,5) | Parte feito reservatório (1,5) | Alguma atividade econômica (1,5) | Alguma atividade econômica (1,5) | Médio (1,2) | Média (2,0) | Médio 200 a 800 (1,5) |
| Não (1,0) | Não (1,0) | Não (1,0) | Não (1,0) | Não (1,0) | Não (1,0) | Não (1,0) | Não (1,0) | Não (1,0) | Pequeno (1,0) | Pequena (1,0) | Baixo <200 (1,0) |

$$I = \frac{A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K + L}{12}$$

Equação 5-1

**Tabela 5-13 – Proposição de nova tabela de Periculosidade**

| Dimensão da Barragem [1] | Vol Total do Reservatório [2] | Tipo de Barragem [3] | Tipo de Fundação [4] | Vazão de Projeto [5] | Alterações Ecológicas [6] | Alterações Limnológicas [7] | Alterações Sedimentológicas [8] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altura ≤ 10m Comprimento ≤ 200m (1) | Pequeno <20hm³ (3) | Concreto (4) | Rocha (1) | Decamilenar (1) | Alterações desprezíveis (2,0) | Alterações meramente estéticas (2,0) | Pequeno Assoreamento no reservatório (2,0) |
| Altura 10 a 20 m Comprimento ≤ 2000 m (3) | Médio até 200 hm³ (5) | Alvenaria de pedra / Concreto Rolado (6) | Rocha alterada / Saprolito (4) | Milenar (2) | Alterações pequenas no habitat (4,0) | Inserção de risco à fauna/flora (4,0) | Assoreamento considerável do reservatório (4,0) |
| Altura 20 a 50 m Comprimento 200 a 3000 m (6) | Regular 200 a 800 hm³ (7) | Terra / Enrocamento (8) | Solo residual / Aluvião até 4m (5) | 500 anos (4) | Alterações consideráveis na população/habitat (6,0) | Pequena alteração da qualidade da água para consumo (6,0) | Problemas com a profundidade do reservatório devido a assoreamento (6,0) |
| Altura > 50 m comprimento > 500 m (10) | Muito grande > 800 hm³ (10) | Terra (10) | Aluvião arenoso espesso / Solo orgânico (10) | Inferior a 500 anos ou Desconhecida (10) | Alterações profundas e diretas na população (8,0) | Grande Alteração da qualidade da água para consumo (8,0) | Deposição de sedimentos contaminados no reservatório (8,0) |

O valor recalculado para periculosidade é obtido somando-se os pontos da tabela 5-13 conforme a equação 5-2 e classifica-se como:

P>44 - elevado

30<P<44 – significativo

15<P<30 – baixo a moderado

$$P = \sum_{1}^{8} p_i$$

Equação 5-2

Com os novos índices avaliados no quadro de Periculosidade, a numeração dos índices do quadro de Vulnerabilidade será alterada, embora não tenham sido acrescidos novos índices neste quadro, conforme ilustra a tabela 5-14.

**Tabela 5-14 – Proposição de nova tabela de Vulnerabilidade**

| Tempo de Operação [9] | Existência de Projeto (As Built) [10] | Confiabilidade das Estruturas Verderouras [11] | Tomada d'água [12] | Percolação [13] | Deformações / Afundamentos / Assentamentos [14] | Deteriorações dos Taludes / Paramentos [15] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| >30 anos (0) | Existem projetos "as built" e avaliação do Desempenho (1) | Muito Satisfatórias (2) | Satisfatória Controle a montante (1) | Totalmente Controlada pelo Sistema de drenagem (1) | Inexistente (0) | Inexistente (1) |
| 10 a 30 anos (1) | Existem projetos "as built" (3) | Satisfatória (3) | Satisfatória Controle a Jusante (2) | Sinais de umedecimento nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras (4) | Pequenos abatimentos da crista (2) | Falhas no rip-rap e na proteção de Jusante (3) |
| 5 a 10 anos (2) | Só projeto Básico (5) | Suficiente (6) | Aceitável (3) | Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devido ao fluxo (6) | Ondulações pronunciadas, Fissuras (6) | Falha nas proteções - drenagens insuficiente e sulcos nos taludes (7) |
| <5 anos (3) | Não existe projeto (7) | Não Satisfatória (10) | Deficiente (5) | Surgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante (10) | Depressão na crista - afundamentos nos taludes, ou na fundação/Trincas (10) | Depressão no rip-rap Escorregamentos - sulcos profundos de erosão, vegetação (10) |

A equação para cálculo da vulnerabilidade da barragem segundo a tabela 5-14 permanecerá a mesma:

$$V = \sum_{9}^{15} v_i$$

Equação 5-3

Apesar das alterações na contagem de pontos da periculosidade, o cálculo do novo potencial de risco não será alterado.

$$PR = \frac{P + V}{2} \times I$$

Equação 5-4

Para se fazer a reclassificação do potencial de risco, foi mantida a proporcionalidade entre os valores das classes propostas originalmente pela metodologia de MENESCAL et al.(2001) e os novos valores. Tal proporcionalidade entre as classes foi baseada nos valores máximos e mínimos possíveis de serem atingidos com o potencial de risco. Já os valores das classes intermediárias – B, C e D- foram inferidos baseados na porcentagem de pontos que elas representam em relação à classe mais alta, A.

Aqui, a existência de um valor Vi=10 para vulnerabilidade não significa que essa barragem será classificada como classe A como na metodologia original de MENESCAL et al.(2001).

**Tabela 5-15 - Novo classificação do potencial de risco sugerido**

| CLASSE | POTENCIAL DE RISCO - PR |
|---|---|
| A | > 85 - alto |
| B | 55 a 85 - médio |
| C | 33 a 55 - normal |
| D | 22 a 33 - baixo |
| E | < 22 - muito baixo |

## 5.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Foram selecionadas cinco barragens do cadastro das bacias PCJ (Engecorps, et al., 2005) para a aplicação da metodologia proposta no capítulo 5.2. A escolha das barragens foi feita de maneira cautelosa, buscando aquelas que possuíssem maior quantidade de dados passíveis de serem utilizados. E, ainda assim, aquelas que foram selecionadas, carecem de mais dados. Devido à escassez de dados, foram adotados dois cenários para aplicação da metodologia.

Para o pior cenário, na ausência de dados, adotou-se as respostas que mais penalizassem a barragem, fazendo sua pontuação tender para maior periculosidade e vulnerabilidade, favorecendo o descomissionamento.

Para o melhor cenário, na ausência de dados, adotou-se as respostas que menos penalizassem a barragem, resultando em uma pontuação baixa e uma situação que não favoreça, ou que favoreça menos, o descomissionamento.

Considerando as alterações feitas na metodologia proposta por MENESCAL et al. (2001) no capítulo 5.2, aplicou-se a metodologia para avaliar a Periculosidade, Vulnerabilidade, Importância Estratégica e Potencial de Risco das barragens CD-119, AM-788, CO-766, MM-856 e PA-814 em ambos cenários citados anteriormente.

Na apresentação dos resultados, que vai do item 5.3.1 até o 5.3.10, o símbolo “?” presente nas tabelas indica a ausência de dado sobre uma determinada informação. A ele será atribuída pontuação máxima no pior cenário possível e pontuação mínima no melhor cenário possível.

Por questões de economia de espaço e simplificação da visualização, os índices das tabelas de periculosidade e vulnerabilidade, presentes do item 5.3.1 ao 5.3.10, serão substituídos por números e os índices da tabela de importância estratégica, substituídos por letras, onde:

1 é a dimensão da barragem
2 é o volume total do reservatório
3 é o tipo de barragem
4 é o tipo de fundação
5 é a vazão do projeto
6 é a alteração ecológica
7 é a alteração limnológica
8 é a alteração sedimentológica

9 é o tempo de operação
10 é a existência de projeto (as built)
11 é a confiabilidade das estruturas vertedoras
12 é a tomada de água
13 é a percolação
14 é a presença de deformações / afundamentos / assentamentos
15 é a deterioração dos taludes / paramentos

A é o volume útil
B é a população a jusante
C é o custo da barragem
D é a contribuição da barragem para a navegação
E é a contribuição da barragem para o esporte / lazer / turismo
F é a contribuição da barragem para o abastecimento
G é a contribuição da barragem para irrigação
H é a contribuição da barragem para piscicultura
I é a contribuição da barragem para o controle de cheias
J é a presença de rejeitos sólidos / industriais
K é a contribuição da barragem para a geração de energia elétrica
L é a contribuição da barragem para a regularização de vazão

### *5.3.1 Represa Bairro do Cascalho – CD-119 - Pior Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-16 – Barragem CD-119 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD-119 | Extensão 112 m e altura 4 m. | 0,3 hm³ | Terra e entulho | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 8 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 |

Aplicando a equação 5-2 para cálculo da periculosidade encontra-se o valor de 56 para periculosidade no caso da barragem CD-119.

**Tabela 5-17 – Barragem CD-119 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD-119 | Mais de 30 | Não existe projeto | Suficiente | ? | Surgência de água em taludes, ombreiras e áreas a jusante | Inexistentes | Inexistentes |
| Pontos | 0 | 7 | 6 | 5 | 10 | 0 | 1 |

Aplicando a equação 5-3 da vulnerabilidade obteve-se o valor de 29 pontos.

**Tabela 5-18 – Barragem CD-119 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD-119 | Baixo | Pequeno | Pequeno | Não | Não | Parcial | Não | Não | Não | Não | Não | Não |
| Pontos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Para o cálculo da importância estratégica da barragem utilizou-se a equação 5-1 e foi obtido o valor 1,04.

Com os valores de Periculosidade, Vulnerabilidade e Importância estratégica, é possível calcular o Potencial de Risco com a equação 5-4 e se obter 44 pontos para a barragem CD-119.

O potencial de risco calculado para esta barragem a colocaria na categoria “C” de acordo com a tabela 5-15, mas como houve um valor de vulnerabilidade igual a 10, ela automaticamente passa a se enquadrar na categoria “A”, isto é, risco alto.

### *5.3.2 Represa Bairro do Cascalho – CD 119 – Melhor Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-19 – Barragem CD-119 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD-119 | Extensão 112 m e altura 4 m. | 0,3 $hm^3$ | Terra e entulho | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 8 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |

Aplicando a equação 5-3 para cálculo da periculosidade encontra-se o valor de 20 para periculosidade no caso da barragem CD-119.

**Tabela 5-20 – Barragem CD-119 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD-119 | Mais de 30 | Não existe projeto | Suficiente | ? | Surgência de água em taludes, ombreiras e áreas a jusante | Inexistentes | Inexistentes |
| Pontos | 0 | 7 | 6 | 1 | 10 | 0 | 1 |

Aplicando a equação 5-3 da vulnerabilidade obteve-se o valor de 25 pontos.

**Tabela 5-21 – Barragem CD-119 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD-119 | Baixo | Pequeno | Pequeno | Não | Não | Parcial | Não | Não | Não | Não | Não | Não |
| Pontos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Para o cálculo da importância estratégica da barragem utilizou-se a equação 5-1 e foi obtido o valor 1,04.

Com os valores de Periculosidade, Vulnerabilidade e Importância estratégica, é possível calcular o Potencial de Risco com a equação 5-4 e se obter 23 pontos para a barragem CD-119.

O potencial de risco calculado para esta barragem a colocaria na categoria “D” de acordo com a tabela 5-15, mas como houve um valor de vulnerabilidade igual a 10, ela automaticamente passa a se enquadrar na categoria “A”, isto é, risco alto.

### *5.3.3 Pontello – AM-788 – Pior Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-22 – Barragem AM-788 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AM-788 | Extensão 40 e altura 1,5 m. | Pequeno | Terra | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 |

Aplicando a equação 5-2 para cálculo da periculosidade encontra-se o valor de 58 para periculosidade no caso da barragem AM-788.

**Tabela 5-23 – Barragem AM-788 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AM-788 | 20 anos | Não existe projeto | Satisfatória | ? | Não apresenta sistema de drenagem e não apresenta percolação | Pequenos abatimentos na crista | Falha no rip-rap e na proteção de jusante |
| Pontos | 1 | 7 | 3 | 5 | 10 | 2 | 3 |

Apesar do item 13 não estar de acordo com nenhuma resposta proposta na tabela 5-14, esta observação feita, na ocasião da inspeção, garante que a barragem não conta com um sistema de drenagem nem apresentava percolação naquela ocasião. Entretanto, foi atribuída à pontuação máxima pela falta de um sistema de drenagem, vital para a garantia de segurança da barragem. Aplicando-se a equação 5-3 da vulnerabilidade, obteve-se o valor de 31 pontos.

**Tabela 5-24 – Barragem AM-788 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AM-788 | Baixo | Média | Pequeno | Não | Parcial | Não | Pequeno | Não | Não | Não | Não | Não |
| Pontos | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Aplicando a equação 5-1, de Importância Estratégica se obtém o valor de 1,16. E utilizando a equação 5-4, o valor de 52 para o Potencial de Risco é obtido.

O potencial de risco calculado para este caso, AM-788, se enquadrar na categoria “C”. Entretanto, por possuir um item de vulnerabilidade de valor 10, a barragem é reclassificada para categoria “A”, alto risco.

### *5.3.4 Pontello – AM-788 – Melhor Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-25 – Barragem AM-788 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AM-788 | Extensão 40 e altura 1,5 m. | Pequeno | Terra | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 10 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |

Aplicando a equação 5-2 para cálculo da periculosidade encontra-se o valor de 22 para periculosidade no caso da barragem AM-788.

**Tabela 5-26 – Barragem AM-788 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AM-788 | 20 anos | Não existe projeto | Satisfatória | ? | Não apresenta sistema de drenagem e não apresenta percolação | Pequenos abatimentos na crista | Falha no rip-rap e na proteção de jusante |
| Pontos | 1 | 7 | 3 | 1 | 10 | 2 | 3 |

Apesar do item 13 não estar de acordo com nenhuma resposta proposta na tabela 5-14, esta observação feita, na ocasião da inspeção, garante que a barragem não conta com um sistema de drenagem nem apresentava percolação naquela ocasião. Entretanto, foi atribuída à pontuação máxima pela falta de um sistema de drenagem, vital para a garantia de segurança da barragem. Aplicando-se a equação 5-3 da vulnerabilidade, obteve-se o valor de 27 pontos.

**Tabela 5-27 – Barragem AM-788 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AM-788 | Baixo | Média | Pequeno | Não | Parcial | Não | Pequeno | Não | Não | Não | Não | Não |
| Pontos | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Aplicando a equação 5-1, de Importância Estratégica se obtém o valor de 1,16. E utilizando a equação 5-4, o valor de 28 para o Potencial de Risco é obtido.

O potencial de risco calculado para este caso, AM-788, se enquadrar na categoria “D”. Entretanto, por possuir um item de vulnerabilidade de valor 10, a barragem é reclassificada para categoria “A”, alto risco.

### *5.3.5 Represa Pirapitingui – CO-766 – Pior cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-28 – Barragem CO-766 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO-766 | Extensão 120 e altura 5,25 m. | Pequeno | Concreto | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 4 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 |

Utilizando a equação 5-2 se obtém o valor 52 para Periculosidade.

**Tabela 5-29 – Barragem CO-766 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO-766 | 80 anos | Existe parte do projeto | Suficiente | ? | Não apresenta sistema de drenagem e não apresenta percolação | Inexistentes | Inexistentes |
| Pontos | 1 | 5 | 6 | 5 | 10 | 0 | 1 |

Apesar do item 13 não estar de acordo com nenhuma resposta proposta na tabela 5-14, esta observação feita, na ocasião da inspeção, garante que a barragem não conta com um sistema de drenagem nem apresentava percolação naquela ocasião. Entretanto, foi atribuída à pontuação máxima pela falta de um sistema de drenagem, vital para a garantia de segurança da barragem. Utilizando a equação 5-3 se obtém 28 pontos para a Vulnerabilidade da barragem.

**Tabela 5-30 – Barragem CO-766 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO-766 | Baixo | Média | Médio | Não | Não | Principal | Não | Não | Não | Não | Pequena | Pequeno |
| Pontos | 1 | 2 | 1,2 | 1 | 1 | 2,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 |

Com a equação 5-1 é calculado o valor da Importância Estratégica da barragem que, para este caso, vale 1,31. E em seguida com a equação 5-4, calcula-se o valor do potencial de risco, 52, neste caso.

Seu potencial de risco enquadra esta barragem na categoria “C”, normal. Entretanto, como nos dois casos anteriormente analisados, bastou haver um item da vulnerabilidade com pontuação 10 para elevar sua classificação para “A”, alto risco.

### *5.3.6 Represa Pirapitingui – CO-766 – Melhor Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-31 – Barragem CO-766 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO-766 | Extensão 120 e altura 5,25 m. | Pequeno | Concreto | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |

Utilizando a equação 5-2 se obtém o valor 16 para Periculosidade.

**Tabela 5-32 – Barragem CO-766 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO-766 | 80 anos | Existe parte do projeto | Suficiente | ? | Não apresenta sistema de drenagem e não apresenta percolação | Inexistentes | Inexistentes |
| Pontos | 1 | 5 | 6 | 1 | 10 | 0 | 1 |

Apesar do item 13 não estar de acordo com nenhuma resposta proposta na tabela 5-14, esta observação feita, na ocasião da inspeção, garante que a barragem não conta com um sistema de drenagem nem apresentava percolação naquela ocasião. Entretanto, foi atribuída à pontuação máxima pela falta de um sistema de drenagem, vital para a garantia de segurança da barragem. Utilizando a equação 5-3 se obtém 24 pontos para a Vulnerabilidade da barragem.

**Tabela 5-33 – Barragem CO-766 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO-766 | Baixo | Média | Médio | Não | Não | Principal | Não | Não | Não | Não | Pequena | Pequeno |
| Pontos | 1 | 2 | 1,2 | 1 | 1 | 2,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 |

Com a equação 5-1 é calculado o valor da Importância Estratégica da barragem que, para este caso, vale 1,31. E em seguida com a equação 5-4, calcula-se o valor do potencial de risco, 26, neste caso.

Seu potencial de risco enquadra esta barragem na categoria “D”, baixo risco. Entretanto, como nos dois casos anteriormente analisados, bastou haver um item da vulnerabilidade com pontuação 10 para elevar sua classificação para “A”, alto risco.

### *5.3.7 Barragem Georgetti - MM-856 – Pior Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-34 – Barragem MM-856 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MM-856 | Extensão 100 e altura 3 m. | Pequeno | Terra Homogênea | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 |

Utilizando a equação 5-2 encontra-se o valor 58 para periculosidade.

**Tabela 5-35 – Barragem MM-856 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MM-856 | 10 a 30 anos (estimado) | Não existe | Não Satisfatória | ? | Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devido ao fluxo | Pequenos abatimentos da crista | Falha no Rip-Rap e na proteção de Jusante |
| Pontos | 1 | 7 | 10 | 5 | 6 | 2 | 3 |

Utilizando a equação 5-3 se obtém 34 pontos para a Vulnerabilidade da barragem.

**Tabela 5-36 – Barragem MM-856 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MM-856 | Baixo | Pequeno | Pequeno | Não | Não | Não | Não | Não | Pouco | Não | Não | Não |
| Pontos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 1 |

Com a equação 5-1 é calculado o valor da Importância Estratégica da barragem, 1,04 neste caso. E em seguida com a equação 5-4, calcula-se o valor do potencial de risco, 48, para esta barragem. Assim como nos casos anteriormente citados, esta barragem enquadra-se na categoria C, normal, porém, como apresentou itens de periculosidade com valor 10, é realocada para categoria de alto risco, classe A.

### *5.3.8 Barragem Georgetti – MM-856 – Melhor Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-37 – Barragem MM-856 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MM-856 | Extensão 100 e altura 3 m. | Pequeno | Terra Homogênea | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 10 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |

Utilizando a equação 5-2 encontra-se o valor 22 para periculosidade.

**Tabela 5-38 – Barragem MM-856 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MM-856 | 10 a 30 anos (estimado) | Não existe | Não Satisfatória | ? | Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devido ao fluxo | Pequenos abatimentos da crista | Falha no Rip-Rap e na proteção de Jusante |
| Pontos | 1 | 7 | 10 | 1 | 6 | 2 | 3 |

Utilizando a equação 5-3 se obtém 30 pontos para a Vulnerabilidade da barragem.

**Tabela 5-39 – Barragem MM-856 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MM-856 | Baixo | Pequeno | Pequeno | Não | Não | Não | Não | Não | Pouco | Não | Não | Não |
| Pontos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 1 |

Com a equação 5-1 é calculado o valor da Importância Estratégica da barragem, 1,04 neste caso. E em seguida com a equação 5-4, calcula-se o valor do potencial de risco, 27, para esta barragem. Assim como nos casos anteriormente citados, esta barragem enquadra-se na categoria “D”, baixo risco, porém, como apresentou itens de periculosidade com valor 10, é realocada para categoria de alto risco, classe “A”.

### *5.3.9 Barragem PA-814 – Pior Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-40 – Barragem PA-814 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA-814 | Extensão 75 e altura 1,5 m. | Pequeno | Terra Homogênea | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 |

Utilizando a equação 5-2 encontra-se o valor 58 para periculosidade.

**Tabela 5-41 – Barragem PA-814 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA-814 | 10 a 30 anos (estimado) | Não existe | Não avaliado na data da inspeção devido ao seu funcionamento | ? | Não existe sistema de drenagem e não há percolação | Pequenos abatimentos da crista | Inexistente |
| Pontos | 1 | 7 | 10 | 5 | 10 | 2 | 1 |

O item 11 confere a falta de vistoria no sistema vertedouro da barragem, por esta razão, na simulação do pior cenário possível, lhe foi atribuída à maior pontuação. Apesar do item 13 não estar de acordo com nenhuma resposta proposta na tabela 5-14, esta observação feita, na ocasião da inspeção, garante que a barragem não conta com um sistema de drenagem nem apresentava percolação naquela ocasião. Entretanto, foi atribuída à pontuação máxima pela falta de um sistema de drenagem, vital para a garantia de segurança da barragem. Utilizando a equação 5-3 se obtém 36 pontos para a Vulnerabilidade da barragem.

**Tabela 5-42 – Barragem PA-814 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA-814 | Baixo | Pequena | Pequeno | Não | Não | Não | Não | Não | Pouca | Rejeito Tratado | Não | Não |
| Pontos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1 | 1 |

Com a equação 5-1 é calculado o valor da Importância Estratégica da barragem, 1,08 neste caso. E em seguida com a equação 5-4, calcula-se o valor do potencial de risco, 51, para esta barragem. Esta barragem enquadra-se na categoria “C”, normal, porém, como apresentou itens de periculosidade com valor 10, é realocada para categoria de alto risco, classe “A”.

### *5.3.10 Barragem PA-814 – Melhor Cenário*

A seguir são apresentadas as tabelas com as pontuações para periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica para a barragem em questão, no seu respectivo cenário de simulação.

**Tabela 5-43 – Barragem PA-814 - Periculosidade**

| Índice Avaliado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA-814 | Extensão 75 e altura 1,5 m. | Pequeno | Terra Homogênea | ? | ? | ? | ? | ? |
| Pontos | 1 | 3 | 10 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |

Utilizando a equação 5-2 encontra-se o valor 22 para periculosidade.

**Tabela 5-44 – Barragem PA-814 - Vulnerabilidade**

| Índice Avaliado | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA-814 | 10 a 30 anos (estimado) | Não existe | Não avaliado na data da inspeção devido ao seu funcionamento | ? | Não existe sistema de drenagem e não há percolação | Pequenos abatimentos da crista | Inexistente |
| Pontos | 1 | 7 | 2 | 1 | 10 | 2 | 1 |

O item 11 confere a falta de vistoria no sistema vertedouro da barragem, por esta razão, na simulação do melhor cenário possível, lhe foi atribuída à menor pontuação. Apesar do item 13 não estar de acordo com nenhuma resposta proposta na tabela 5-14, esta observação feita, na ocasião da inspeção, garante que a barragem não conta com um sistema de drenagem nem apresentava percolação naquela ocasião. Entretanto, foi atribuída à pontuação máxima pela falta de um sistema de drenagem, vital para a garantia de segurança da barragem.

Utilizando a equação 5-3 se obtém 24 pontos para a Vulnerabilidade da barragem.

**Tabela 5-45 – Barragem PA-814 – Importância Estratégica**

| Índice Avaliado | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA-814 | Baixo | Pequena | Pequeno | Não | Não | Não | Não | Não | Pouca | Rejeito Tratado | Não | Não |
| Pontos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1 | 1 |

Com a equação 5-1 é calculado o valor da Importância Estratégica da barragem, 1,08 neste caso. E em seguida com a equação 5-4, calcula-se o valor do potencial de risco 25 para esta barragem. Esta barragem enquadra-se na categoria D, baixo risco, porém, como apresentou itens de periculosidade com valor 10, é realocada para categoria de alto risco, classe “A”.

## 5.4 RESUMO DOS RESULTADOS

De acordo com a metodologia, se qualquer valor de vulnerabilidade for igual a 10, a barragem é automaticamente taxada como classe “A”, isto é, alto risco. Assim, todas as barragens avaliadas, em ambos cenários, enquadraram-se na categoria de alto risco unicamente por possuírem qualquer valor de vulnerabilidade igual a 10. Se tal princípio fosse desconsiderado, as barragens avaliadas seriam enquadradas na categoria “C”, normais, no pior cenário possível e como categoria D, no melhor cenário possível, conforme apresentado na tabela 5-46.

Isso leva a alguns pensamentos: Mudar o princípio de avaliação da periculosidade, de modo que barragens inicialmente classificadas como normais não sejam realocadas para uma categoria de risco muito elevado devido à falta de dados, ou então colocar as barragens sob uma profunda inspeção em busca de dados que permitam que a avaliação seja feita com a menor quantidade de dados faltantes possível.

**Tabela 5-46 - Resumo dos Piores e Melhores Cenários**

| Barragem | Altura (m) | Volume (hm³) | Periculosidade (ptos) | Vulnerabilidade (ptos) | Importância Estratégica | Potencial de Risco | Classe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD-119 | 4,00 | 0,3 | 56 | 29 | 1,04 | 44 | C |
| | | | 20 | 25 | | 23 | D |
| AM-788 | 1,50 | <200 | 58 | 31 | 1,16 | 52 | C |
| | | | 22 | 27 | | 28 | D |
| CO-766 | 5,25 | <200 | 52 | 28 | 1,31 | 52 | C |
| | | | 16 | 24 | | 26 | D |
| MM-856 | 3,00 | <200 | 58 | 34 | 1,04 | 48 | C |
| | | | 22 | 30 | | 27 | D |
| PA-814 | 1,50 | <200 | 58 | 36 | 1,08 | 51 | C |
| | | | 22 | 24 | | 25 | D |

Devido à quantidade escassa de dados e à condição de que basta um valor do índice de periculosidade ser igual a 10 para classificar uma barragem como classe “A”, alto risco, todas as barragens analisadas se enquadram na categoria de alto risco. E assim sendo, deveriam ser recomendadas para estudos de descomissionamento.

Entretanto, decidir-se pelo descomissionamento das barragens baseado unicamente no método proposto seria uma imprudência, inicialmente porque a metodologia proposta atua como aproximação inicial, ou seja, avaliação da necessidade de se descomissionar barragens que apresentem riscos operacionais. Uma vez levantada a hipótese de se descomissionar um barramento inicia-se um processo administrativo, técnico, ambiental que deverá ser estudado a fundo por uma, ou mais, equipes de especialistas. Em outras palavras, a metodologia, isoladamente, não pode ser tomada como verdade absoluta para se realizar o descomissionamento de um barramento. O que ela pode e deve fazer é apontar os pontos fracos de um barramento e levantar o questionamento sobre a confiabilidade das estruturas. Nos casos apresentados neste trabalho, os resultados obtidos na aplicação da metodologia são questionáveis por terem sido afetados pela escassez de dados sobre os barramentos.

Assim sendo, a primeira medida recomendada antes de se tomar qualquer decisão de se descomissionar ou não tais barragens é providenciar o levantamento completo de informações de cada obra em questão.

# 6 CONCLUSÕES

Este trabalho abordou aspectos relacionados ao descomissionamento de barragens bem como seus aspectos benéficos e maléficos, legislação, impactos provenientes de um eventual descomissionamento, até mesmo uma escala de periculosidade que uma barragem oferece é apresentada. Tais aspectos, entre outros, foram expostos neste trabalho de modo a deixar uma lista de checagem de assuntos, a ser conferida toda vez que se mencionar a possibilidade de se descomissionar uma barragens.

Originalmente, o objetivo deste estudo previa a idéia de se avaliar a necessidade de se remover uma barragem através da criação de uma escala de necessidade de descomissionamento, testando-a em algumas barragens da bacia do Piracicaba-Capivari-Jundiaí. Porém, no decorrer de sua elaboração, observou-se uma grande dificuldade para sugerir uma metodologia, devido à diversidade de questões a serem abordadas em cada caso. Isto é, quando se pensou em propor uma metodologia que avaliasse a necessidade da existência, condições de conservação, custos de reforma ou descomissionamento de cada barragem, notou-se que a grande quantidade de variáveis envolvidas divergiria muito de uma metodologia razoavelmente simples que pudesse ser aplicada em uma dissertação de mestrado.

O foco passou então a ser a análise do potencial de risco de algumas barragens de maior destaque, que seriam avaliadas conjuntamente com uma abordagem estatística que envolvesse estimativas de custos de cada tipo de descomissionamento praticável em cada barragem. Após tentativas infrutíferas, também não foi possível a formulação de algo simples e prático.

Buscou-se então fazer uma compilação de estudos de caso de descomissionamento, apontando como cada um se sucedeu, de que maneira as obras foram executadas e os eventuais obstáculos com que as obras se depararam.

A idéia de se fazer descomissionamento de um barramento surge a partir do momento em que são levantadas dúvidas sobre a real necessidade da barragem, isto é, sobre os benefícios versus os malefícios que ela traz. A

preocupação sobre a questão da segurança que a barragem oferece aumenta com o passar do tempo, já que a confiabilidade na estrutura do barramento começa a diminuir devido à proximidade do término de sua vida útil. Em alguns casos, antes mesmo do término da vida útil do barramento, o reservatório encontra-se consideravelmente assoreado, comprometendo a finalidade de seu uso. O descomissionamento pode ainda ser instigado pela vontade pública de promover a recuperação da livre circulação da fauna pelo curso d'água ou mesmo a navegação.

Casos com barragens dispostas em cascata em um rio, a avaliação de vulnerabilidade dessas obras não deveria ser feita de forma pontual, mas sim sistêmica. O posicionamento de cada barragem no rio deve ser analisado, considerando a presença de infra-estrutura, população e demais barragens ameaçadas,

Independentemente de qual for o motivo que estimule a necessidade de descomissionamento, recomenda-se ter em mãos os dados históricos antes e após a construção da barragem para que, assim, seja possível compará-los e averiguar quais as alterações sofridas pelo ambiente ao longo dos anos em razão da presença do barramento. Recomenda-se ainda ter em mãos os dados atuais da barragem e procurar estimar possíveis cenários futuros após a remoção da barragem, para que possam ser considerados melhorias ou retrocessos sobre diversos aspectos que envolvam a estrutura.

Entretanto, tais tipos de dados são difíceis de delimitar devido à singularidade de cada barragem. Seria imprudente tentar determinar exatamente quais tipos de dados deveriam ser pesquisados e catalogados para todas as barragens. Afinal, certos questionamentos e dados de algumas barragens não fazem sentido em outras, ou simplesmente não existem. Porém, o que pode e deve ser observado são dados das condições do entorno do reservatório. Não apenas dados hidráulicos, hidrológicos, qualidade de água, diversidade biológica dentre outras análises preliminares e características do rio, mas também as influências sócio-econômicas e ambientais que aquela barragem causou, ou está causando, ao longo de sua vida útil.

Após reunir dados sobre a barragem, os órgãos de meio ambiente, recursos hídricos, transporte, saneamento, geração de energia elétrica, dentre outros, responsáveis e que tenham algum envolvimento com o barramento devem ser consultados sobre a possibilidade de descomissionar tal estrutura. Reunir uma equipe técnica de especialistas para elaborar planos detalhados sobre o procedimento do descomissionamento sobre diferentes aspectos, tais como, manejo da água, sedimentos, ocupação do solo, restauração do ambiente e fauna piscícola.

Dependendo de quem seja o proprietário da barragem - privado, público ou misto – deve ser definido quem será onerado pelo descomissionamento. Mesmo que a barragem seja particular, órgãos públicos podem interferir e auxiliar com os gastos de tal obra se for de interesse público. Analisando os pontos a favor e contra a remoção da barragem, o público pode se manifestar em audiência pública, no caso de ser uma barragem não-privada. O plano de descomissionamento deve ser apresentado ao público para manifestação do interesse do mesmo. Por se tratar de uma obra, o descomissionamento deverá passar por todo trâmite ambiental legal, para obtenção das licenças necessárias para dar prosseguimento ao trabalho.

No cenário brasileiro, o assunto descomissionamento não é difundido e não há aparato legal específico. Com o passar dos anos, a vida útil de diversos barramentos finalmente chegará ao fim e será necessário que o processo de descomissionamento de barragens já esteja discutido e simulado, para que, ao chegar o momento de ocorrer tal operação, etapas de procedimento já estejam prontas para que sejam menos conturbadas. Em tal aparato também deverá constar de onde sairá a verba para bancar os custos do descomissionamento. Ou então propor uma parte do orçamento da obra no momento da construção destinado para seu descomissionamento.

Recomenda-se que todo caso de descomissionamento tenha um relato detalhado de seu procedimento, haja vista que não existe existem muitos estudos a respeito, além de não haver uma padronização de metodologia a ser seguida. Dessa forma, toda e qualquer informação registrada poderia ser aproveitada como experiência em outros casos de descomissionamento que estejam em andamento ou em casos de futuros descomissionamentos.

Analisando-se os casos pesquisados da experiência internacional, verificou-se que a obra para remoção dos barramentos é conceitualmente simples, com abertura de brechas na barragem, rebaixamento do reservatório e posterior remoção do restante da barragem ou manutenção do restante da barragem para remanescente histórico. Em casos mais complexos, houve a construção de canal by-pass para desvio do rio enquanto sedimento era retirado ou estabilizado conjuntamente com a remoção do barramento.

A metodologia de avaliação de vulnerabilidade embasada naquela proposta por Menescal et al (2001) se mostrou de fácil aplicação e adaptação, porém não deve ser tomada como única maneira de se avaliar a periculosidade, vulnerabilidade e importância estratégica de uma barragem. O que foi aplicado neste trabalho servirá como alerta para aquelas barragens que deverão merecer atenção especial em seus monitoramentos.

As barragens deveriam apresentar certa flexibilidade em seu projeto bem como incorporar o descomissionamento ao mesmo de modo a atender futuras demandas que possam surgir. Por exemplo, uma rota para construção de um canal lateral para algum uso futuro ou para esvaziar seu reservatório futuramente, no caso de descomissionar tal estrutura.

Embora o cadastro de barragens das bacias PCJ contenha uma quantidade razoável de elementos sobre a hidráulica dos barramentos, a metodologia aplicada para se avaliar a periculosidade de barragens não pôde atingir seu máximo potencial devido à falta de informações desses barramentos. Antes de uma nova campanha de vistorias mais detalhadas para obtenção de dados completos sobre os barramentos, recomenda-se que ao cadastro de barragens sejam incorporadas novas informações sobre possíveis alterações ecológicas, limnológicas e sedimentológicas do entorno dos barramentos, conforme a proposta de trabalho.

Pela metodologia, fica claro que a confiabilidade das estruturas vertedoras, a percolação, as deformações / afundamentos / assentamentos e a deterioração dos taludes / paramentos são elementos de maior sensibilidade no que se refere à vulnerabilidade da barragem. Afinal, basta que qualquer um desses elementos tenha a maior pontuação possível para que a barragem seja

considerada como de alto risco. De fato esse julgamento conservador tem seus motivos, já que qualquer índice de vulnerabilidade que esteja em estado crítico, com máxima pontuação, é suficiente para colocar em risco a estrutura mesmo que os demais índices de vulnerabilidade apresentem baixa pontuação, revelando uma melhor conservação da barragem em outros aspectos.

Entretanto, não é recomendado atribuir a máxima pontuação de um elemento pela simples ausência de dados do mesmo, como ocorreu no pior cenário do estudo de caso deste trabalho. Ao fazê-lo, subestima-se o bom estado de conservação do barramento, favorecendo-se uma decisão a favor do descomissionamento de uma estrutura que, na realidade, pode encontrar-se em operação de maneira adequada. Por isso, vale lembrar a importância de um banco de dados confiável com dados colhidos regularmente e consistidos.

Recomenda-se que dados fundamentais sobre a barragem, tais como seu estado de conservação, população a jusante em risco, finalidades do seu uso entre outros sejam obrigatoriamente preenchidos naquele cadastro. Caso contrário, a aplicação de uma metodologia para avaliação de vulnerabilidade não pode ser utilizada.

Dentre os cinco barramentos analisados, dois possuíam dados completos para cálculo da vulnerabilidade enquanto que outros três não dispunham de dados, entretanto tal ausência foi preenchida por dois cenários opostos entre si que caracterizavam a completa falha e o perfeito funcionamento dessas estruturas.

O zoneamento do perigo nas áreas a jusante das barragens deveria começar a ser implantado para aquelas estruturas que ofereçam riscos à população, como observado em diversos casos do estudo apresentado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Despacho nº 652 de 9 de Dezembro de 2003. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf> Acesso: 20 de Maio de 2009.

ALMA DO RIO. Ilustração de escada de peixes. Disponível em <http://www.almadorio.org.br/represa.htm> Acesso: 02 de Fevereiro de 2010.

AMERICAN RIVERS. **Dam Removal and Historic Preservation - Reconciling Dual Objectives.** American Rivers, 2008.

—. **The Ecology of Dam Removal - A summary of Benefits and impacts.** Washington, DC - EUA : American Rivers, 2002.

ANDERSEN, G. R.; BARBER, M. E. **Condition Assessment Needs for Prioritizing Small Dam Removal.** 2000.

BALBI, D.A.F. **Metodologias para a Elaboração de Planos de Ações Emergenciais para Inundações Induzidas por Barragens. Estudo de Caso: Barragem de Peti-MG.** 2008 Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BARBER, M.E.; PERKINS, D.E. **Evaluating Stream Restoration Options after Dam Removal Using HEC-RAS.** Water Resources. 2000.

BECKER, D.H. **The challenges of Dam Removal: The History and Lessons of the Condict Dam and Potencial Threats from the 2005 Federal Power Act Amendments.**

BRASIL. Decreto n. 5847 de 14 de Julho de 2006. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções Gratificadas do Ministério da Integração Nacional, e dá outras providências. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/Decreto/D5847.htm > Acesso: 02 de Novembro de 2009.

BRASIL. Projeto de Lei 1181 de 2003. Estabelece diretrizes para verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais. Disponível em <

http://www.camara.gov.br/sileg/integras/137545.pdf> Acesso: 04 de Abril de 2010.

BRASPOWER. BrasPower International Engineering. Esquema de Casa de Força. Colorida. Disponível em: < http://www.braspower.com.br/legacy/saltocaxias.html > Acesso: 29 de Abril de 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 1 de 17 de Fevereiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2008

—. Resolução n. 237 de 19 de Dezembro de 1997. Dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental e no exercício da competência, bem como as atividades e empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2008

—. Resolução n. 357 de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2008

CUI, Y.; BRAUDICK, C.; ROTHERT, S. **Preliminary Assessment of Sediment Transport Dynamics Following Dam Removal: A Case Study.** 2005.

DEHEER, L. **Dam Decommissioning.** 2001.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE)**.** Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas. São Paulo. 2005.

DONOVAN, K. **Discontinuance of Warren dam, Hampshire, UK.** 2008.

ENGECORPS; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (FCTH); FUNDO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Cadastramento e Avaliação de Barramentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. São Paulo.** 2005.

ESTEVES, F, de A. **Fundamentos da Limnologia.** Rio de Janeiro, RJ. 1998.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). **Federal Guidelines for Dam Safety - Hazard Potential Classification System for Dams.** 1998.

FERNANDEZ, J. C.; GARRIDO, R. J. **Economia dos Recursos Hídricos.** Salvador-BA. EDUFBA. 2002.

FRIENDS OF EARTH; AMERICAN RIVERS; TROUT UNLIMITED. **Dam Removal Success Stories - Restoring Rivers Through Selective Removal of Dams that don't Make Sense.** American Rivers. 1999.

— **Dam Removal Success Stories.** 1999.

GAMERCY BOOKS. **Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language.** Avenel, New Jersey : Gramercy Books, 1989.

GOODELL, C.R. ; BRADLEY, J. B. **Sediment Management for Dam Removal: An HEC-6 Approach.** ASCE, 2005.

GRANATA, T.; CHENG, F.; NECHVATAL, M. **Discharge and Suspended Sediment Transport during Deconstruction of a Low-Head Dam.** Journal of Hydraulic Engineering. Maio, 2008.

HOTCHKISS, R. H.; Huang, X. **Hydrosuction Sediment-Removal Systems (HSRS): Principles and Field Test.** Journal of Hidraulic Engineering. Junho, 1995.

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS (ICOLD). **Dams and The Environment** - Bulletin 35. Paris : International Committee on Damming and The Environment, 1980.

KELLER, T. M. **Dam Decommissioning: Removing Marmot Dam.** HydroWorld. Disponível em <http://www.hydroworld.com/index/display/article-display/9109626575/articles/hydro-review/volume-28/issue-6/featured-articles/articles/dam-decommissioning.html> Acesso: 20 de Março de 2010.

KLUMPP, C.; BOUNTRY, J.; GREIMANN, B. **Case Studies in Dam Decommissioning at the Bureau of Reclamation.** World Water Congress. 2003.

LANE, N. **Dam Removal: Issues, Considerations and Controversies.** 2006.

LINDLOFF, S. D.; SCHILLING, K. E. **Dam Removal Policy Recommendations: Results of The Aspen Institute Dialogue.** World Water Congress. 2003.

LOOMIS, J. B. **Environmental Valuation Techniques in Water Resource Decision Making.** Journal of Water Resources Planning and Management. Novembro/Dezembro. 2000.

MARTINS, S. L. **Sistemas para Transposição de Peixes.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MENESCAL, R. A.; CRUZ, P. T.; CARVALHO, R. V.; FONTENELLE, A. S.; OLIVEIRA, S. K. F. **Uma Metodologia para Avaliação do Potencial de Risco em Barragens do Semi-Árido.** 2001.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa n. 62 de 17 de Dezembro de 2002. Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. Disponível em < http://www.proambientaltecnologia.com.br/legislacao/delibera%C3%A7%C3%A3o-normativa-copam-n62.pdf> Acesso em 3 de Janeiro de 2010.

—. Deliberação Normativa n. 87 de 17 de Junho de 2005. Altera e complementa a deliberação normativa COPAM n. 62, de 17/12/2002, que dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. Disponível em < http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8251> Acesso em 3 de Janeiro de 2010.

PLANNING AND CONSERVATION LEAGUE. **San Clemente Dam Removal Project. Project Description.** Disponível em < http://www.pcl.org/projects/San-Clemente-Project-Description.pdf> Acesso: 27 de Janeiro de 2010.

PLATT, J. L. **Economic Analysis of Dam Decommissioning.** US Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2003.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** Escola de Engenharia de São Carlos, EDUSP, 1998.

RYE, M. E. **Dam Removals - A discussion of Issue and Impacts Water Resources.** 2000.

SENTINELLES PETITCODIAC RIVERKEEPER. **Reclaiming Free Flow - An Information Guide on Removing Small Abandoned Dams.** Moncton, New Brunswick - Canada : Sentinelles Petitcodiac Riverkeeper, 2002.

SHIELDS JR, F. D.; COPELAND, R. R.; KLINGEMAN, P. C.; DOYLE, M. W.; SIMON, A. **Design for Stream Restoration**. Journal of Hydraulic Engineering. 2003.

SILVA, R. S. L.; MAINIER, F. B. **Descomisisonamento de Sistemas de Produção Offshore de Petróleo**, 2008.

SKALAK, K; PIZZUTO, J. **The Geomorphic Effects of Existing Dams and Historic Dam Removals in the mid-Atlantic Region**, USA. 2005.

SLUNGA, E. **Concept and Bases of Risk Analysis for Dams: With and example application on Kyrkösjärvi dam**. 2001.

STEWART, G.; GRANT, G. **What can we learn from the removal of little dinky dams?** 2005.

THE ASPEN INSTITUTE **Dam Removal - A New Option For a New Century.** Washington, DC - EUA : The Aspen Institute, 2002.

UEMURA, S. **Instrumentos de Avaliação e Gestão de Impactos Gerados por Rupturas de Barragens.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Preliminary Restoration Plan (PRP) for the 5th Avenue Dam Removal / Modification Ecosystem Restoration Project.** Huntington, 2004.

VISEU, T. **Segurança dos vales a jusante de barragens. Metodologias de apoio à gestão do risco.** Lisboa: LNEC, 2006.

YOUNG REPORTERS FOR THE ENVIRONMENT. Ilustração de lago eutrofizado. Disponível em < http://www.youngreporters.org/article.php3?id_article=3766> Acesso: 02 de Fevereiro de 2010.

# ANEXOS

## ANEXO A – CADASTRO DE BARRAGENS

| Ordem | Município | Código | Norte UTM | Este UTM |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Rio Claro | RC 001 | 7.520.250 | 234.700 |
| 2 | Rio Claro | RC 002 | 7.520.139 | 238.871 |
| 3 | Rio Claro | RC 003 | 7.519.450 | 240.450 |
| 4 | Rio Claro | RC 004 | 7.529.047 | 243.285 |
| 7 | Sta Gertrudes | SG 007 | 7.515.850 | 241.700 |
| 8 | Sta Gertrudes | SG 008 | 7.515.364 | 241.019 |
| 9 | Sta Gertrudes | SG 009 | 7.512.116 | 241.585 |
| 10 | Sta Gertrudes | SG 010 | 7.515.116 | 238.596 |
| 12 | Analândia | AN 012 | 7.553.119 | 225.526 |
| 13 | Ipeuna | IP 013 | 7.519.855 | 223.035 |
| 17 | Charqueada | CH 017 | 7.509.544 | 218.113 |
| 18 | Charqueada | CH 018 | 7.508.009 | 216.677 |
| 19 | Charqueada | CH 019 | 7.508.754 | 214.377 |
| 23 | Charqueada | CH 023 | 7.505.934 | 222.137 |
| 35 | São Pedro | SP 035 | 7.506.353 | 199.187 |
| 37 | São Pedro | SP 037 | 7.504.951 | 200.640 |
| 38 | São Pedro | SP 038 | 7.504.377 | 203.181 |
| 39 | São Pedro | SP 039 | 7.505.210 | 198.122 |
| 44 | São Pedro | SP 044 | 7.502.807 | 200.636 |
| 48 | São Pedro | SP 048 | 7.500.482 | 205.482 |
| 49 | São Pedro | SP 049 | 7.499.760 | 207.490 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 51 | São Pedro | SP 051 | 7.497.346 | 206.087 |
| 59 | Águas de São Pedro | AS 059 | 7.497.080 | 204.848 |
| 71 | Piracicaba | PC 071 | 7.497.060 | 232.224 |
| 75 | Piracicaba | PC 075 | 7.491.206 | 213.467 |
| 76 | Piracicaba | PC 076 | 7.491.182 | 215.221 |
| 81 | Piracicaba | PC 081 | 7.485.793 | 232.739 |
| 82 | Piracicaba | PC 082 | 7.485.551 | 231.620 |
| 84 | Piracicaba | PC 084 | 7.483.774 | 233.707 |
| 85 | Piracicaba | PC 085 | 7.482.265 | 234.852 |
| 86 | Piracicaba | PC 086 | 7.482.247 | 233.854 |
| 87 | Piracicaba | PC 087 | 7.481.307 | 234.468 |
| 94 | Piracicaba | PC 094 | 7.476.532 | 226.160 |
| 98 | Iracemápolis | IR 098 | 7.503.203 | 239.194 |
| 102 | Iracemápolis | IR 102 | 7.501.471 | 242.204 |
| 103 | Iracemápolis | IR 103 | 7.501.702 | 240.998 |
| 104 | Iracemápolis | IR 104 | 7.500.706 | 239.497 |
| 115 | Cordeirópolis | CD 115 | 7.516.254 | 248.446 |
| 117 | Cordeirópolis | CD 117 | 7.514.320 | 247.578 |
| 119 | Cordeirópolis | CD 119 | 7.514.465 | 251.348 |
| 129 | Cordeirópolis | CD 129 | 7.511.355 | 247.497 |
| 133 | Piracaia | PI 133 | 7.452.134 | 367.245 |
| 137 | Piracaia | PI 137 | 7.446.567 | 355.617 |
| 165 | Bragança | BR 165 | 7.454.876 | 344.690 |
| 179 | Pinhalzinho | PN 179 | 7.474.900 | 341.613 |
| 188 | Tuiuti | TU 188 | 7.480.518 | 326.409 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 193 | Tuiuti | TU 193 | 7.474.795 | 331.258 |
| 205 | Morungaba | MO 205 | 7.467.224 | 316.267 |
| 206 | Morungaba | MO 206 | 7.467.483 | 315.194 |
| 215 | Atibaia | AT 215 | 7.449.917 | 331.436 |
| 218 | Atibaia | AT 218 | 7.448.208 | 330.208 |
| 219 | Atibaia | AT 219 | 7.446.040 | 332.138 |
| 224 | Atibaia | AT 224 | 7.444.355 | 339.800 |
| 227 | Atibaia | AT 227 | 7.443.948 | 344.129 |
| 229 | Atibaia | AT 229 | 7.437.759 | 335.808 |
| 245 | Jarinu | JR 245 | 7.444.724 | 325.617 |
| 246 | Jarinu | JR 246 | 7.443.139 | 323.489 |
| 248 | Jarinu | JR 248 | 7.440.796 | 325.149 |
| 250 | Jarinu | JR 250 | 7.439.444 | 326.140 |
| 267 | Itatiba | IT 267 | 7.459.362 | 313.512 |
| 274 | Itatiba | IT 274 | 7.448.031 | 312.895 |
| 282 | Louvreira | LO 282 | 7.444.759 | 300.927 |
| 283 | Louvreira | LO 283 | 7.446.388 | 299.361 |
| 284 | Louvreira | LO 284 | 7.447.265 | 298.137 |
| 285 | Vinhedo | VI 285 | 7.453.756 | 295.284 |
| 286 | Vinhedo | VI 286 | 7.452.821 | 298.298 |
| 287 | Vinhedo | VI 287 | 7.451.649 | 299.496 |
| 288 | Vinhedo | VI 288 | 7.452.401 | 303.415 |
| 291 | Vinhedo | VI 291 | 7.448.497 | 295.939 |
| 303 | Jundiaí | JU 303 | 7.438.805 | 315.875 |
| 304 | Jundiaí | JU 304 | 7.437.724 | 315.693 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 306 | Jundiaí | JU 306 | 7.438.506 | 309.600 |
| 307 | Jundiaí | JU 307 | 7.437.088 | 313.286 |
| 309 | Jundiaí | JU 309 | 7.439.934 | 297.097 |
| 312 | Jundiaí | JU 312 | 7.434.794 | 303.253 |
| 313 | Jundiaí | JU 313 | 7.433.860 | 303.069 |
| 315 | Jundiaí | JU 315 | 7.431.765 | 294.004 |
| 322 | Itupeva | IU 322 | 7.448.005 | 285.829 |
| 325 | Itupeva | IU 325 | 7.442.222 | 290.166 |
| 334 | Itupeva | IU 334 | 7.431.935 | 287.136 |
| 340 | Valinhos | VA 340 | 7.464.796 | 299.107 |
| 341 | Valinhos | VA 341 | 7.465.037 | 296.470 |
| 342 | Valinhos | VA 342 | 7.464.410 | 296.822 |
| 346 | Valinhos | VA 346 | 7.461.468 | 297.155 |
| 347 | Valinhos | VA 347 | 7.461.152 | 300.820 |
| 348 | Valinhos | VA 348 | 7.460.911 | 302.794 |
| 353 | Valinhos | VA 353 | 7.458.200 | 296.300 |
| 354 | Valinhos | VA 354 | 7.455.238 | 296.133 |
| 361 | Valinhos | VA 361 | 7.450.689 | 289.511 |
| 365 | Indaiatuba | IN 365 | 7.448.762 | 273.905 |
| 369 | Indaiatuba | IN 369 | 7.447.546 | 281.978 |
| 370 | Indaiatuba | IN 370 | 7.447.885 | 284.274 |
| 371 | Indaiatuba | IN 371 | 7.448.280 | 283.540 |
| 372 | Indaiatuba | IN 372 | 7.446.620 | 272.070 |
| 374 | Indaiatuba | IN 374 | 7.444.870 | 277.154 |
| 376 | Indaiatuba | IN 376 | 7.442.868 | 276.972 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 377 | Indaiatuba | IN 377 | 7.442.624 | 277.593 |
| 382 | Indaiatuba | IN 382 | 7.440.153 | 273.244 |
| 383 | Indaiatuba | IN 383 | 7.439.442 | 274.517 |
| 384 | Indaiatuba | IN 384 | 7.436.372 | 270.866 |
| 391 | Salto | SA 391 | 7.437.556 | 267.132 |
| 392 | Salto | SA 392 | 7.434.720 | 269.976 |
| 393 | Salto | SA 393 | 7.432.950 | 269.039 |
| 395 | Campinas | CP 395 | 7.483.800 | 301.100 |
| 396 | Campinas | CP 396 | 7.482.420 | 302.552 |
| 398 | Campinas | CP 398 | 7.481.509 | 301.293 |
| 399 | Campinas | CP 399 | 7.480.000 | 303.700 |
| 402 | Campinas | CP 402 | 7.479.459 | 301.565 |
| 411 | Campinas | CP 411 | 7.474.900 | 296.800 |
| 412 | Campinas | CP 412 | 7.472.500 | 296.400 |
| 413 | Campinas | CP 413 | 7.471.964 | 295.846 |
| 423 | Campinas | CP 423 | 7.482.337 | 290.922 |
| 424 | Campinas | CP 424 | 7.481.853 | 290.164 |
| 426 | Campinas | CP 426 | 7.479.556 | 290.741 |
| 428 | Campinas | CP 428 | 7.479.730 | 293.020 |
| 429 | Campinas | CP 429 | 7.477.879 | 286.303 |
| 431 | Campinas | CP 431 | 7.476.574 | 285.617 |
| 433 | Campinas | CP 433 | 7.476.015 | 287.133 |
| 435 | Campinas | CP 435 | 7.476.673 | 291.704 |
| 437 | Campinas | CP 437 | 7.476.969 | 293.781 |
| 438 | Campinas | CP 438 | 7.476.336 | 294.237 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 440 | Campinas | CP 440 | 7.475.120 | 293.464 |
| 442 | Campinas | CP 442 | 7.471.369 | 288.438 |
| 466 | Sta Barbara d'Oeste | SB 466 | 7.482.173 | 253.013 |
| 467 | Sta Barbara d'Oeste | SB 467 | 7.481.196 | 252.595 |
| 468 | Sta Barbara d'Oeste | SB 468 | 7.480.782 | 252.225 |
| 472 | Sta Barbara d'Oeste | SB 472 | 7.478.883 | 249.218 |
| 473 | Sta Barbara d'Oeste | SB 473 | 7.478.238 | 249.585 |
| 475 | Sta Barbara d'Oeste | SB 475 | 7.479.468 | 252.871 |
| 476 | Sta Barbara d'Oeste | SB 476 | 7.478.431 | 252.878 |
| 477 | Sta Barbara d'Oeste | SB 477 | 7.478.484 | 255.519 |
| 479 | Sta Barbara d'Oeste | SB 479 | 7.479.739 | 257.241 |
| 480 | Sta Barbara d'Oeste | SB 480 | 7.475.855 | 253.047 |
| 483 | Sta Barbara d'Oeste | SB 483 | 7.472.771 | 254.084 |
| 490 | Capivari | CV 490 | 7.461.611 | 246.959 |
| 491 | Capivari | CV 491 | 7.460.070 | 249.520 |
| 492 | Capivari | CV 492 | 7.459.561 | 251.020 |
| 494 | Capivari | CV 494 | 7.458.762 | 246.169 |
| 495 | Capivari | CV 495 | 7.456.107 | 248.666 |
| 496 | Capivari | CV 496 | 7.453.955 | 244.003 |
| 497 | Capivari | CV 497 | 7.453.782 | 245.251 |
| 499 | Capivari | CV 499 | 7.449.207 | 246.078 |
| 512 | Mombuca | MB 512 | 7.463.151 | 233.930 |
| 532 | Limeira | LI 532 | 7.509.247 | 267.005 |
| 543 | Limeira | LI 543 | 7.499.954 | 257.891 |
| 544 | Limeira | LI 544 | 7.499.596 | 249.268 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 547 | Limeira | LI 547 | 7.497.489 | 254.730 |
| 548 | Limeira | LI 548 | 7.497.131 | 256.574 |
| 552 | Limeira | LI 552 | 7.468.666 | 260.097 |
| 553 | Limeira | LI 553 | 7.490.102 | 261.648 |
| 554 | Limeira | LI 554 | 7.489.616 | 245.595 |
| 570 | Artur Nogueira | AR 570 | 7.502.830 | 274.779 |
| 572 | Artur Nogueira | AR 572 | 7.501.000 | 277.900 |
| 573 | Artur Nogueira | AR 573 | 7.500.115 | 276.216 |
| 581 | Campinas | CP 581 | 7.468.900 | 305.700 |
| 582 | Campinas | CP 582 | 7.470.788 | 286.383 |
| 583 | Campinas | CP 583 | 7.470.085 | 285.625 |
| 585 | Campinas | CP 585 | 7.468.862 | 286.107 |
| 586 | Campinas | CP 586 | 7.466.647 | 292.453 |
| 587 | Campinas | CP 587 | 7.468.622 | 282.757 |
| 588 | Campinas | CP 588 | 7.466.792 | 282.464 |
| 589 | Campinas | CP 589 | 7.464.457 | 280.032 |
| 590 | Campinas | CP 590 | 7.462.852 | 276.766 |
| 594 | Campinas | CP 594 | 7.459.484 | 277.479 |
| 596 | Campinas | CP 596 | 7.459.559 | 280.022 |
| 597 | Campinas | CP 597 | 7.459.621 | 281.126 |
| 598 | Campinas | CP 598 | 7.459.613 | 283.594 |
| 599 | Campinas | CP 599 | 7.459.700 | 287.140 |
| 601 | Campinas | CP 601 | 7.459.481 | 291.298 |
| 602 | Campinas | CP 602 | 7.457.346 | 287.678 |
| 615 | Campinas | CP 615 | 7.448.985 | 284.140 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 616 | Campinas | CP 616 | 7.449.119 | 286.116 |
| 619 | Campinas | CP 619 | 7.448.995 | 281.727 |
| 620 | Pedreira | PD 620 | 7.487.300 | 303.000 |
| 623 | Pedreira | PD 623 | 7.486.334 | 299.818 |
| 624 | Pedreira | PD624 | 7.485.240 | 306.751 |
| 625 | Pedreira | PD 625 | 7.482.641 | 308.897 |
| 626 | Pedreira | PD 626 | 7.481.646 | 306.625 |
| 641 | Amparo | AP 641 | 7.500.166 | 309.185 |
| 650 | Amparo | AP 650 | 7.491.200 | 313.800 |
| 658 | Amparo | AP 658 | 7.486.850 | 310.300 |
| 659 | Amparo | AP 659 | 7.486.700 | 309.300 |
| 660 | Amparo | AP 660 | 7.485.300 | 310.200 |
| 661 | Amparo | AP 661 | 7.484.678 | 310.005 |
| 665 | Amparo | AP 665 | 7.482.000 | 312.900 |
| 666 | Amparo | AP 666 | 7.481.900 | 316.500 |
| 673 | Holambra | HO 673 | 7.496.694 | 287.822 |
| 675 | Holambra | HO 675 | 7.495.614 | 289.049 |
| 676 | Holambra | HO 676 | 7.495.706 | 288.018 |
| 677 | Holambra | HO 677 | 7.496.221 | 291.252 |
| 683 | Sto Antônio da Posse | SN 683 | 7.501.185 | 290.322 |
| 688 | Sto Antônio da Posse | SN 688 | 7.502.436 | 301.382 |
| 689 | Sto Antônio da Posse | SN 689 | 7.401.544 | 303.506 |
| 691 | Sto Antônio da Posse | SN 691 | 7.498.774 | 304.161 |
| 692 | Sto Antônio da Posse | SN 692 | 7.498.193 | 302.160 |
| 702 | Sto Antônio da Posse | SN 702 | 7.500.578 | 294.482 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 707 | Mogi Mirim | MG 707 | 7.511.176 | 291.501 |
| 715 | Mogi Mirim | MG 715 | 7.509.457 | 299.908 |
| 721 | Mogi Mirim | MG 721 | 7.508.145 | 298.507 |
| 723 | Mogi Mirim | MG 723 | 7.505.000 | 300.750 |
| 725 | Mogi Mirim | MG 725 | 7.504.553 | 298.744 |
| 726 | Mogi Mirim | MG 726 | 7.505.268 | 297.687 |
| 741 | Jaguariúna | JA 741 | 7.492.983 | 294.868 |
| 745 | Jaguariúna | JA 745 | 7.491.024 | 292.704 |
| 746 | Jaguariúna | JA 746 | 7.491.439 | 296.644 |
| 747 | Jaguariúna | JA 747 | 7.491.266 | 297.486 |
| 750 | Jaguariúna | JA 750 | 7.491.643 | 290.333 |
| 751 | Jaguariúna | JA 751 | 7.490.734 | 290.749 |
| 752 | Jaguariúna | JA 752 | 7.489.791 | 291.161 |
| 754 | Jaguariúna | JA 754 | 7.488.835 | 289.410 |
| 755 | Jaguariúna | JA 755 | 7.486.195 | 295.292 |
| 756 | Jaguariúna | JA 756 | 7.487.541 | 299.650 |
| 760 | Jaguariúna | JA 760 | 7.485.237 | 287.929 |
| 764 | Cosmópolis | CO 764 | 7.495.994 | 275.461 |
| 766 | Cosmópolis | CO 766 | 7.493.346 | 273.943 |
| 767 | Cosmópolis | CO 767 | 7.492.165 | 272.219 |
| 771 | Cosmópolis | CO 771 | 7.489.569 | 274.517 |
| 774 | Cosmópolis | CO 774 | 7.488.809 | 279.277 |
| 776 | Cosmópolis | CO 776 | 7.487.030 | 275.943 |
| 777 | Cosmópolis | CO 777 | 7.468.377 | 275.378 |
| 778 | Americana | AM 778 | 7.491.055 | 265.701 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 781 | Americana | AM 781 | 7.488.235 | 265.428 |
| 782 | Americana | AM 782 | 7.483.033 | 266.754 |
| 783 | Americana | AM 783 | 7.482.457 | 266.715 |
| 784 | Americana | AM 784 | 7.481.629 | 267.932 |
| 786 | Americana | AM 786 | 7.482.047 | 258.207 |
| 787 | Americana | AM 787 | 7.480.935 | 259.070 |
| 788 | Americana | AM 788 | 7.479.335 | 259.830 |
| 790 | Nova Odessa | NO 790 | 7.479.675 | 267.964 |
| 791 | Nova Odessa | NO 791 | 7.478.311 | 266.794 |
| 792 | Nova Odessa | NO 792 | 7.479.918 | 265.030 |
| 793 | Nova Odessa | NO 793 | 7.479.311 | 263.248 |
| 794 | Nova Odessa | NO 794 | 7.478.944 | 261.073 |
| 795 | Nova Odessa | NO 795 | 7.478.111 | 260.543 |
| 796 | Nova Odessa | NO 796 | 7.477.185 | 259.723 |
| 797 | Nova Odessa | NO 797 | 7.476.747 | 260.699 |
| 800 | Nova Odessa | NO 800 | 7.474.315 | 262.848 |
| 806 | Paulínia | PA 806 | 7.485.403 | 275.725 |
| 809 | Paulínia | PA 809 | 7.481.480 | 280.541 |
| 811 | Paulínia | PA 811 | 7.480.105 | 277.632 |
| 812 | Paulínia | PA 812 | 7.481.417 | 279.572 |
| 813 | Paulínia | PA 813 | 7.478.419 | 278.539 |
| 814 | Paulínia | PA 814 | 7.476.951 | 278.164 |
| 815 | Paulínia | PA 815 | 7.477.790 | 279.644 |
| 816 | Paulínia | PA 816 | 7.478.606 | 280.398 |
| 817 | Paulínia | PA 817 | 7.477.904 | 283.699 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 818 | Sumaré | SU 818 | 7.475.123 | 276.375 |
| 819 | Sumaré | SU 819 | 7.474.617 | 275.549 |
| 820 | Sumaré | SU 820 | 7.475.845 | 274.907 |
| 821 | Sumaré | SU 821 | 7.475.440 | 274.492 |
| 822 | Sumaré | SU 822 | 7.473.744 | 273.666 |
| 824 | Sumaré | SU 824 | 7.476.070 | 266.047 |
| 825 | Sumaré | SU 825 | 7.474.976 | 268.003 |
| 826 | Sumaré | SU 826 | 7.474.363 | 268.110 |
| 827 | Sumaré | SU 827 | 7.473.818 | 265.221 |
| 828 | Sumaré | SU 828 | 7.473.401 | 264.236 |
| 829 | Sumaré | SU 829 | 7.472.959 | 254.599 |
| 830 | Sumaré | SU 830 | 7.471.921 | 268.567 |
| 831 | Sumaré | SU 831 | 7.471.331 | 268.059 |
| 833 | Sumaré | SU 833 | 7.470.768 | 265.283 |
| 834 | Sumaré | SU 834 | 7.469.910 | 264.896 |
| 835 | Sumaré | SU 835 | 7.468.937 | 264.478 |
| 837 | Sumaré | SU 837 | 7.467.677 | 266.489 |
| 838 | Sumaré | SU 838 | 7.469.960 | 270.200 |
| 839 | Sumaré | SU 839 | 7.469.317 | 270.067 |
| 840 | Sumaré | SU 840 | 7.471.769 | 262.284 |
| 841 | Sumaré | SU 841 | 7.472.647 | 261.538 |
| 843 | Hortolândia | HT 843 | 7.468.669 | 270.066 |
| 845 | Hortolândia | HT 845 | 7.466.874 | 270.268 |
| 846 | Hortolândia | HT 846 | 7.467.840 | 271.608 |
| 847 | Hortolândia | HT 847 | 7.466.033 | 272.622 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 848 | Hortolândia | HT 848 | 7.467.112 | 274.234 |
| 850 | Hortolândia | HT 850 | 7.466.202 | 274.996 |
| 851 | Hortolândia | HT 851 | 7.465.482 | 276.073 |
| 853 | Monte Mor | MM 853 | 7.460.935 | 259.421 |
| 854 | Monte Mor | MM 854 | 7.459.006 | 257.255 |
| 855 | Monte Mor | MM 855 | 7.458.898 | 255.817 |
| 856 | Monte Mor | MM 856 | 7.457.336 | 260.089 |
| 857 | Monte Mor | MM 857 | 7.456.518 | 258.160 |
| 862 | Monte Mor | MM 862 | 7.454.122 | 259.135 |
| 864 | Monte Mor | MM 864 | 7.453.171 | 265.001 |
| 867 | Amparo | AP 867 | 7.476.612 | 316.717 |
| 868 | Amparo | AP 868 | 7.477.526 | 318.831 |
| 871 | Amparo | AP 871 | 7.475.338 | 318.935 |
| 872 | Amparo | AP 872 | 7.475.124 | 315.499 |
| 876 | Elias Fausto | EF 876 | 7.450.116 | 263.662 |
| 878 | Elias Fausto | EF 878 | 7.450.066 | 262.468 |
| 879 | Elias Fausto | EF 879 | 7.450.340 | 253.277 |
| 881 | Elias Fausto | EF 881 | 7.452.041 | 249.551 |
| 882 | Elias Fausto | EF 882 | 7.451.604 | 247.717 |
| 886 | Monte Mor | MM 886 | 7.467.339 | 260.528 |
| 888 | Monte Mor | MM 888 | 7.465.864 | 261.782 |
| 889 | Monte Mor | MM 889 | 7.463.600 | 264.200 |
| 890 | Monte Mor | MM 890 | 7.463.677 | 270.365 |
| 891 | Monte Mor | MM 891 | 7.462.816 | 266.600 |
| 892 | Monte Mor | MM 892 | 7.462.706 | 264.775 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 894 | Monte Mor | MM 894 | 7.461.198 | 264.367 |

# ANEXO B – LEGISLAÇÕES PERTINENTES

*Resolução CONAMA n° 1, de 23 de Janeiro de 1986*

*Art. 1º Considera impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas no meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam:*

*A saúde, a segurança e o bem-estar da população;*
*As atividades sociais e econômicas;*
*A biota;*
*As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;*
*A qualidade dos recursos ambientais.*

*Art. 2º Dependerá da elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental – RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e da Secretaria Especial do Meio Ambiente – SEMA, em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:*

*Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: Barragem para fins energéticos, acima de 10 MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques;*

*Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;*

*Resolução CONAMA n° 237, de 19 de Dezembro de 1997*

*Art.2º A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividade utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.*

*§ 1º Estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no anexo 1, parte desta resolução.*

*§ 2º Caberá ao órgão ambiental competente definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação do anexo 1, levando em consideração as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade.*

*Art. 3º A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideraras efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.*

*Parágrafo único. O órgão ambiental competente, verificando que a atividade ou empreendimento não é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, definirá os estudos ambientais pertinentes ao respectivo processo de licenciamento.*

*Art. 8º O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:*

*Licença Prévia (LP) – concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;*

*Licença de Instalação (LI) – autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos,*

*programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes da qual constituem motivo determinante;*
*Licença de Operação (LO) – autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.*

*Parágrafo único. As licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.*

*Art. 9º O CONAMA definirá, quando necessário, licenças ambientais específicas, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.*

*Art. 10º O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá às seguintes etapas:*

*O órgão ambiental definirá os documentos e os estudos ambientais a serem apresentados pelo empreendedor, dependendo do tipo de licença que se deseja obter;*
*Análise pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados e a realização de vistorias técnicas, quando necessárias. Caso haja necessidade, o órgão ambiental competente poderá solicitar esclarecimentos e complementações dos estudos ambientais apresentados, documentos e projetos, podendo haver reiteração da mesma solicitação de esclarecimentos caso a primeira não tenha sido satisfatória;*
*Audiência pública, quando couber, de acordo com a regulamentação pertinente, com direito a solicitação de esclarecimentos e complementações caso a audiência não tenha sido satisfatória;*
*Emissão de parecer técnico conclusivo e, quando couber, parecer jurídico;*
*Deferimento ou Indeferimento do pedido de licença, dando-se a devida publicidade.*

*§ 1º No procedimento de licenciamento ambiental deverá constar, obrigatoriamente, a certidão da Prefeitura Municipal, declarando que o local e o tipo de empreendimento ou atividade estão em conformidade com a legislação aplicável ao uso e ocupação do solo e, quando for o caso, a autorização para supressão de vegetação e a outorga para o uso da água, emitido pelos órgãos competentes.*
*§ 2º No caso de empreendimentos e atividades sujeitos ao estudo de impacto ambiental – EIA, se verificada a necessidade de nova complementação em decorrência de esclarecimentos já prestados, conforme incisos 4 e 6, o órgão ambiental competente, mediante decisão motivada e com a participação do empreendedor, poderá formular novo pedido de complementação.*

*Art. 12º O órgão ambiental competente definirá, se necessário, procedimentos específicos para as licenças ambientais, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimentos e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.*
*§1º Poderão ser estabelecidos procedimentos simplificados para as atividades e empreendimentos de pequeno potencial de impacto ambiental, que deverão ser aprovados pelos respectivos Conselhos de Meio Ambiente.*
*§2º Poderá ser admitido um único processo de licenciamento ambiental para pequenos empreendimentos e atividades similares e vizinhos ou para aqueles integrantes de planos de desenvolvimento aprovados, previamente, pelo órgão governamental competente, desde que definida a responsabilidade legal pelo conjunto de empreendimentos ou atividades.*
*§3º Deverão ser estabelecidos critérios para agilizar e simplificar os procedimento de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos que implementem planos e programas voluntários de gestão ambiental, visando à melhoria contínua e o aprimoramento do desempenho ambiental.*

*ANEXO 1 – Atividades ou Empreendimentos Sujeitos ao Licenciamento Ambiental*

*Obras civis*

*Barragens e diques;*

*Canais para drenagem;*

*Retificação de curso d'água;*

*Abertura de barras, embocaduras e canais;*

*Transposição de bacias hidrográficas;*

*Serviços de utilidade*

*Dragagem e derrocamentos em corpos d'água;*

*Recuperação de áreas contaminadas ou degradadas;*

*Usos de recursos naturais*

*Silvicultura;*

*Atividade de manejo de fauna exótica e criadouro de fauna silvestre;*

*Utilização do patrimônio genético natural;*

*Manejo de recursos aquáticos vivos;*

*Introdução de espécies exóticas e/ou geneticamente modificadas;*

*Resolução CONAMA n° 357, de 17 de Março de 2005*

*I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;*

*II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;*

*III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰;*

*IV - ambiente lêntico: ambiente que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado;*

*V - ambiente lótico: ambiente relativo às águas continentais moventes;*

*.....*

*IX - classe de qualidade: conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros;*

*X - classificação: qualificação das águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade) atuais e futuros;*

*.....*

*XIV - controle de qualidade da água: conjunto de medidas operacionais que visa avaliar a melhoria e a conservação da qualidade da água estabelecida para o corpo de água;*

*XV - corpo receptor: corpo hídrico superficial que recebe o lançamento de um efluente;*

*XVI - desinfecção: remoção ou inativação de organismos potencialmente patogênicos;*

*XVII - efeito toxico agudo: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos, usualmente letalidade ou alguma outra manifestação que a antecede, em um curto período de exposição;*

*XVIII - efeito toxico crônico: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos que afetam uma ou varias funções biológicas dos organismos, tais como a reprodução, o*

*crescimento e o comportamento, em um período de exposição que pode abranger a totalidade de seu ciclo de vida ou parte dele;*

*XIX - efetivação do enquadramento: alcance da meta final do enquadramento;*

*.....*

*XXIV - metas: e o desdobramento do objeto em realizações físicas e atividades de gestão, de acordo com unidades de medida e cronograma preestabelecidos, de caráter obrigatório;*

*XXV - monitoramento: medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser continua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água;*

*XXVI - padrão: valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente;*

*XXVII - parâmetro de qualidade da água: substancias ou outros indicadores representativos da qualidade da água;*

*XXVIII - pesca amadora: exploração de recursos pesqueiros com fins de lazer ou desporto;*

*XXIX - programa para efetivação do enquadramento: conjunto de medidas ou ações progressivas e obrigatórias, necessárias ao atendimento das metas intermediárias e final de qualidade de água estabelecidas para o enquadramento do corpo hídrico;*

*XXX - recreação de contato primário: contato direto e prolongado com a água (tais como natação, mergulho, esqui-aquático) na qual a possibilidade do banhista ingerir água e elevada;*

*XXXI - recreação de contato secundário: refere-se aquela associada a atividades em que o contato com a água e esporádico ou acidental e a possibilidade de ingerir água e pequena, como na pesca e na navegação (tais como iatismo);*

*XXXII - tratamento avançado: técnicas de remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir a água características, tais como: cor, odor, sabor, atividade toxica ou patogênica;*

*XXXIII - tratamento convencional: clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH;*

*XXXIV - tratamento simplificado: clarificação por meio de filtração e desinfecção e correção de pH quando necessário;*

*XXXV - tributário (ou curso de água afluente): corpo de água que flui para um rio maior ou para um lago ou reservatório;*

*XXXVI - vazão de referencia: vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instancias do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGRH;*

*A resolução ainda apresenta os tipos de usos para as classes das águas bem como os limites para os principais constituintes em cada classe:*

*.....*

*As águas doces são classificadas em:*

*I - classe especial: águas destinadas:*

*a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;*

*b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,*

*c) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.*

*II - classe 1: águas que podem ser destinadas:*

*a) ao abastecimento para consumo humano, apos tratamento simplificado;*

*b) a proteção das comunidades aquáticas;*

*c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;*

*d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e*

*e) a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.*

*III - classe 2: águas que podem ser destinadas:*

*a) ao abastecimento para consumo humano, apos tratamento convencional;*

*b) a proteção das comunidades aquáticas;*

*c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;*

*d) a 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*

*e) a aqüicultura e a atividade de pesca.*

*IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:*

*a) ao abastecimento para consumo humano, apos tratamento convencional ou avançado;*

*b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;*

*c) a pesca amadora;*

*d) a recreação de contato secundário; e*

*e) a dessedentação de animais.*

*V - classe 4: águas que podem ser destinadas:*

*a) a navegação; e*

*b) a harmonia paisagística.*

*Ficam definido também nesta resolução os limites dos padrões físico-químicos dos constituintes de cada classe do corpo hídrico. A seguir são demonstrados os padrões de água doce que se encontram na seção 2, artigo 14.*

*Art. 14. As águas doces de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:*

*I - condições de qualidade de água:*

*a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido.*

*b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;*

*c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;*

*d) substancias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;*

*e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;*

*f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;*

*g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA n° 274, de 2000. Para os demais usos, não devera ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com freqüência bimestral. A E. Coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;*

*h) DBO 5 dias a 20 °C até 3 mg/L O2;*

*i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O2;*

*j) turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);*

*l) cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e*

*m) pH: 6,0 a 9,0.*

*II - Padrões de qualidade de água*

***Padrões de qualidade para águas doces classe 1***

| ***ÁGUAS DOCES - CLASSE 1*** | |
|---|---|
| ***PADRÕES*** | |
| ***PARÂMETROS*** | ***VALOR MÁXIMO*** |
| *Clorofila a* | *10 µg/L* |
| *Densidade de cianobactérias* | *20000 cel/mL ou 2mm³/L* |
| *Sólidos dissolvidos totais* | *500 mg/L* |
| ***PARÂMETROS INORGÂNICOS*** | ***VALOR MÁXIMO*** |
| *Alumínio dissolvido* | *0,1 mg/L Al* |
| *Antimônio* | *0,005 mg/L Sb* |
| *Arsênio total* | *0,01 mg/L As* |
| *Bário total* | *0,7 mg/L Ba* |
| *Berílio total* | *0,04 mg/L Be* |
| *Boro total* | *0,5 mg/L B* |
| *Cádmio total* | *0,001 mg/L Cd* |
| *Chumbo total* | *0,01 mg/L Pb* |
| *Cianeto livre* | *0,005 mg/L CN* |
| *Cloreto total* | *250 mg/L Cl* |
| *Cloro residual total (combinado + livre)* | *0,01 mg/L Cl* |
| *Cobalto total* | *0,05 mg/L Co* |
| *Cobre dissolvido* | *0,009 mg/L Cu* |
| *Cromo total* | *0,05 mg/L Cr* |
| *Ferro dissolvido* | *0,3 mg/L Fe* |
| *Fluoreto total* | *1,4 mg/L F* |
| *Fósforo total (ambiente lêntico)* | *0,02 mg/L P* |
| *Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico)* | *0,025 mg/L P* |
| *Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)* | *0,1 mg/L P* |
| *Lítio total* | *2,5 mg/L Li* |
| *Manganês total* | *0,1 mg/L Mn* |
| *Mercúrio total* | *0,0002 mg/L Hg* |
| *Níquel total* | *0,025 mg/L Ni* |
| *Nitrato* | *10 mg/L N* |
| *Nitrito* | *1 mg/L N* |
| *Nitrogênio amoniacal total* | *3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5*<br>*2,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5*<br>*0,5 mg/L N, para pH > 8,5* |
| *Prata total* | *0,01 mg/L Ag* |
| *Selênio total* | *0,01 mg/L Se* |
| *Sulfato total* | *250 mg/L $SO_4$* |
| *Sulfeto (H2S não dissociado)* | *0,002 mg/L S* |
| *Urânio total* | *0,02 mg/L U* |

| | |
|---|---|
| *Vanádio total* | *0,1 mg/L V* |
| *Zinco total* | *0,18 mg/L Zn* |
| ***PARÂMETROS ORGÂNICOS*** | ***VALOR MÁXIMO*** |
| *Acrilamida* | *0,5 µg/L* |
| *Alacloro* | *20 µg/L* |
| *Aldrin + Dieldrin* | *0,005 µg/L* |
| *Atrazina* | *2 µg/L* |
| *Benzeno* | *0,005 mg/L* |
| *Benzidina* | *0,001 µg/L* |
| *Benzo(a)antraceno* | *0,05 µg/L* |
| *Benzo(a)pireno* | *0,05 µg/L* |
| *Benzo(b)fluoranteno* | *0,05 µg/L* |
| *Benzo(k)fluoranteno* | *0,05 µg/L* |
| *Carbaril* | *0,02 µg/L* |
| *Clordano (cis+trans)* | *0,04 µg/L* |
| *2-Clorofenol* | *0,1 µg/L* |
| *Criseno* | *0,05 µg/L* |
| *2,4-D* | *4,0 µg/L* |
| *Dementon (Dementon-O + Dementon-S)* | *0,1 µg/L* |
| *Dibenzeno(a,h)antraceno* | *0,05 µg/L* |
| *1,2-Dicloroetano* | *0,01 mg/L* |
| *1,1-Dicloroeteno* | *0,003 mg/L* |
| *2,4-Diclorofenol* | *0,3 µg/L* |
| *Diclorometano* | *0,02 mg/L* |
| *DDT (p,p'-DDT +p,p'-DDE + p,p'-DDD)* | *0,002 µg/L* |
| *Dodecacloro pentaciclodecano* | *0,001 µg/L* |
| *Endossulfan (α + β + sulfato)* | *0,056 µg/L* |
| *Endrin* | *0,004 µg/L* |
| *Estireno* | *0,02 mg/L* |
| *Etilbenzeno* | *90,0 µg/L* |
| *Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)* | *0,003 mg/L C6H5OH* |
| *Glifosfato* | *65 µg/L* |
| *Gution* | *0,005 µg/L* |
| *Heptacloro epóxido + Heptacloro* | *0,01 µg/L* |
| *Hexaclorobenzeno* | *0,0065 µg/L* |
| *Indeno (1,2,3-cd)pireno* | *0,05 µg/L* |
| *Lindano (γ-HCH)* | *0,02 µg/L* |
| *Malation* | *0,1 µg/L* |
| *Metolacloro* | *10 µg/L* |
| *Metoxicloro* | *0,03 µg/L* |
| *Paration* | *0,04 µg/L* |
| *PCBs-Bifenilas Policloradas* | *0,001 µg/L* |
| *Pentaclorofenol* | *0,009 mg/L* |

| | |
|---|---|
| *Simazina* | *2,0 µg/L* |
| *Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno* | *0,5 mg/L LAS* |
| *2,4,5-T* | *2,0 µg/L* |
| *Tetracloreto de carbono* | *0,002 mg/L* |
| *Tetracloroeteno* | *0,01 mg/L* |
| *Tolueno* | *2,0 µg/L* |
| *Toxafeno* | *0,01 µg/L* |
| *2,4,5-TP* | *10 µg/L* |
| *Tributilestanho* | *0,063 µg/L TBT* |
| *Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)* | *0,02 mg/L* |
| *Tricloroeteno* | *0,03 mg/L* |
| *2,4,6-Triclorofenol* | *0,01 mg/L* |
| *Trifluralina* | *0,2 µg/L* |
| *Xileno* | *300 µg/L* |

*III - Nas águas doces onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, alem dos padrões estabelecidos no inciso II do artigo 14°, aplicam-se os seguintes padrões em substituição ou adicionalmente:*

***Padrões de qualidade para águas doces classe 1 onde haja pesca***

| ***ÁGUAS DOCES - CLASSE 1*** | |
|---|---|
| ***PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA PESCA OU CULTIVO DE ORGANISMOS PARA FINS DE CONSUMO INTENSIVO*** | |
| ***PARÂMETROS INORGÂNICOS*** | ***VALOR MÁXIMO*** |
| *Arsênio total* | *0,14 µg/L As* |
| ***PARÂMETROS ORGÂNICOS*** | ***VALOR MÁXIMO*** |
| *Benzidina* | *0,0002 µg/L* |
| *Benzo(a)antraceno* | *0,018 µg/L* |
| *Benzo(a)pireno* | *0,018 µg/L* |
| *Benzo(b)fluoranteno* | *0,018 µg/L* |
| *Benzo(k)fluoranteno* | *0,018 µg/L* |
| *Criseno* | *0,018 µg/L* |
| *Dibenzo(a,h)antraceno* | *0,018 µg/L* |
| *3,3-Diclorobenzidina* | *0,028 µg/L* |
| *Heptacloro epóxido + Heptacloro* | *0,000039 µg/L* |
| *Hexaclorobenzeno* | *0,00029 µg/L* |
| *Indeno(1,2,3-cd)pireno* | *0,018 µg/L* |
| *PCBs - Bifenilas policloradas* | *0,000064 µg/L* |
| *Pentaclorofenol* | *3,0 µg/L* |
| *Tetracloreto de carbono* | *1,6 µg/L* |
| *Tetracloroeteno* | *3,3 µg/L* |
| *Toxafeno* | *0,00028 µg/L* |
| *2,4,6-triclorofenol* | *2,4 µg/L* |

*Art. 15. Aplicam-se as águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos no artigo 14°, a exceção do seguinte:*

> *I - não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;*
>
> *II - coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário devera ser obedecida a Resolução CONAMA n° 274, de 2000. Para os demais usos, não devera ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com freqüência bimestral. A E. coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;*

*III - cor verdadeira: até 75 mg Pt/L;*

*IV - turbidez: até 100 UNT;*

*V - DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/L O2;*

*VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O2;*

*VII - clorofila a: até 30 $\mu$g/L;*

*VIII - densidade de cianobactérias: até 50.000 cel/mL ou 5 mm²/L; e,*

*IX - fósforo total:*

*a) até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; e,*

*b) até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.*

*Art. 16. As águas doces de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:*

*I - condições de qualidade de água:*

*a) não verificação de efeito tóxico agudo a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;*

*b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;*

*c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;*

*d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;*

*e) não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;*

*f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;*

*g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato secundário não devera ser excedido um limite de 2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com*

*freqüência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não devera ser excedido o limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com freqüência bimestral Para os demais usos, não devera ser excedido um limite de 4000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A E. Coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;*

*h) cianobactérias para dessedentação de animais: os valores de densidade de cianobactérias não deverão exceder 50.000 cel/ml, ou 5mm³/L;*

*i) DBO 5 dias a 20°C até 10 mg/L O2;*

*j) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O2;*

*l) turbidez até 100 UNT;*

*m) cor verdadeira: até 75 mg Pt/L; e,*

*n) pH: 6,0 a 9,0.*

*II - Padrões de qualidade de água:*

***Padrões de qualidade para águas doces classe 3***

| ***ÁGUAS DOCES - CLASSE 3*** | |
|---|---|
| ***PADRÕES*** | |
| ***PARÂMETROS*** | ***VALOR MÁXIMO*** |
| *Clorofila a* | *60 µg/L* |
| *Densidade de cianobactérias* | *100.000 cel/mL ou 10mm³/L* |
| *Sólidos dissolvidos totais* | |
| ***PARÂMETROS INORGÂNICOS*** | ***VALOR MÁXIMO*** |
| *Alumínio dissolvido* | *0,2 mg/L Al* |
| *Arsênio total* | *0,033 mg/L As* |
| *Bário total* | *1,0 mg/L Ba* |
| *Berílio total* | *0,1 mg/L Be* |
| *Boro total* | *0,75 mg/L B* |
| *Cádmio total* | *0,01 mg/L Cd* |
| *Chumbo total* | *0,033 mg/L Pb* |
| *Cianeto livre* | *0,022 mg/L CN* |
| *Cloreto total* | *250 mg/L Cl* |
| *Cobalto total* | *0,2 mg/L Co* |
| *Cobre dissolvido* | *0,013 mg/L Cu* |
| *Cromo total* | *0,05 mg/L Cr* |
| *Ferro dissolvido* | *5,0 mg/L Fe* |
| *Fluoreto total* | *1,4 mg/L F* |
| *Fósforo total (ambiente lêntico)* | *0,05 mg/L P* |
| *Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico)* | *0,075 mg/L P* |
| *Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)* | *0,15 mg/L P* |
| *Lítio total* | *2,5 mg/L Li* |
| *Manganês total* | *0,5 mg/L Mn* |
| *Mercúrio total* | *0,002 mg/L Hg* |
| *Níquel total* | *0,025 mg/L Ni* |
| *Nitrato* | *10 mg/L N* |
| *Nitrito* | *1 mg/L N* |
| *Nitrogênio amoniacal total* | *13,3 mg/L N, para pH ≤ 7,5*<br>*5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0*<br>*2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5*<br>*1,0mg/L N, para pH > 8,5* |
| *Prata total* | *0,05 mg/L Ag* |
| *Selênio total* | *0,05 mg/L Se* |
| *Sulfato total* | *250 mg/L $SO_4$* |
| *Sulfeto (como H2S não dissociado)* | *0,3 mg/L S* |
| *Urânio total* | *0,02 mg/L U* |

| | |
|---|---|
| *Vanádio total* | *0,1 mg/L V* |
| *Zinco total* | *0,5 mg/L Zn* |
| ***PARÂMETROS ORGÂNICOS*** | ***VALOR MÁXIMO*** |
| *Aldrin + Dieldrin* | *0,03 µg/L* |
| *Atrazina* | *2 µg/L* |
| *Benzeno* | *0,005 mg/L* |
| *Benzo(a)pireno* | *0,7 µg/L* |
| *Carbaril* | *70,0 µg/L* |
| *Clordano (cis+trans)* | *0,3 µg/L* |
| *2,4-D* | *30,0 µg/L* |
| *DDT (p,p'-DDT +p,p'-DDE + p,p'-DDD)* | *1,0 µg/L* |
| *Dementon (Dementon-O + Dementon-S)* | *14 µg/L* |
| *1,2-Dicloroetano* | *0,01 mg/L* |
| *1,1-Dicloroeteno* | *0,03 mg/L* |
| *Dodecacloro pentaciclodecano* | *0,001 µg/L* |
| *Endossulfan (α + β + sulfato)* | *0,22 µg/L* |
| *Endrin* | *0,2 µg/L* |
| *Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)* | *0,01 mg/L C6H5OH* |
| *Glifosato* | *280 µg/L* |
| *Gution* | *0,005 µg/L* |
| *Heptacloro epóxido + Heptacloro* | *0,03 µg/L* |
| *Lindano (γ-HCH)* | *2,0 µg/L* |
| *Malation* | *100 µg/L* |
| *Metoxicloro* | *20,0 µg/L* |
| *Paration* | *35,0 µg/L* |
| *PCBs-Bifenilas Policloradas* | *0,001 µg/L* |
| *Pentaclorofenol* | *0,009 mg/L* |
| *Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno* | *0,5 mg/L LAS* |
| *2,4,5-T* | *2,0 µg/L* |
| *Tetracloreto de carbono* | *0,003 mg/L* |
| *Tetracloroeteno* | *0,01 mg/L* |
| *Toxafeno* | *0,21 µg/L* |
| *2,4,5-TP* | *10 µg/L* |
| *Tributilestanho* | *20,0 µg/L TBT* |
| *Tricloroeteno* | *0,03 mg/L* |
| *2,4,6-Triclorofenol* | *0,01 mg/L* |

*Art. 17. As águas doces de classe 4 observarão as seguintes condições e padrões:*

*I - materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;*

*II - odor e aspecto: não objetáveis;*

*III - óleos e graxas: toleram-se iridescências;*

*IV - substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;*

*V - fenóis totais (substancias que reagem com 4 - aminoantipirina) até 1,0 mg/L de*

*C6H5OH;*

*VI - OD, superior a 2,0 mg/L O2 em qualquer amostra; e,*

*VII - pH: 6,0 a 9,0.*

*Decreto n° 5847, de 14 de Julho de 2006*

*.....*

*V – Estabelecer estratégias e diretrizes para orientar as ações de redução de desastres, em especial planejar e promover a defesa permanente contra as secas e inundações, em âmbito nacional, particularmente a capacitação e o treinamento de recursos humanos;*

*VIII- Instruir processos para o reconhecimento, pelo Ministro de Estado, de situações de emergência e de estado de calamidade pública;*

*IX - participar de órgãos colegiados que tratem da execução de medidas relacionadas com a proteção da população, preventivas e em caso de desastres, inclusive acidente nuclear;*

*X - operacionalizar o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD, promovendo a consolidação e a interligação das informações de riscos e desastres, especialmente as de monitorização, alerta e alarme, e de ações emergenciais, no âmbito do SINDEC;*

*XI - Manter o Grupo de Apoio a Desastres, formado por equipe multidisciplinar, mobilizável a qualquer tempo, para atuar em situações críticas, por solicitação expressa de Estados, Municípios e do Distrito Federal;*

*Deliberação Normativa 62/2002*

*A. Altura do maciço (H), em metros, considerada entre a cota da crista e a cota do pé do talude de jusante,*

*B. Volume do reservatório (Vr), em metros cúbicos,*

*C. Ocupação humana a jusante da barragem, à época do cadastro, em quatro níveis:*

*a. Inexistente: não existem habitações na área a jusante;*

*b. Eventual: não existem habitações na área a jusante, mas existe estrada vicinal ou rodovia e/ou local de permanência eventual de pessoas;*

*c. Existente: existem habitações e a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos na Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT; e*

*d. Grande: existem habitações e a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos na Classe I – Perigosos ou Classe II A – Não Inertes, segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT.*

*D. Interesse ambiental da área a jusante da barragem, em três níveis:*

*a. Pouco significativo: não representa área de interesse ambiental relevante ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais;*

*b. Significativo: apresenta interesse ambiental relevante; e*

*c. Elevado: interesse ambiental relevante e barragem armazena rejeito ou resíduos sólidos Classe I ou IIA, segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT.*

*E. Concentração de instalações residenciais, agrícolas ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem, em três níveis:*

*a. Inexistente;*

*b. Baixa concentração; e*

*c. Alta concentração.*

*Valendo-se desses parâmetros, as barragens serão classificadas em três categorias, considerando-se o somatório dos valores (V), de acordo com a tabela:*

*Classe I - Baixo potencial de dano ambiental: V <= 2*

*Classe II - Médio potencial de dano ambiental: 2 < V <= 5*

*Classe III - Alto potencial de dano ambiental: V > 5*

***Classificação das Barragens segundo a DN COPAM 87/2005***

| ***Altura da Barragem H(m)*** | ***Volume do reservatório (hm³)*** | ***Ocupação humana a jusante*** | ***Interesse ambiental a jusante*** | ***Instalações na área de jusante*** |
|---|---|---|---|---|
| *H<15*<br>*V=0* | *Vr<0,5*<br>*V=0* | *Inexistente*<br>*V=0* | *Pouco Significativo*<br>*V=0* | *Inexistente*<br>*V=0* |
| *15<=H<=30*<br>*V=1* | *0,5<=Vr<=5*<br>*V=1* | *Eventual*<br>*V=2* | *Significativo*<br>*V=1* | *Baixa Concentração*<br>*V=1* |
| *H>30*<br>*V=2* | *Vr>5*<br>*V=2* | *Existente*<br>*V=3* | *Elevado*<br>*V=3* | *Alta concentração*<br>*V=2* |
| | | *Grande*<br>*V=4* | | |