

## **ESTUDOS DE AVALIAÇÃO E GESTÃO DE EMERGÊNCIAS NO SISTEMA BILLINGS: A ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL**

*Fernanda Dias Radesca<sup>1\*</sup>; Rodrigo Martins Lucci<sup>2</sup>; Cristiane Araújo Amaro<sup>3</sup>; José Rodolfo Scarati Martins<sup>4</sup>; Paulo Victor Braun<sup>5</sup>*

**Resumo** – O projeto “Estudos de Avaliação e Gestão de Emergências no Sistema Billings” foi realizado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) para Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE). Com o auxílio do modelo matemático Cliv+ foram realizadas simulações de cenários de rompimento por *overtopping* e *piping*, possibilitando a identificação dos pontos impactados e a elaboração dos Planos de Ação Emergencial (PAE) para doze estruturas operadas por esta entidade. Este artigo tem o objetivo de apresentar a metodologia utilizada no projeto para a elaboração dos PAEs.

**Palavras-Chave** – Plano de Ação Emergencial, Modelagem matemática, Rompimento de barragens.

## **MANAGEMENT AND EVALUATION OF EMERGENCIES IN THE BILLINGS SYSTEM: THE ELABORATION OF AN EMERGENCY ACTION PLAN**

**Abstract** – The Project “Management and Evaluation of Emergencies in the Billings System Studies” was conducted by Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) for Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE). With the help of the mathematical model CLiv + dam break scenarios of *overtopping* and *piping* were simulated, enabling the identification of impacted areas and the development of Emergency Action Plans (EAP) for twelve hydraulic structures operated by this entity. This article aims to present the methodology used in the project for the EAPs elaboration.

**Keywords** – Emergency Action Plans, Mathematical modeling, Dam break.

<sup>1</sup> Engenheira da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH. Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, nº 120, 05508-020 São Paulo. Fone: (11) 3039-3171. fernanda.radesca@fcth.br

<sup>2</sup> Engenheiro da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH. Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, nº 120, 05508-020 São Paulo. Fone: (11) 3039-3163. rodrigo@fcth.br

<sup>3</sup> Engenheira da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH. Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, nº 120, 05508-020 São Paulo. Fone: (11) 3039-3163. cristiane.amaro@fcth.br

<sup>4</sup> Professor Doutor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP. Av. Prof. Luciano Gualberto, tr 3, nº 380, 05508-970 São Paulo. Fone: (11) 3091-5581. Email: scarati@usp.br

<sup>5</sup> Engenheiro da Empresa Metropolitana de Águas e Energia – EMAE. Av. Nossa Senhora do Sabará, nº 5312, 04447-011 São Paulo. Fone: (11) 5613-2100. Email: paulo.victor@mae.com.br

## INTRODUÇÃO

### Importância do Gerenciamento de Risco em Barragens

De um modo geral, os estudos de gerenciamento e análise de riscos visam mensurar as ameaças aos bens patrimoniais, às pessoas e ao meio. Através desses estudos, o gestor de segurança poderá apontar as vulnerabilidades do local, podendo minimizar os impactos causados pela eventual quebra da segurança. No que concerne às barragens, este conceito tem muita pertinência, já que a segurança absoluta destas estruturas não pode ser garantida (VISEU, 2006).

Até a segunda metade do século XX, os potenciais danos resultantes de acidentes em barragens foram desconsiderados nos processos de projeto e operação das referidas estruturas (VISEU, 2006). Com a consolidação dos processos de informação e de participação do público, bem como a responsabilização das autoridades e dos empreendedores, iniciou-se uma tendência de passar a exigir nos regulamentos de segurança de barragens a determinação das áreas de inundação a jusante. A legislação francesa foi pioneira nesta matéria, e em diversos países, a partir da década de 70, já começavam a ser implantados sistemas de aviso e alerta de evacuação da população do entorno (EUA, 2004).

### Legislação Brasileira

No Brasil, a ampliação do debate e a realização de estudos sobre o tema foram impulsionadas pela aprovação da Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010 pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Esta lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (PNISB).

De acordo com o art. 8º da Lei, o Plano de Ação Emergencial (PAE) é umas das informações que deve estar no Plano de Segurança da Barragem. O PAE, nada mais é do que um documento que deve estabelecer ações a serem tomadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificar os agentes a serem notificados em uma ocorrência extrema, devendo conter pelo menos: (A) Identificação e análise das possíveis situações de emergência; (B) Procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura de barragens; (C) Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação e (D) Estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência (BRASIL, 2010).

### O projeto

Seguindo estes critérios, a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica elaborou uma metodologia para a estruturação dos PAEs e a aplicou no projeto denominado “Estudos de Avaliação e Gestão de Emergências no Sistema Billings”, contratado pela Empresa Metropolitana de Águas e Energia. Este projeto objetivou avaliar as consequências causadas por cenários de ruptura por *piping* e *overtopping* das estruturas que compõem o sistema Billings por meio de estudos apoiados, principalmente, em modelagem matemática hidrológica e hidráulica.

Com a modelagem matemática foi possível determinar os níveis máximos atingidos a jusante das estruturas, estimar os tempos de propagação da onda efluente, determinar o instante da passagem do pico da cheia em pontes, rodovias, ferrovias e áreas de ocupação urbana, estimar a área inundada caracterizando-a de acordo com o risco oferecido à população, identificando os tempos de permanência das inundações.

Ao final do processo, os resultados obtidos forneceram os subsídios necessários para a elaboração dos Planos de Ação Emergencial das estruturas operadas pela EMAE.

## ÁREA DE ESTUDO

O Sistema Billings operado pela EMAE para o aproveitamento hidroelétrico da Usina Henry Borden tem o *Reservatório Billings* como o provedor das águas para a geração de energia elétrica. O reservatório localiza-se na região do Planalto, ocupando áreas dos municípios de São Paulo, Santo André, São Bernardo do Campo, Diadema, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra. É o reservatório de maior volume de acumulação da EMAE, cerca de 1,1 bilhão de m<sup>3</sup> de água; e foi construído em 1937, com o objetivo de receber águas dos rios Tietê e Pinheiros através do bombeamento pelas estações elevatórias de Traição e de Pedreira, além das águas da sua própria bacia, para geração de energia elétrica da Usina Henry Borden, em Cubatão.

As águas do rio Tietê podem ser recalçadas para o Reservatório Billings através do canal Pinheiros, pelas usinas elevatórias de Traição e Pedreira. Do reservatório Billings, as águas são derivadas para o Reservatório Rio das Pedras, de onde saem para a Usina Henry Borden. As descargas de cheias são feitas através de estruturas hidráulicas situadas no próprio Reservatório Billings, pelo extravasor Pequeno Perequê, e no Reservatório Rio das Pedras, pelos descarregadores da Barragem Rio das Pedras. Segundo a EMAE, Os extravasores Preto Monos e Pedras Perequê encontram-se desativados, sem possibilidade de operação.

A área de estudo está inserida parte no planalto (conforme apresentado na **Error! Reference source not found.**), compreendendo um trecho do rio Pinheiros entre a barragem da estação elevatória de Pedreira até a estrutura de Retiro mais o canal Guarapiranga, e parte na baixada santista (conforme apresentado na **Error! Reference source not found.**), compreendendo os cursos d'água que encontram-se a jusante dos extravasores, Preto Monos, Pequeno Perequê, Barragem Rio das Pedras e Pedras Perequê, e os cursos d'água a jusante das estruturas que não possuem vertimento, como as barragens do córrego da Cascata, Reguladora Billings-Pedras, bem como os diques do Córrego da Cascata, Cubatão de Cima, Marcolino e Passareúva.

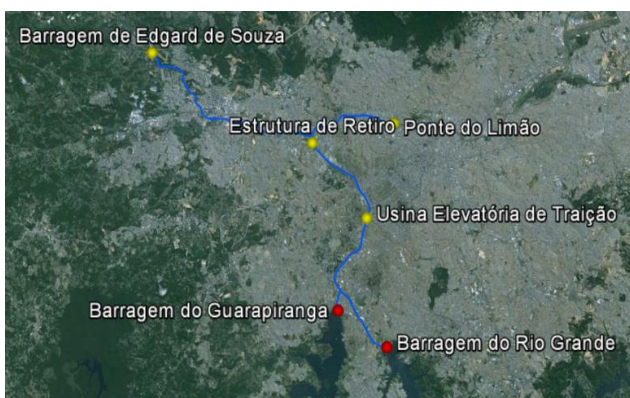


Figura 1 – Área de estudo na região de Planalto (RMSP)



Figura 2 - Área de estudo na região de Baixada Santista e Itanhaém

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos dividiram-se basicamente em análises hidrológicas e hidráulicas. Para os dois foram necessários o levantamento de dados junto aos órgãos competentes, entre eles a EMAE e o DAEE-SP. Dentre os dados disponibilizados tiveram as características das estruturas, bases cartográficas (cartas EMPLASA 1:25.000, Prefeitura do Município de São Paulo 1:1.000 na região do planalto e cartas EMPLASA 1:10.000 e cartas IBGE/IGC 1:50.000 da UGRHI 7 na baixada santista), bem como inspeções de campo e o levantamento topobatimétrico dos rios Cubatão, Perequê e Mogi, na Baixada Santista.

Com estes dados foi possível a delimitação das sub-bacias contribuintes ao sistema em estudo, bem como a geração do Modelo Digital de Terreno, o qual representou a várzea e a planície lateral de cada seção transversal dos cursos d'água presentes, estas informações permitiram a alimentação do modelo hidrodinâmico que possibilitou a geração das manchas e a identificação de forma adequada dos pontos impactados, devido aos eventos de ruptura simulados.

Os estudos hidrológicos realizados tiveram como base os dados pluviométricos e de evapotranspiração de postos localizados próximos à região de estudo, além dos níveis dos reservatórios, descargas das estruturas e transposições existentes, bem como imagens de satélite e mapa de uso e ocupação do solo para a caracterização da região.

Nestes estudos foi possível estimar, após o tratamento estatístico das chuvas e a calibração do modelo hidrológico, os hidrogramas afluentes às estruturas referentes às chuvas com período de recorrência decamilenar e dos eventos mais críticos ocorridos na bacias dos reservatórios Billings e Guarapiranga. Os hidrogramas serviram de dado de entrada para a simulação no caso de ruptura por *overtopping*.

O modelo de simulação hidrológica utilizado foi o CSMAP – *Soil Moisture Accounting Procedure* – que é um modelo matemático do tipo transformação chuva-vazão, adaptado pela FCTH. Conceitualmente, é constituído por um sistema de três reservatórios matemáticos que representam a série de armazenamentos a que a água está sujeita durante o ciclo hidrológico (escoamento superficial, infiltração, escoamento subterrâneo) em que foi realizado o routing dos reservatórios Billings e Guarapiranga.

Os cenários estabelecidos para a simulação de todas as estruturas contempladas no estudo representaram as hipóteses de falha estrutural e natural. A falha estrutural (ruptura seca ou *piping*) corresponde ao processo de erosão interna de uma massa de solo, iniciada sob condições de gradiente hidráulico crítico, provocando a abertura progressiva de canais dentro da massa de solo em sentido contrário ao do fluxo d'água, ou seja, corresponde ao carreamento das partículas de solo devido à percolação de água pelo maciço. A falha natural (*overtopping*), por sua vez, corresponde ao fenômeno de galgamento ou transbordamento da barragem, isto é, à passagem das águas do rio sobre a estrutura, o que pode resultar da ocorrência de uma onda de cheia excepcional ou de uma falha de operação do reservatório. A formulação das hipóteses de falha para cada uma das estruturas foi baseada na análise das seções transversais dos maciços, levando em consideração o tipo de solo, os enrocamentos existentes, fundos naturais, o método construtivo e os materiais das estruturas.

Para simular os cenários foi utilizado o software CLiv + desenvolvido pela FCTH, que é um modelo matemático de simulação da propagação de ondas de cheias ocasionadas pelo rompimento de estruturas hidráulicas. Dotado de uma interface gráfica para entrada de dados e visualização de resultados, seus recursos englobam o cálculo do hidrograma de ruptura de barragens, do regime transitório de escoamento em canais, o traçado em perfil da linha d'água e a visualização em planta das áreas inundáveis.

Para o estudo do sistema Billings, foram montadas no CLiv+ as redes referentes a todas as estruturas do sistema.

## O PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS

Para cada uma das 12 estruturas estudadas no projeto “Estudos de Avaliação e Gestão de Emergências no Sistema Billings” foi elaborado um PAE, que é um plano que viabiliza o acesso rápido às informações necessárias para a tomada de decisão em caso de emergência.

Seguindo a estrutura do plano, primeiramente são apresentados os tópicos que são comuns à todas as estruturas, como:

- a) **Terminologias:** apresenta as definições de termos específicos utilizados;
- b) **Características do Sistema Billings:** apresenta de forma geral o sistema operado pela EMAE;
- c) **Responsabilidades no Plano de Ação Emergencial Interno (PAIn):** o PAIn deve ser realizado pelos responsáveis pelo empreendimento e apresenta a divisão, as atribuições e composição das equipes que atuarão em caso de emergência;
- d) **Procedimentos de Avaliação e Classificação de Acidentes no Plano de Ação Emergencial Interno:** apresenta a classificação dos níveis de alerta, bem como sua correlação com um cenário de emergência. Os níveis foram classificados em números de 0 a 3, sendo que o Nível 0 corresponde a uma situação em que não se espera nenhum risco para a população e o Nível 3 representa uma situação de rompimento iminente ou já ocorrido, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Correlação do nível de alerta com a situação de emergência

Ocorrência excepcional		Consequências	Nível de alerta
CHEIAS	Previsões	Previsões meteorológicas não indicam condições adversas	NÍVEL 0
	Equipamentos	Extravasores inoperantes no período chuvoso	NÍVEL 1
	Nível	Eventual rebaixamento do reservatório	
		Nível d'água acima do MÁXIMO MAXIMORUM	
Galgamento	Possibilidade de rebaixamento do nível d'água através da abertura dos extravasores	NÍVEL 2	
	Galgamento em andamento com extravasores abertos		
Ruptura é iminente, inevitável, já iniciou ou já ocorreu		Abertura de brecha na estrutura com descarga incontrolável de água	NÍVEL 3
		Tombamento da barragem	
		Colapso completo da estrutura	

Fonte: adaptado de Viseu (2006)

- e) **Diretrizes para a elaboração do Plano de Ação Emergencial Externo (PAEx):** o PAEx deve ser realizado pelas entidades responsáveis pela segurança da população situada à jusante das estruturas, como por exemplo, a Defesa Civil.

Na sequência é apresentado o conteúdo específico de cada estrutura com a apresentação dos resultados das simulações. Os tópicos são:

a) **Características da Barragem, Reservatório e da Região de Jusante:** descrição sucinta da estrutura e do reservatório em questão e da região possivelmente afetada no caso da ocorrência de um rompimento.

De forma a caracterizar a região impactada foram identificados pontos notáveis, ou seja, ocupações e obras que, se impactadas pelo rompimento da estrutura, gerariam enormes prejuízos econômicos e sociais. No total, foram levantados 264 pontos notáveis.

b) **Estudos de Rompimento:** apresenta os resultados das simulações realizadas para os cenários de *piping* e *overtopping*.

Dentre os resultados das simulações, são apresentados os gráficos com as vazões efluentes, as envoltórias máximas das linhas d'água nos canais (i. e. **Figura 3**), as curvas de permanência (i. e.

**Figura 4**) e as tabelas com os tempos de permanência, que equivalem ao período de tempo em que um ponto notável permanece atingido.

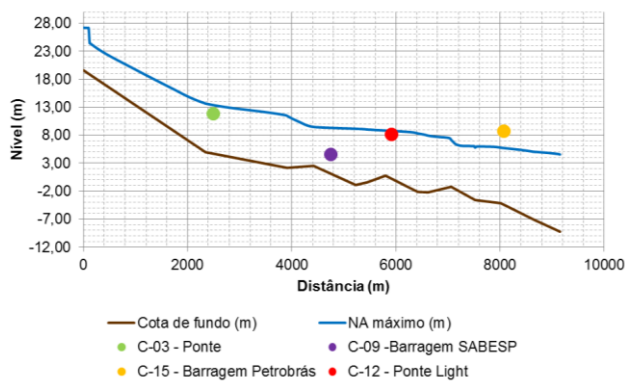


Figura 3 – Exemplo de envoltória máxima de linha d'água

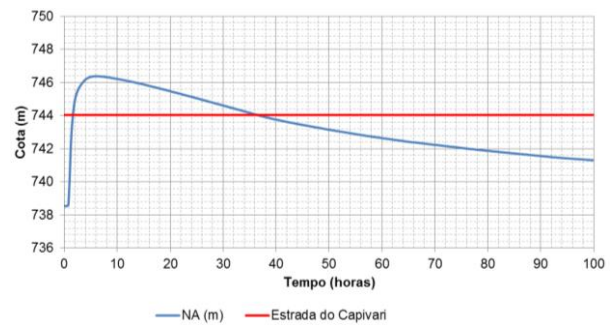


Figura 4 – Exemplo de curva de permanência

Também são apresentados no plano, na forma de anexo, os mapas contendo as manchas de inundação para um determinado cenário. A **Figura 5** apresenta um exemplo do mapa de inundação.

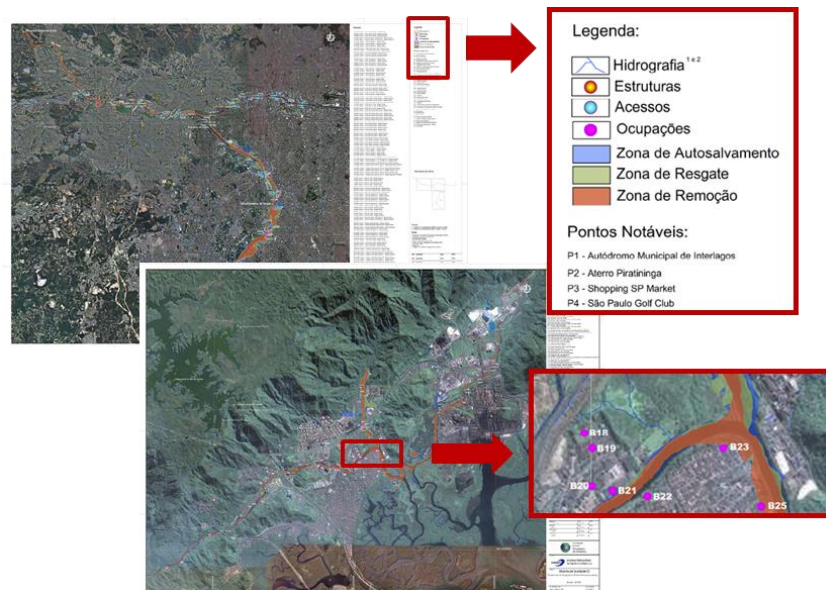


Figura 5 – Exemplo de Mapa de Inundação

Nos mapas, as inundações foram classificadas de acordo as zonas risco. As zonas de risco variam com a profundidade da água e são divididas em:

- Zona de Auto Salvamento (cor azul): compreende as áreas inundadas cujas profundidades máximas são iguais ou inferiores a 0,5 m possibilitando, assim, a locomoção das pessoas;
- Zona de Resgate (cor amarela): corresponde à região cuja profundidade do nível d'água encontra-se entre 0,5m a 1,5 m. Neste caso, a população consegue se locomover, porém necessita do auxílio de um profissional da área de resgate;
- Zona de Remoção (cor Vermelha): corresponde à região cuja profundidade máxima do nível d'água atinge valores acima de 1,5 m, comprometendo a locomoção da população que ocupa essa área.

c) **Identificação dos Procedimentos em caso de acidente:** os procedimentos foram apresentados em formato de fluxogramas (i. e. **Figura 6**), indicando o passo a passo que deve ser seguido em caso de emergência.

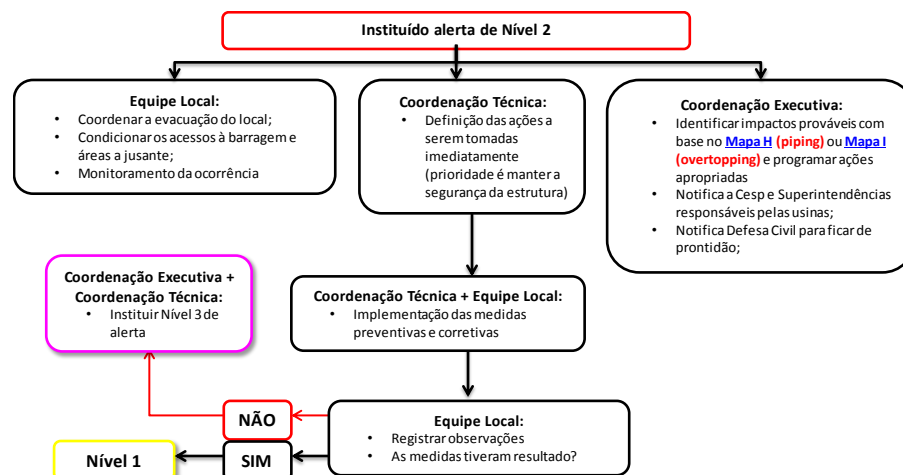


Figura 6 – Exemplo de fluxograma de emergência

- d) Identificação dos Recursos Humanos e Técnicos para o alerta à Defesa Civil:* apresenta listas com a indicação do nome e contato dos agentes internos e externos envolvidos e mensagens-tipo para notificação.

## CONCLUSÕES

A instalação e a operação de sistemas hidráulicos compostos por múltiplos reservatórios deve ser pautada por uma série de condicionantes voltadas não só para o desempenho adequado de suas funções, mas também para a garantia da segurança e estabilidade estrutural destas obras. Em função da evolução da ocupação das bacias hidrográficas, tanto as cheias excepcionais quanto os acidentes podem causar imensos danos, tornando a elaboração dos Planos de Ação Emergencial um instrumento importantíssimo para a mitigação destes impactos.

Apesar de ainda não ser regulamentado no Brasil, é possível propor uma estrutura para a elaboração dos PAEs baseada em legislações de outros países e trabalhos realizados em âmbito nacional.

No projeto “Estudos de Avaliação e Gestão de Emergências no Sistema Billings”, as metas e diretrizes estabelecidas para os PAEs, a escolha dos modelos matemáticos, bem como a forma de apresentação dos resultados obtidos, foram considerados adequados à situação de estudo e produziram bons resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. 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, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens 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. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

EMAE. Estudos de Avaliação e Gestão de Emergências no Sistema Billings. Relatórios Finais – Volume I a Volume XIII. São Paulo: FCTH/EMAE, 2011.

EMAE. Estudos de Avaliação e Gestão de Emergências no Sistema Billings. (RF-1076-R0-Volume II) Relatório Final – Volume II. São Paulo: FCTH/EMAE, 2011.

WISEU, T. Segurança dos Vales a Jusante de Barragens: Metodologias de apoio à gestão do risco. 2006. 482 p. Tese (Doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U.S. DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY. Federal Emergency Management Agency. Federal Guidelines for Dam Safety: Emergency Action Planning for Dam Owners. Estados Unidos: FEMA, 2004. 34 p.