

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE AÇÕES EMERGENCIAIS EM BARRAGENS

*Marcelo Mendes de Castro*¹; *José Rodolfo Scarati Martins*²; *Rodrigo Martins Lucci*³; *Flavia Ribeiro dos Santos Jacobsem*⁴

Resumo – O presente trabalho apresenta o Sistema de Gerenciamento de Ações Emergenciais da Geração AES Brasil (SGAE). Tal sistema tem a função principal de permitir a elaboração de Planos de Ações Emergenciais (PAE) para os sistemas operados pela AES Tietê. O SGAE foi concebido através da identificação do conjunto de elementos necessários à formulação das ações emergenciais nas condições específicas do cenário brasileiro. Ele possibilita a elaboração de PAEs dinâmicos a partir do cruzamento dos resultados das simulações do modelo hidrodinâmico com dados morfológicos e também com dados cadastrais de uso e ocupação do solo. Estes cruzamentos de informações possibilitam verificar quais as áreas e estruturas impactadas, para cada um dos cenários simulados. Neste texto, primeiramente é feita uma breve explicação sobre segurança de barragens e o conteúdo tradicional de um PAE, contendo inclusive um breve histórico dos estudos sobre segurança de barragens no Brasil, chegando até a criação da Lei Federal 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Em seguida é abordada a concepção do SGAE, detalhando a arquitetura do sistema; seus diversos componentes e como estes se relacionam; a integração com os bancos de dados necessários e, finalmente, a interface do sistema com o usuário.

Abstract – This paper presents the Emergency Management System created for AES Brasil, a hydroelectrical power generation company. This system has the primary function of allowing the preparation of Emergency Action Plans (EAP) for the dams operated by AES Tietê. The system was conceived after identifying the set of necessary elements to formulate the emergency actions according to the specific conditions of the Brazilian scenario. It enables the development of dynamic EAPs after the comparison between simulation results from the hydrodynamic model, morphological data and land use registry data. These data comparisons, for each simulated scenario, enable the identification of impacted areas and structures. This paper begins with a brief explanation about dam safety and the traditional contents of an EAP, including a brief history of dam safety studies in Brazil, reaching up to the creation of the Brazilian Federal Law 12.334, which established the National Dam Safety Policy. Then the conceived system will be described, detailing its design; its various components and how they relate; the integration with the required databases and, finally, the user interface.

Palavras-Chave – Segurança de Barragens; Planos de Ações Emergenciais; Hidroinformática

¹ Mestre Engenheiro da FCTH. Av. Prof. Lucio Martins Rodrigues, nº 120, 05508-020 São Paulo. Fone: (11) 3039-3171. Email: marcelo.castro@fcth.br

² Professor Doutor da EPUSP. Av. Prof. Luciano Gualberto, tr 3, nº 380, 05508-970 São Paulo, SP. Fone: (11) 3091-5581. Email: scarati@usp.br

³ Engenheiro da FCTH. Av. Prof. Lucio Martins Rodrigues, nº 120, 05508-020 São Paulo. Fone: (11) 3039-3163. Email: rodrigo@fcth.br

⁴ Analista de Sistemas da FCTH. Av. Prof. Lucio Martins Rodrigues, nº 120, 05508-020 São Paulo. Fone: (11) 3039-3163. Email: jacobsem@fcth.br

INTRODUÇÃO

Atualmente, existe uma crescente preocupação ambiental com os rios ao redor do mundo. Como muitos rios são utilizados para diversos fins, como abastecimento público, irrigação, produção de energia elétrica, usos industriais, navegação, recreação, disposição de efluentes, pesca, entre outros, alterações nas vazões desses rios, como a depleção devido ao uso excessivo ou, no outro extremo, um grande aumento de vazão devido à passagem de uma onda de cheia em épocas de chuvas, terão um impacto direto sobre as populações ribeirinhas e podem ainda causar prejuízos em diversos setores da economia.

Um dos fatores que mais alteram a disponibilidade hídrica e as condições de um rio são as barragens, que por sua vez são estruturas geralmente construídas transversalmente a um rio, tendo como objetivos, a geração de energia elétrica, a captação de água para abastecimento público, o controle de cheias e a navegação. Para atender a estes objetivos, as barragens elevam o nível d'água à montante de seu eixo e, em algumas obras, acumulam um significativo volume hídrico para garantir a regularização do corpo d'água afetado. Devido às grandes dimensões envolvidas, dos impactos provocados e dos investimentos necessários, as barragens devem ser sempre seguras, pois acidentes a ela relacionados, geralmente ligados à liberação dos volumes de água acumulados, afetam fortemente o meio ambiente e a sociedade em geral, podendo incluir a perda de vidas humanas. Desta forma, ferramentas que permitam a previsão destes impactos, e a subsequente organização de planos de ações preventivas e emergenciais, fazem parte das rotinas de projeto, construção e operação destes empreendimentos.

Neste trabalho apresenta-se um estudo voltado para a gestão de emergências ocasionadas pela operação de barragens em situações extremas, chegando à ruptura, visando o estabelecimento de rotinas para a avaliação dos impactos hidrológico-hidráulicos, através de ferramentas capazes de simular o efluente da barragem em situações operacionais extremas, ou então de um acidente hidrológico ou estrutural, seu desenvolvimento na forma de uma onda de cheia que se propaga pelo vale a jusante e finalmente, a proposição de uma sequência de atividades relacionadas à interpretação dos resultados das simulações, que permitam a formação dos planos de ações preventivas e emergenciais.

A necessidade de se gerenciar ações emergenciais se deve ao fato de que, no que diz respeito à segurança de obras complexas, tais como barragens de usinas hidrelétricas, não se pode admitir o risco zero de rompimento, ou seja, a segurança absoluta.

O conceito de risco é tipicamente uma percepção de cada ser humano e sua avaliação pode ser feita de diferentes formas, destacando-se entre elas a economicista, a psicológica e a social.

A segurança de uma barragem está associada a muitos fatores interligados, como seu partido hidráulico e estrutural, condicionantes geológicos, geotécnicos, hidrológicos e meteorológicos, bem como à própria falha humana na concepção, implantação, operação e manutenção da mesma.

Um dos conceitos aceitáveis em diferentes partes do mundo é o da previsão e gestão dos impactos, através do planejamento. Este pode ser feito a partir de diferentes ferramentas de modelação, dentre as quais se destacam os modelos estatísticos e os determinísticos ou de simulação. Nos primeiros, a avaliação dos impactos é reduzida essencialmente a fatores econômico-financeiros, e procura criar uma estratégia de decisão que associa quaisquer danos a valores de risco previamente definidos com base no histórico de eventos similares. Na segunda procura-se simular processos físicos típicos dos acidentes de barragens, delimitando a área dos danos e então quantificando seus prejuízos (UEMURA, 2008).

As vantagens do segundo em relação aos primeiros são claramente visíveis, pois algumas peculiaridades relacionadas aos acidentes com barragens podem ser aventadas (UEMURA, 2008):

- Embora acidentes com barragens impliquem na liberação de grandes volumes de água para jusante, raramente o comportamento dos mesmos leva a uma correlação entre causas e efeitos consistente e que possa ser generalizada. São inúmeros os casos de rompimentos em que, embora os danos sejam pequenos, os custos são muito altos em função do valor social envolvido. É o caso de alguns rompimentos de barragens registrados no Brasil nos últimos anos, como Camará e Apertadinho.
- Enquanto os prejuízos materiais podem ser satisfatoriamente quantificados, os danos ambientais e as perdas de vidas humanas são suficientemente polêmicos, resultando num grau elevado de incerteza na transposição de conclusões de um caso para outro. Observou-se claramente este aspecto quando da ruptura das barragens de mineração no Rio Paraíba do Sul, manancial situado entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, e que concentra 25% do PIB do Brasil (IBGE, 2000).
- A gestão da crise ou emergência é um aspecto que altera totalmente a interpretação real dos motivos geradores do fato. Este aspecto foi observado nas repercussões do acidente com os diques da cidade norte-americana de Nova Orleans, durante o evento do Furacão Katrina.

Além disso, a antecipação de consequências dos impactos causados, por exemplo, pela ruptura de uma barragem, em uma cheia extrema, permite o planejamento e o gerenciamento da situação, minimizando os efeitos extremamente negativos sobre a população a jusante, sobre a economia ligada à água e sobre o empreendimento hidroenergético.

Mesmo a operação em situações regulares, porém extremas, como nas cheias de baixa frequência, pode gerar impactos, mesmo pontuais, que podem ser antecipados, e muitas vezes evitados, de forma a reduzir os danos e preservar a barragem e o empreendimento como um todo.

Desta forma, o desenvolvimento e a sofisticação das sociedades exigem que o planejamento e a implantação de empreendimentos passem a englobar também a análise de seus impactos nas operações normais e emergenciais, ou ainda, em caso de acidentes, independentemente de suas causas, como fator inerente ao risco. Isto significa que, na gestão destes empreendimentos, a existência do conhecimento prévio dos impactos decorrente de falhas diversas e da forma de tratá-las, devidamente previstas no que se costuma denominar de Plano de Ação Emergencial (PAE), afetarão o desempenho dos mesmos.

O PAE de uma barragem deve ser encarado como uma ferramenta dinâmica, que deve ser objeto de atualizações constante, pois a evolução natural das bacias, caracterizada pela ocupação de áreas ribeirinhas a jusante das barragens, acarreta nos surgimentos ou alterações de restrições operativas e de controle de vazão efluente e de níveis d'água a montante e a jusante das barragens. Desta forma, neste trabalho, optou-se por conceber a tecnologia para a elaboração de uma ferramenta dinâmica através da identificação do conjunto de elementos necessários à formulação das ações emergenciais nas condições específicas do cenário brasileiro. Essa ferramenta foi denominada de “Sistema de Gerenciamento de Ações Emergenciais (SGAE)”.

O Projeto “Gerenciamento de Ações Emergenciais da Geração AES Brasil”

A empresa AES Tietê administra e opera, desde a privatização da Companhia Energética de São Paulo (CESP) em 1999, dez usinas hidrelétricas ao longo dos rios Tietê, Grande, Mogi Guaçu e Pardo. Além destas 10 usinas, ainda estão sendo readequadas duas PCH's no Rio Jaguarí Mirim.

A Tabela 1 apresenta as usinas operadas pela AES Tietê, o código de cada usina a ser utilizado como referência, o corpo hídrico no qual estão localizadas e as coordenadas geográficas em latitude e longitude de cada uma das usinas. A Figura 1 apresenta um desenho esquemático com a localização de cada uma das usinas.

Tabela 1 – Usinas Contempladas no Estudo.

Usina	Código	Corpo Hídrico	Latitude	Longitude
Barra Bonita	BAB	Tietê	22° 31' 90'' S	48° 32' 04'' O
Bariri	BAR	Tietê	22° 09' 11'' S	48° 45' 09'' O
Ibitinga	IBI	Tietê	21° 45' 33'' S	48° 59' 26'' O
Promissão	PRO	Tietê	21° 17' 50'' S	49° 46' 60'' O
Nova Avanhandava	NAV	Tietê	21° 07' 03'' S	50° 12' 04'' O
Caconde	CAC	Pardo	21° 34' 36'' S	46° 37' 27'' O
Limoeiro	LMO	Pardo	21° 37' 30'' S	47° 00' 34'' O
Euclides da Cunha	EUC	Pardo	21° 36' 11'' S	46° 56' 56'' O
Mogi-Guaçu	MOG	Mogi-Guaçu	22° 22' 47'' S	46° 54' 01'' O
Água Vermelha	AGV	Grande	19° 52' 04'' S	50° 20' 44'' O
São José	SJE	Jaguari Mirim	21° 56' 02'' S	46° 49' 00'' O
São Joaquim	SJQ	Jaguari Mirim	21° 52' 26'' S	46° 53' 34'' O

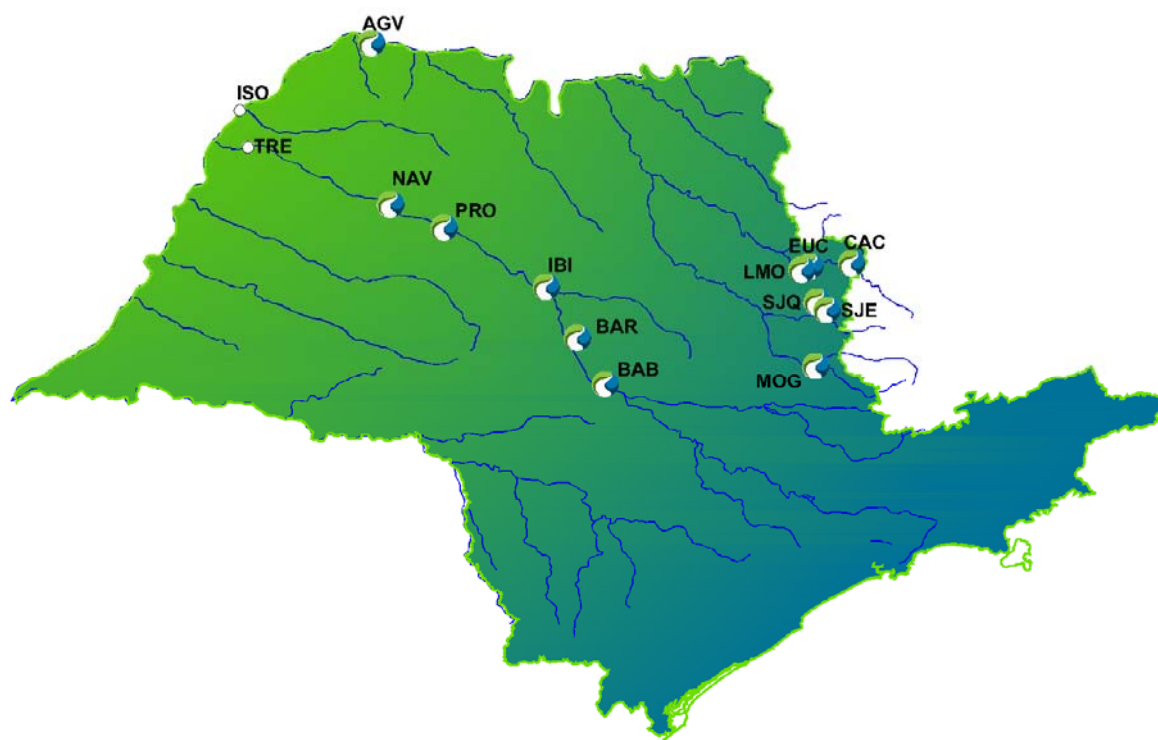


Figura 1 – Localização das Usinas Contempladas no Estudo.

Duas destas usinas, Euclides da Cunha e Limoeiro, passaram nos anos 1970 por situações emergenciais que levaram a CESP a elaborar regras sistematizadas buscando aperfeiçoar a operação dos reservatórios, num sistema de decisão denominado Sistema de Operação em Situação de Emergência (SOSEm), cujo objetivo é o de garantir a segurança hidráulica das obras.

Com a ocupação de áreas ribeirinhas a jusante das barragens, houve a necessidade da adoção de restrições operativas e de controle de vazão efluente, as quais visaram compatibilizar as

necessidades de ocupação do solo e geração de energia, naturalmente conflitantes. No entanto, tendo em vista a necessidade de garantia da segurança dos barramentos, estas restrições não se mantêm durante as situações emergenciais de operação dos reservatórios, provocando, nestes casos, danos à infraestrutura e às comunidades localizadas a jusante.

Com base no Guia Básico de Segurança de Barragens, publicado pelo Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), em 1999, a classificação das barragens operadas pela AES Tietê, quanto às consequências provocadas pela ruptura, é "muito alta" (CBDB, 1999), o que representa um número significativo de perdas de vidas e altos danos econômicos, sociais e ambientais.

Em função disto, a AES Tietê desenvolve, desde o início dos anos 2000, com o apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), projetos de pesquisa e desenvolvimento que culminaram com o desenvolvimento de técnicas de simulação e mapeamento de áreas inundáveis, bem como com a implantação de um modelo de previsão associado a estas, que abrange a totalidade de seus aproveitamentos.

Dentre estas iniciativas, destacam-se o próprio SOSEm (AES TIETÊ, 2004), os estudos de rompimento de barragens no Rio Tietê, realizado em 2007, denominado “Sistema de Gerenciamento de Emergências Hidrológicas (SGEH)” (AES Tietê, 2007); o “Estudo de Rompimento de Barragens de Caconde, Euclides de Cunha, Limoeiro, Mogi Guaçu e Água Vermelha” realizado em 2009 (AES Tietê, 2009) e os “Estudos Hidrológicos para a Determinação das Cheias de Projeto na PCH São José e PCH São Joaquim”, realizado em 2010 (AES Tietê, 2010).

Em junho de 2010, teve início o projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, denominado “Gerenciamento de Ações Emergenciais da Geração AES Brasil (SGAE)”, para unificar e dar sequência aos estudos anteriores relacionados ao gerenciamento de ações emergências da AES Tietê. Este estudo vem sendo desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) para a AES Tietê S/A, através de convênio mantido com a ANEEL, dentro dos princípios estabelecidos por esta agência, relativos ao desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico do setor elétrico brasileiro.

Os estudos aqui apresentados foram realizados durante a execução desse projeto pela equipe da FCTH.

PLANOS DE AÇÕES EMERGENCIAIS (PAE)

Os impactos causados por barragens vão além daqueles tradicionalmente considerados pelos estudos de rompimento das estruturas hidráulicas e podem ser classificados de acordo com diferentes critérios: aqueles que consideram os efeitos da perda do barramento e das estruturas em si e os impactos causados pela cheia efluente; e aqueles referentes às operações emergenciais devido às cheias pouco frequentes. No primeiro caso, citam-se os danos gerados pela perda do volume reservado, a interrupção do atendimento proporcionado pela barragem, prejuízos com a falta de energia, água etc. No segundo caso, são computados os danos gerados pela cheia efluente, como a destruição de pontes e estradas, interrupções diversas, a inundação de áreas urbanas e rurais com a consequente destruição de propriedades e outros bens, perdas de vida diretamente e em função das cheias etc. Por fim, consideram-se ainda os impactos indiretos, que são aqueles originados pelos desdobramentos dos anteriores, como doenças de veiculação hídrica, desabastecimento de gêneros de primeira necessidade como alimentos e remédios na região atingida, perda do valor das propriedades, de fazendas etc.

A gestão da emergência numa barragem deve englobar aspectos que procuram, antes de qualquer coisa, evitar ou reduzir o risco de ruptura de estruturas já implantadas, incluindo as chamadas medidas preventivas, como as inspeções das estruturas e dos equipamentos, a instrumentação da barragem, treinamento da operação e realização das manutenções preventivas e corretivas. Essas medidas preventivas são ações que visam eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas e desastres. Elas consideram fatores como o porte da barragem, sua idade e histórico de inspeções e manutenções, condições geológicas e hidrológicas locais e a evolução observada da bacia a montante e a jusante.

Entretanto, fatores como a existência de estruturas, acessos e população a jusante demandam a gestão de eventuais emergências causadas pelas operações de cheia, notadamente as excepcionais, culminando com a necessidade de elaboração de planos de ações rotineiras e emergenciais.

Um PAE é caracterizado pelo conjunto de situações que poderão desencadear uma situação de emergência e uma definição das possíveis ações de resposta e dos recursos (humanos, materiais, logísticos e de equipamento) para assegurar a segurança da barragem e para reduzir os impactos nas áreas situadas à jusante dos barramentos (VISEU, 2008). Portanto, o PAE tem como finalidade descrever procedimentos necessários à atuação em situações de emergência.

As premissas para a elaboração de um PAE são (FEMA, 2004):

- Quantificação dos riscos naturais, tais como os hidrológicos, geotécnicos, sísmicos e etc.;
- Avaliação dos riscos extraordinários como guerra, atentados e etc.
- Identificação e avaliação de impactos diretos e indiretos, estabelecimento dos mapas de inundações;
- Estabelecimento de ações preventivas como sistema de informações, monitoramento da bacia, dos agentes naturais, monitoramento estrutural, vigilância e segurança;
- Estabelecimento de modelos de previsão e identificação de eventos críticos;
- Rotinas de treinamento e simulação de ações emergenciais como evacuação, interrupção de estradas, paralisação no abastecimento de energia e água;
- Elaboração dos fluxogramas de notificações e do sistema de comunicações de emergência;
- Dimensionamento de equipamentos e mão de obra necessários;
- Dimensionamento dos estoques de suprimentos e fontes de energia de emergência.

O atual estado da arte em termos de PAE em relação às práticas internacionais encontra-se em defasagem com a situação nacional. Porém, recentemente, a aprovação da Lei Federal 12.334, de 20 de setembro de 2010, foi um passo importante para regulamentar esse cenário, por vezes confuso.

Planos de Ações Emergenciais em Barragens no Brasil

No Brasil as iniciativas relacionadas à gestão de emergências em barragens são antigas, datando da década de 70, porém tais iniciativas foram pontuais e desintegradas, que, muitas vezes, foram resultados de situações emergenciais reais pelas quais algumas operadoras de barragens passaram.

A legislação brasileira, em geral, não apresentava exigências detalhadas no que dizia respeito à segurança de barragens. Especificamente no Estado de São Paulo, logo após os acidentes ocorridos com as barragens de Euclides da Cunha e Limoeiro, em 1977, foi emitido o Decreto nº 10752 dispondo sobre segurança das barragens no Estado e recomendando auditorias técnicas permanentes. Por falta de regulamentação este decreto nunca foi implementado.

A Constituição do Estado de São Paulo aborda de maneira indireta o assunto ao se referir, no art. nº 210, quanto à garantia de segurança e saúde pública, quando de eventos hidrológicos indesejáveis.

O mesmo nível de abordagem consta da Lei nº 7663 que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos. Algumas das passagens de certos artigos podem ser aplicáveis à segurança de barragens e

ao seu funcionamento adequado, tais como os que dizem que: o Estado assegurará meios financeiros e institucionais para. “defesa contra eventos hidrológicos críticos, que ofereçam riscos à saúde e segurança pública, assim como prejuízos econômicos e sociais”; o Estado realizará programas conjuntos com os Municípios mediante convênios com vista a “implantação de sistemas de alerta e defesa civil para garantir a segurança e a saúde pública, quando de eventos hidrológicos indesejáveis”; o Estado articulará com a União, outros Estados vizinhos e Municípios, atuação para aproveitamento e controle dos recursos hídricos em seu território com vistas “a controle de cheias, a prevenção de inundações, e drenagem e à correta utilização das várzeas”.

Algumas entidades, como o Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Ministério da Integração Nacional, o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB) e a Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica (ABRAGE), tentaram, fomentar as práticas de gestão de emergências entre as operadoras.

O CBGB, seguindo a tendência mundial da década de 70, editou em 1979 e 1983 as “Diretrizes para a Inspeção e Avaliação da Segurança de Barragens em Operação”. Posteriormente, em 1986, editou as “Recomendações para a Formulação e Verificação de Critérios e Procedimentos de Segurança de Barragens”, em 1995 o “Cadastro Brasileiro de Deterioração de Barragens e Reservatórios” e, em 1996, “Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil”. Estas publicações, elaboradas por comissões do CBGB, serviram para balizar os procedimentos de segurança adotados por algumas organizações brasileiras.

O Ministério de Minas e Energia, através da Portaria nº 739, de 1988, criou um grupo de trabalho com o objetivo de normalizar procedimentos preventivos e de manutenção voltados à segurança das diversas barragens existentes. Coordenado pela Eletrobrás o grupo concluiu, em 1989, um relatório que abordou entre outros aspectos importantes: estabelecimento de mecanismos de monitoramento e da instrumentação; definição da periodicidade de inspeção; procedimentos gerais a serem seguidos em casos de acidentes; e definição das responsabilidades pela execução das ações.

Em 1996 e 1997 o CBGB, através da Comissão de Deterioração e Reabilitação de Barragens, elaborou minuta de Portaria do Ministério de Minas e Energia, para criação do Conselho Nacional de Segurança de Barragens tendo encaminhado a mesma para a análise do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).

Porém, foi a partir da aprovação da Lei Federal 12.334 de 20 de setembro de 2010, que as operadoras das barragens ficaram responsabilizadas por realizarem suas próprias gestões de emergência e elaborarem PAEs específicos para seus empreendimentos.

A Lei Federal 12.334

Em 20 de setembro de 2010 foi sancionada a Lei Federal 12.334 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Os principais objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) são garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências; regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional; promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens; criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança; coletar informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos; estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público; e fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

A Agência Nacional de Águas (ANA) ficou encarregada de organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). A partir do novo sistema, a agência vai trabalhar para garantir os padrões de segurança das barragens, reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências.

De acordo com a lei, o SNISB vai promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores das barragens e coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens, que será encaminhado anualmente ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

O empreendedor da barragem será o responsável legal pela segurança da obra. Já a fiscalização da segurança das barragens caberá à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico. A entidade que concedeu ou autorizou o uso potencial hidráulico, também ficará encarregada da fiscalização, quando se tratar de uso para fins de geração de energia.

O órgão fiscalizador deverá implantar o cadastro das barragens, cuja fiscalização está sob sua responsabilidade, em um prazo de dois anos. Os empreendedores de barragens também terão prazo de dois anos, contados a partir da data da promulgação da lei, para submeter à aprovação dos órgãos fiscalizadores relatório especificando as ações e cronograma para a implantação do Plano de Segurança de Barragem.

Segundo essa legislação, o Plano de Segurança de Barragem deve estar estruturado, minimamente, através dos seguintes tópicos:

- Identificação do empreendedor;
- Dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;
- Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;
- Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;
- Regras operacionais dos dispositivos de descarga da barragem;
- Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;
- Plano de Ação Emergencial (PAE), quando exigido;
- Relatórios das inspeções de segurança;
- Revisões periódicas de segurança.

O órgão fiscalizador poderá determinar a elaboração de PAE em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, devendo exigi-lo sempre para a barragem classificada como de dano potencial associado alto.

O PAE, segundo a Lei nº 12.334, é 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 de uma ocorrência extrema, devendo conter:

- Identificação e análise das possíveis situações de emergência;
- Procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura de barragens;
- Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;
- Estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

O PAE deve ainda estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.

Desta maneira, esta lei é de especial interesse para os operadores de usinas hidrelétricas no Brasil, que deverão se adequar a ela dentro do prazo estabelecido.

CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE AÇÕES EMERGENCIAIS (SGAE)

Apesar de muitos estudos terem examinado as dinâmicas da interface homem-água, a complexidade dos rios como sistemas ainda não é bem compreendida. Isto ocorre principalmente por causa das lacunas de conhecimentos sobre os rios e sua cadeia de processos, da abordagem isolada e unidisciplinar usada tipicamente em estudos e análises, e da falta de dados e ferramentas eficientes para estudos multidisciplinares.

Os três pilares tradicionais dos estudos científicos de sistemas naturais são a observação, a teoria e a análise. As modernas capacidades tecnológicas de comunicação e informação agora permitem a abordagem de uma nova classe de problemas sobre a organização de dados e informações e a extração do conhecimento necessário.

A revolução digital vem mudando radicalmente a maneira de se conduzirem os estudos científicos, assim como afetando todas as facetas da sociedade, e pode-se argumentar que a informática vem se tornando o quarto pilar de qualquer estudo científico.

No entanto, o conceito de informatização dos estudos científicos não é novidade e tem predecessores na hidráulica e nas ciências aquáticas. O rápido processo de digitalização da informação na hidrociência que vem ocorrendo desde a década de 1990 levou ao desenvolvimento do campo da hidroinformática.

Até o momento, o maior foco da hidroinformática vem sendo na área de simulações numéricas, com pouca ênfase nas áreas de representação, organização e análise no nível de escala de bacias hidrográficas para melhorar ainda mais o uso desses dados.

Os dados podem ser originados de sensores colocados em satélites, em aviões, de pequeno alcance ou lançados no próprio rio. Também podem ser obtidos manualmente, através de observações visuais ou trabalho de campo. Outros dados podem ser obtidos através das saídas de modelos numéricos, simulando diferentes cenários.

A integração dos dados dessas diferentes fontes pode se tornar uma tarefa muito difícil, pois os dados são heterogêneos com relação ao tipo, formato, modo de armazenagem, precisão, e resolução espaço temporal.

A integração requer necessariamente o uso de um sistema que represente as relações entre as classes de dados hidráulicos e hidrológicos geoespaciais e temporais, independente de sua origem. Este sistema deve necessariamente estar associado a ferramentas de software para descoberta de recursos, visualização e análise interativas e colaboração entre equipes distribuídas.

A grande quantidade de dados observacionais disponíveis sobre os rios junto ao contínuo desenvolvimento das capacidades oferecidas pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e as avançadas possibilidades de instrumentação dos rios obriga a integração e a síntese temática. Por

este motivo, conjuntos de dados espaciais devem estar ligados a dados observacionais morfológicos e hidrodinâmicos em portais via ‘web’ que comportem um sistema SIG e que forneçam dados, mapas, imagens, e modelos, além de permitirem o compartilhamento dessas informações com os demais usuários através de ferramentas de busca.

A idéia essencial do sistema é a de que um rio é muito mais do que apenas uma linha apresentada num software SIG. Rios são objetos multidimensionais caracterizados através de características geográficas (área de drenagem, rede fluvial, dados morfológicos e dos solos, uso e ocupação do solo, cobertura vegetal, e sócio econômicas) e hidrodinâmicas (vazões, níveis, mapas de inundação, e dados de contorno tridimensionais).

A visão aqui apresentada do sistema é o de apoiar o armazenamento, a descoberta e a manipulação de dados relacionados ao rio para aplicações incluído hidrodinâmica e morfodinâmica.

Porém, o principal motivo para o desenvolvimento desse sistema para o presente trabalho é o de possibilitar a elaboração de um plano de ações emergenciais dinâmico a partir do cruzamento dos resultados das simulações do modelo hidrodinâmico com dados morfológicos e também com dados cadastrais de uso e ocupação do solo. Estes cruzamentos de informações possibilitam verificar quais as áreas e estruturas impactadas, para cada um dos cenários simulados.

Para atingir essa visão, recomenda-se a utilização de um banco de dados que suporte o armazenamento de dados georreferenciados (tipo ‘Oracle’ ou similar), sendo que estes dados podem então ser visualizados através de um servidor de mapas acessível e de fácil manutenção, como, por exemplo, o ‘MapServer’. Este tem a finalidade de disponibilizar dados espaciais, compreendidos em arquivos ‘ShapeFile’, imagens de satélite, e dados tabulares através de computadores em rede, permitindo que o usuário com um navegador, possa interagir com mapas dinâmicos através de comandos de navegação sobre imagens como zoom e pan. O servidor de mapas deve também permitir a realização de consultas, além da criação de mapas temáticos e relatórios.

Com o objetivo de possibilitar ao usuário acesso de forma rápida e fácil a diversas informações georreferenciadas do Estado de São Paulo, está sendo desenvolvida uma aplicação que utiliza o framework ‘Pmapper’ sobre o ‘MapServer’, que é um sistema de distribuição SIG de código aberto e livre acesso. Este aplicativo provê uma ampla funcionalidade e múltiplas configurações, com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de uma aplicação ‘MapServer’ baseada em ‘PHP/MapScript’. Dentre as principais características do ‘Pmapper’ estão: permitir a configuração de funções e interface, ter funções de consultas, e oferecer ao usuário a utilização de múltiplas linguagens na interface do sistema. Por fim, através da interface deste aplicativo, o usuário pode consultar informações sobre dados hidrometeorológicos, malhas rodoviárias e ferroviárias, municípios, bacias hidrográficas, além das informações qualitativas e quantitativas

sobre os rios, barragens, restrições, ocupações e etc, dentre outros níveis de informação como regras operacionais e valores limitantes.

A esta base de visualização de informações serão acoplados os modelos de previsão de afluências e de simulação do escoamento em rios. O primeiro fornece como resultados as vazões incrementais afluentes a uma barragem em função das precipitações sobre a bacia, e o segundo permite a determinação da linha d'água ao longo do tempo e, num passo adiante, a determinação das potenciais áreas de inundação. Diversas outras ferramentas auxiliares são necessárias, destacando-se a utilizada para a formação do modelo digital do terreno, que delimitará regiões atingidas com diferentes magnitudes.

Essencialmente, essas ferramentas fornecem funcionalidades únicas ao sistema, incluindo a manipulação de dados observacionais e geoespaciais, análises temporais e geoespaciais, e modelação numérica hidrológico-hidráulica.

A Figura 2 apresenta um esquema simplificado das interligações entre os diversos componentes do sistema.

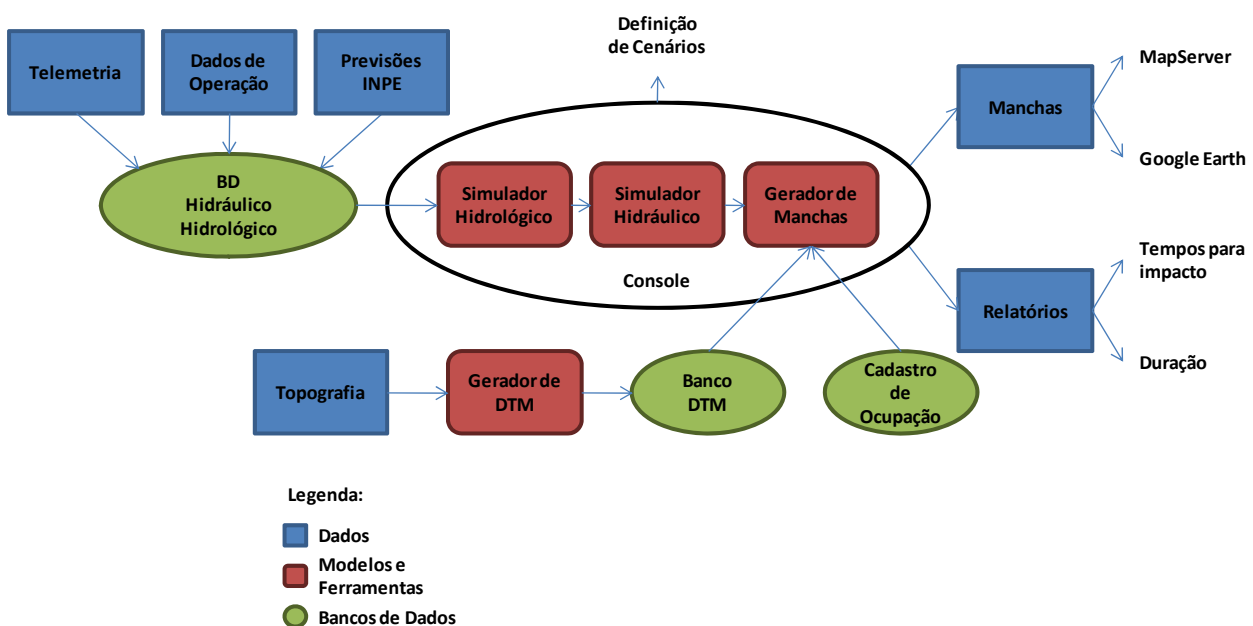


Figura 2: Concepção do Sistema.

Os dados necessários para a utilização do sistema são, principalmente, os dados telemétricos de vazões medidos em alguns postos operados pela AES, os dados estruturais e operacionais das usinas e as previsões de cinco dias de chuvas obtidas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Esses dados compõem o Banco de Dados Hidráulico/Hidrológico que alimentará o console do sistema.

O sistema automaticamente fará uma consulta nos bancos de dados da AES para obtenção dos dados necessários. Os bancos de dados da AES integrados ao sistema são:

- STH: contêm os dados telemétricos fluviométricos e pluviométricos;
- BDHE: contêm as séries históricas de dados operacionais das usinas;
- BPI: contém o cadastro de ocupações na região dos reservatórios.

As informações de previsões de cinco dias de precipitação diária, fornecidas pelo CPTEC, utilizadas pelo modelo hidrológico, serão obtidas automaticamente a partir de área específica de FTP (*'File Transfer Protocol'*) no site (<ftp://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/tempo/>)

Os dados de vazões telemétricas e das previsões de chuva alimentam o Simulador Hidrológico que deverá gerar as previsões de cinco dias das vazões incrementais das diversas bacias em estudo. Essas vazões incrementais, juntamente com os dados estruturais e operacionais das usinas, alimentarão o Simulador Hidráulico. Este simulador gerará as variações de vazões e de da linha d'água ao longo dos rios durante os períodos de cinco dias simulados.

Também é necessária a criação de um modelo digital do terreno, para cada uma das áreas em estudo, a partir de dados topobatimétricos. Tal procedimento é realizado com o emprego de uma ferramenta que pode ser denominada de Gerador de DTM (*'Digital Terrain Model'* – Modelo Digital do Terreno), que interpola os dados topobatimétricos gerando uma malha discreta. Depois de gerados os DTMs para as diversas áreas em estudo, estes serão armazenados em um banco de dados, denominado Banco DTM.

A ferramenta denominada de Gerador de Manchas realiza o cruzamento das linhas d'água geradas pelo Simulador Hidráulico com os DTMs, gerando as manchas de inundações. Essas manchas serão exportadas no formato específico para serem lidas através do visualizador online (*'MapServer'*) e também no formato .kml, de modo que possam ser utilizadas no *'Google Earth'*.

Já o cruzamento das manchas de inundação com o cadastro de ocupações indica quais pontos serão afetados, qual o impacto sobre cada ponto e a duração desses impactos. Essas informações estarão contidas em relatórios gerados automaticamente pelo sistema.

Uma das funcionalidades mais importantes do sistema é a previsão de cinco dias das linhas de inundação. O sistema deverá, a partir do estado atual de vazões e níveis d'água, obtidos a partir das últimas medições telemétricas, calcular automaticamente, com base nas previsões pluviométricas de cinco dias do CPTEC, a variação das manchas de inundação ao longo dos cinco dias futuros, permitindo aos operadores das barragens um maior tempo de antecipação dos impactos.

Arquitetura Básica do Sistema

Para o sistema em desenvolvimento, concebeu-se um modelo de três camadas com algumas variações da concepção mais comum.

A arquitetura do modelo de três camadas consiste em dividir o sistema em módulos, de modo que estes possam ser alterados de forma independente. Esta arquitetura usualmente se divide em: Camada de Apresentação, Camada de Processamento da Aplicação, e Camada de Gerenciamento de Dados. A Camada de Apresentação está relacionada à apresentação dos resultados de um processamento para os usuários do sistema, ou seja, é a própria interface do sistema. A Camada de Processamento da Aplicação está relacionada ao fornecimento de funcionalidade específica da aplicação, como por exemplo, consultas ao banco de dados. A Camada de Gerenciamento de Dados está relacionada ao gerenciamento do banco de dados do sistema, ou seja, é responsável pela manutenção e integridade dos dados.

No sistema proposto (Figura 3), a máquina do usuário final é a Camada de Apresentação, sendo que este acessará o sistema através do navegador web de sua estação de trabalho, remotamente.

O usuário, ao entrar no sistema, irá se conectar com uma máquina denominada Servidor de Aplicação Web, através da porta HTTP 80. Este servidor é utilizado como a Camada de Processamento da Aplicação e contém as aplicações que irão interagir com o banco de dados através de consultas, e também as imagens de satélite e os arquivos SIG (arquivos *'ShapeFile'*), que serão exibidos na interface com o usuário final (*'Apache'*, *'MapServer'* e *'PHP'*). As imagens de satélite, essencialmente fotografias na banda visível, serão armazenadas neste servidor, pois são imagens com grande resolução, e que levam algum tempo para serem processados. Desta maneira, para melhorar o desempenho do sistema, as imagens ficarão armazenadas no próprio servidor de aplicação para eliminar o processo de busca destas no banco de dados.

Por último o servidor de aplicação se comunicará com o servidor de dados, que funciona como a Camada de Gerenciamento de Dados, onde está o banco de dados *'Oracle'*, e esta comunicação ocorre através da porta 1521.

Para manutenção, alterações e atualizações no sistema e banco de dados, existirá um acesso remoto através de um emulador de terminal (tipo *'Microsoft Remote Desktop'*). Este acesso deve ser realizado por usuários qualificados para a atividade de operação manutenção.

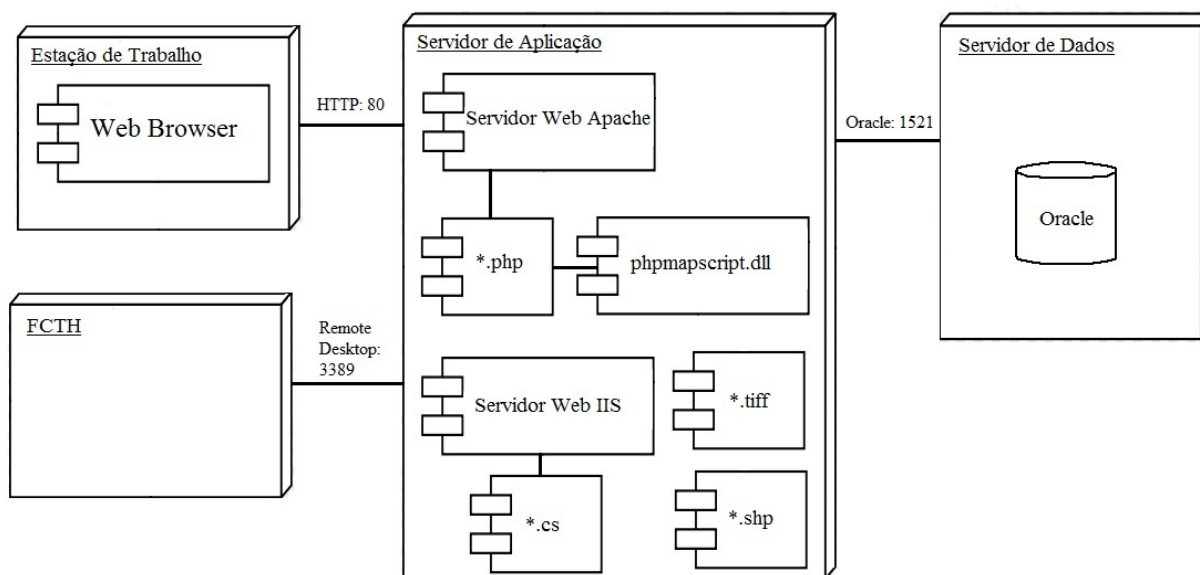


Figura 3 – Esquema do modelo de três camadas

Integração do Sistema com o Banco de Dados

O banco de dados deste projeto irá armazenar vários tipos de arquivos, sendo que os mesmos serão recuperados através da aplicação web. Portanto, esta aplicação permitirá a consulta e visualização dos dados que estão no banco, bem como a recuperação destes dados.

Outra característica deste sistema será a integração deste com outros bancos de dados e modelos, como os modelos hidrodinâmico e de rompimento de barragens utilizados pela FCTH (*'Cliv'* e *'DamBreak'*), e de previsão de efluências da AES. Além destes modelos, o sistema também será integrado com os bancos de dados que contém o cadastro de ocupações, os dados de telemetria, e as séries históricas de dados operacionais da AES.

Por fim, a Figura 4 ilustra a interação entre a aplicação web e o banco de dados, assim como os tipos de dados armazenados no banco.



Figura 4: Interação entre aplicação web e banco de dados.

Gerenciador do Banco de Dados

A Figura 5 ilustra o sistema gerenciador de banco de dados que contém o aplicativo 'MapServer', e que utiliza como interface do sistema o 'framework Pmapper' (Aplicação 'Web').

Como pode ser observado na Figura 5, os *layers* ativados são: Imagens de Satélite, Manchas de Inundação (indicada pelo polígono verde), e Pontos de Restrição (indicados pelos pontos vermelhos).



Figura 5: Sistema Gerenciador do Banco de Dados.

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo apresentar a metodologia utilizada na concepção do Sistema de Gerenciamento de Ações Emergenciais da Geração AES Brasil (SGAE). Tal sistema tem a função principal de permitir a elaboração de Planos de Ação Emergencial para os sistemas operados pela AES Tietê, através da construção de uma plataforma de ferramentas e informações, destinada a gestão de impactos causados por cheias e acidentes com as barragens de geração hidrelétrica operadas pela AES Tietê em diferentes configurações, incorporando tecnologias de simulação, mapeamento de áreas inundáveis, cadastro e identificação de pontos impactados, mecanismos de previsão, estabelecimento de uma cadeia de decisão e divulgação de informações relativas a ações de emergência em diferentes níveis.

O sistema que vem sendo desenvolvido permite que esses objetivos sejam atingidos e ainda permite que o PAE seja encarado de uma forma dinâmica e interativa, permitindo, também, a simulação de cenários de previsão e alterações nas diversas variáveis que afetam os sistemas hídricos, de modo que alternativas operacionais possam ser estudadas para minimizar os impactos previstos. O modo de simulação de previsão de cinco dias permite ainda uma maior antecipação dos impactos, mesmo que estes sejam pequenos e usuais.

Como a Lei 12.334 é recente e ainda está sendo regulamentada, espera-se que, em breve, sejam estabelecidos os padrões nacionais para a elaboração de planos de ações emergenciais. Portanto a metodologia aqui proposta pode sofrer alterações ao longo do tempo em virtude dos documentos normativos que surgirem.

Bibliografia

AES TIETÊ. *Sistema de Operação em Situação de Emergência - Manual de Operação Hidráulica de Reservatórios*. [S.l.]. 2004. UHE Barra Bonita, UHE Bariri, UHE Ibitinga, UHE Promissão, UHE Nova Avanhandava, UHE Caconde, UHE Euclides da Cunha, UHE Limoeiro, UHE Água Vermelha, UHE Mogi Guaçu.

AES TIETÊ. *Sistema de Gerenciamento de Emergências Hidrológicas*. São Paulo, p. 223. 2007. (RF-969-07 R0). Relatório Final.

AES TIETÊ. *Estudos de Rompimento das Barragens de Caconde, Euclides da Cunha, Limoeiro, Mogi-Guaçu e Água Vermelha*. São Paulo, p. 405. 2009. (RF-1033-08 R0). Relatório Final.

AES TIETÊ. *Estudos Hidrológicos para determinação das cheias de projeto na PCH São José e PCH São Joaquim*. São Paulo, p. 72. 2010. (RP-03-1046-10 R0). Relatório Parcial 3.

CBDB. *Guia Básico de Segurança de Barragens*. São Paulo, p. 78. 1999.

FEMA. *Emergency Action Planning for Dam Owners. Federal Guidelines for Dam Safety*. U.S. Department of Homeland Security – Federal Emergency Management Agency. USA, p. 34p. 2004.

IBGE. Censo 2000. [S.l.]. 2000.

UEMURA, S. *Instrumentos de Avaliação e Gestão de Impactos Gerados por Rupturas de Barragens*. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

WISEU, M. T. F. *Segurança dos Vales a Jusante de Barragens – Metodologias de apoio à gestão do risco*. Lisboa: Tese (doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2008. 377p p.