IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL

MINERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E PATRIMÔNIO HISTÓRICO-CULTURAL E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

JOSÉ CLAUDIO JUNQUEIRA RIBEIRO

ROMEU FARIA THOMÉ DA SILVA

M664
Mineração e desenvolvimento sustentável e patrimônio histórico-cultural e licenciamento ambiental [Recurso eletrônico on-line] organização Escola Superior Dom Helder;

Coordenadores: José Claudio Junqueira Ribeiro, Romeu Faria Thomé da Silva – Belo Horizonte: ESDH, 2017.

Inclui bibliografia
ISBN: 978-85-5505-280-4
Modo de acesso: www.conpedi.org.br em publicações
Tema: Sustentabilidade, Ambientalismo de Mercado e Geopolítica.

1. Direito – Estudo e ensino (Graduação e Pós-graduação) – Brasil – Congressos internacionais. 2. Mineração. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Patrimônio histórico-cultural 5. Licenciamento ambiental. I. Congresso Internacional de Direito Ambiental (4:2016 : Belo Horizonte, MG).

CDU: 34

Dom Helder
ESCOLA DE DIREITO

IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL

MINERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E PATRIMÔNIO HISTÓRICO-CULTURAL E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Apresentação

A Coordenação dos Grupos de Trabalho "Mineração e DDesenvolvimento Sustentável" e "Patrimônio histórico-cultural e Licenciamento Ambiental" sente-se honrada por apresentar essa coletânea de artigos, fruto das pesquisas e dos debates realizados no âmbito do IV Congresso Internacional de Direito Ambiental.

O evento, realizado em Belo Horizonte/MG, desenvolveu suas atividades na Escola Superior Dom Helder Câmara – ESDHC, no período de 21 a 23 de setembro de 2016.

A Dom Helder vem se consolidando ao longo dos últimos anos como um polo de pesquisa, ensino e extensão em Direito Ambiental, apresentando como um de seus principais eventos o Congresso Internacional de Direito Ambiental, oportunidade em que se reúnem na Instituição renomados pesquisadores e juristas nacionais e estrangeiros para trocar experiências e informações relacionadas à gestão do meio ambiente e propor o aprimoramento das normas ambientais em vigor.

As normas jurídicas, já utilizadas como instrumentos vocacionados ao crescimento econômico, devem ser compreendidas, a partir da constitucionalização da proteção do meio ambiente, como instrumentos de viabilização do desenvolvimento econômico sustentável.

A construção do conhecimento, paulatinamente, estrutura-se pelo esforço de docentes, doutorandos e mestrandos, que desenvolvem a pesquisa jurídica de maneira independente e comprometida. Nessa perspectiva, os onze artigos apresentam análise interdisciplinar de temas contemporâneos e, desse modo, efetiva contribuem para a evolução e consolidação de diversos institutos jurídicos.

A contribuição acadêmica dos pesquisadores participantes dos Grupos de Trabalho "Mineração e Desenvolvimento Sustentável" e "Patrimônio histórico-cultural e Licenciamento Ambiental" é, sem dúvida, essencial para movimentar os debates social, econômico, ambiental, político e jurídico, revigorando a participação democrática. Gostaríamos de, mais uma vez, tecer sinceros agradecimentos aos autores e, ainda, registrar

nosso propósito de instauração de debates impulsionados pelos trabalhos agora publicados, na expectativa de que o elo direito, economia e desenvolvimento sustentável se fortifique. Convidamos, por fim, a todos, para uma profícua leitura.

Professor Doutor Romeu Faria Thomé da Silva – DOM HELDER

Professor Doutor José Cláudio Junqueira Ribeiro– DOM HELDER

CONSIDERAÇÕES BASILARES SOBRE O PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL – PAE E SOBRE A METODOLOGIA DAM BREAK NA ANÁLISE DE RUPTURAS DE BARRAGENS DE REJEITOS MINERAIS

BASIC CONSIDERATIONS ON THE EMERGENCY ACTION PLAN – EAP AND ON THE DAM BREAK METHODOLOGY IN ASSESSING MINERAL TAILINGS DAM BREAKS

Alexander Marques Silva
Raquel de Lacerda Murta da Silva Braga [1]

Resumo

O artigo propõem-se a apresentação dos principais conceitos de métodos de gestão de riscos de barragens de rejeitos adotados atualmente, para subsidiar uma análise crítica. Assim, serão abordados os instrumentos da política nacional de segurança de barragens, a definição dos diferentes tipos de fluidos e os softwares e modelos preditivos disponíveis para análise do comportamento desses fluidos, apresentando-se as especificidades no modelo não-newtoniano, enfim analisa-se o uso desses mecanismos para a eficácia do Plano de Ação Emergencial na mitigação dos impactos na ruptura de uma barragem. Utilizando-se a metodologia tecnológico-social-científica e a investigação jurídico-descritiva.

Palavras-chave: Barragem, Gestão de riscos, Dam break, Plano de ação emergencial

Abstract/Resumen/Résumé

The article proposes to present the main concepts of risk management methods of tailings dams currently used to subsidize a critical analysis. So will discuss the instruments of national policy on dam safety, the definition of different types of fluids and software and predictive models available for analysis of the behavior of these fluids, presenting the specifics in the non-Newtonian model finally is analyzed the use of these mechanisms for the effectiveness of the Emergency Action Plan in mitigating the impacts of a dam break. Using the technological and social-scientific methodology and the legal and descriptive research.

Keywords/Palabras-claves/Mots-clés: Dam, Risk management, Dam break, Emergency action plan

[1] Mestranda em Direito Ambiental Escola Superior Dom Helder Câmara. Professora de inglês e francês instrumental na ESDHC. Tradutora especializada em mineração. Email: raquel@traduzza.com.br

1. INTRODUÇÃO

A lei federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens, incluindo no conceito de barragem as estruturas voltadas à acumulação de água, disposição de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. A referida lei define, também, as características das barragens abraçadas por ela no que diz respeito à altura e à capacidade mínimas, tipo de resíduo, risco potencial de ruptura e categoria do dano potencial associado em casos de rompimento da barragem.

A abordagem tradicional no que diz respeito à gestão de segurança de barragens, ou, nos termos do ato normativo, gestão de risco, é voltada para a segurança por meio de obras, legislações e planos independentes e não ligados entre si, o que muitas vezes não gera a eficácia esperada.

Assim, é necessário que haja uma evolução para que essas abordagens sejam voltadas para o risco com o tratamento integrado das ações, do desempenho e das consequências. A gestão de risco da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB tem como uma de suas bases o Plano de Ação de Emergência – PAE, integrante do Plano de Segurança de Barragens – PSB a ser desenvolvido e apresentado pelo empreendedor, que estabelece um conjunto de ações em resposta a situações emergenciais para, preferencialmente, evitar a ocorrência de acidentes, ou minimizar suas consequências.

A Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB prevê, dentre outras coisas, a elaboração do PAE de acordo com a categoria de risco do possível dano inerente à barragem, sendo que, em caso de dano potencial alto, o PAE será obrigatório.

Nos termos da referida lei, o Plano de Segurança da Barragem – PSB deverá listar e avaliar as possíveis situações de emergência; abordar os procedimentos para que sejam identificadas e notificadas potenciais condições de ruptura da barragem; tratar dos procedimentos corretivos e preventivos; e determinar ações emergenciais junto às comunidades afetadas.

Para tanto, é preciso que se faça uma análise de ruptura da barragem com o intuito de avaliar as condições de segurança do barramento, as características do fluxo, a provável rota da onda de cheia em caso de ruptura, os efeitos a jusante, além de outras menções necessárias para mitigar os efeitos danosos associados a uma possível ruptura da barragem. É essa Análise que dará suporte e subsídios ao Plano de Ação Emergencial – PAE e à tomada de decisões.

Como problema apresentado, a ineficácia da segurança das barragens provocada pela inefetividade dos planos de segurança ou dos instrumentos que lhe são afetos surge como ameaça à tranquilidade e ao equilíbrio social hodierno.

Como hipótese, entende-se que, para a análise da aplicação efetiva de instrumentos e políticas que reduzam os riscos e proporcionem a segurança adequada, é necessário conhecer o básico do assunto e, somente então, propor soluções para o problema apresentado.

O objetivo principal deste estudo é apresentar os conceitos basilares e formar uma opinião crítica dos métodos de gestão de riscos utilizados no Brasil atualmente. Para isso, tem-se como objetivos específicos, primeiramente, demonstrar normativamente em âmbito nacional os instrumentos da política nacional de segurança de barragens; em segundo plano, definir os diferentes tipos de fluidos, listar os softwares e modelos preditivos disponíveis para análise do comportamento desses fluidos, apresentar as especificidades de cada software e modelo não-newtoniano e, por fim, avaliar de que maneira o uso de cada instrumento disponível pode ser otimizado de forma a que o Plano de Ação Emergencial – PAE possa realmente ser um instrumento efetivo, não só na mitigação dos impactos decorrentes da ruptura de uma barragem, mas, principalmente, na prevenção dessa ruptura, com o intuito de evitar os danos materiais, à vida humana e ambientais resultantes.

A linha metodológica utilizada foi a tecnológico social científica, abarcando como linha teórico-metodológica, a jurídico-sociológica, como processo mental, o método indutivo-dedutivo e, por fim, o tipo de investigação utilizado foi o jurídico-descritivo.

2. Plano de segurança de barragens de rejeitos de minério

O empreendedor da extração e beneficiamento mineral deverá elaborar o Plano de Segurança de Barragens – PSB em concordância com o artigo 8º da lei federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, conhecida como Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. O mencionado plano tem como escopo prevenir incidentes e, por vezes, acidentes envolvendo as estruturas que compõem o barramento.

Nesse sentido, a obrigatoriedade legal enquadra as barragens de todo e qualquer tipo, não apenas as de rejeitos minerários, que possuam as características elencadas no artigo 1º, § único da PNSB.

> **Art. 1º -** Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

> **Parágrafo único** – Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:
> I – altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
> II – capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);
> III – reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
> IV – categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º. (BRASIL, 2010)

Por se tratar de lei federal de caráter geral e não específico, coube ao ente executivo, frente à omissão legislativa, editar diversos atos infralegais regulamentando ou estabelecendo os critérios para aplicação da lei, sob a forma de atos administrativos tais como resoluções, deliberações normativas, entre outros.

O artigo 8º da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB prevê que são componentes básicos do Plano de Segurança de Barragens – PSB:

I – identificação do empreendedor;

II – dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;

III – estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;

IV – manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;

V – regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;

VI – 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;

VII – Plano de Ação de Emergência – PAE, quando exigido;

VIII – relatórios das inspeções de segurança;

IX – revisões periódicas de segurança.

As revisões periódicas são definidas pelo órgão fiscalizador responsável pela outorga, concessão, autorização ou licenciamento dos direitos minerários ou do uso dos recursos hídricos e abrangem os critérios a serem utilizados, os requisitos mínimos a constarem no relatório e a periodicidade da execução.

Em nível federal, com relação às barragens de deposição de rejeitos minerários, o órgão fiscalizador é, via de regra, o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, vinculado ao Ministério das Minas e Energia – MME, que estabelece os critérios de revisão.

As inspeções regulares dos órgãos fiscalizadores ocorrerão em pelo menos 3 (três) modalidades e, em todas elas, o empreendedor deverá apresentar as comprovações relativas às revisões periódicas de segurança, assim como os relatórios provenientes dessas inspeções.

Os dados e fatores elencados no Plano de Ação Emergencial – PAE serão igualmente observados nos relatórios de segurança e nas fiscalizações. Tanto o PAE quanto a revisão periódica são de responsabilidade e deverão ser executados pelo empreendedor. A seguir, serão abordados os elementos constantes do PAE, assim como os instrumentos facilitadores da aplicação do referido plano.

2.1 Plano de Ação Emergencial das Barragens de rejeitos de minério – PAEBM

O Plano de Ação Emergencial ou de Emergência – PAE é um item obrigatório para alguns tipos de empreendedores de barragens. Entretanto, por se tratar de estrutura de alto potencial de risco e dano, torna-se uma obrigatoriedade para quase todos os tipos de barragens de rejeitos minerários, sendo denominado por diversos atos normativos e doutrinas como Plano de Ação de Emergência ou Emergencial de Barragens de Rejeitos de Minério – PAEBM.

O PAE tem como escopo delimitar as ações, denominadas zona de autossalvamento, que o empreendedor adotará até a chegada dos órgãos competentes para prestação de socorro, como a Defesa Civil, o Corpo de Bombeiros, a Polícia Militar e os órgãos ambientais. Isso se deve ao fato de que muitos desses empreendimentos localizam-se em áreas remotas e de difícil acesso, além do fato de que o próprio empreendedor conhece com mais especificidade as peculiaridades do local e da estrutura danificada.

> Art. 12. O PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar, pelo menos:
> I - identificação e análise das possíveis situações de emergência;
> II - procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem;
> III - procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;
> IV - estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência. (BRASIL, 2010)

O PAE deverá estar disponível no empreendimento, na prefeitura e ao alcance dos demais interessados. Dentre os conteúdos mínimos, destacam-se aqueles previstos no artigo 6º e anexo I da Portaria DNPM nº 526/13[1], tais como informações gerais da barragem; procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência; detecção, avaliação e classificação das situações de emergência; fluxograma e procedimentos de notificação com os números de telefone, quando for o caso, dos envolvidos associados; responsabilidades gerais no PAEBM; análise do estudo de cenários compreendendo os possíveis impactos a jusante resultantes de uma hipotética ruptura de barragem, com o mapa correspondente para cenários georeferenciados; e os anexos e apêndices.

Dentre as análises do estudo de cenários compreendendo os possíveis impactos a jusante resultantes de uma hipotética ruptura de barragem e avaliação do dano potencial associado, juntamente com a classificação ou reclassificação da barragem quanto ao risco, são relevantes alguns instrumentos como o *Dam Break*, que será detalhado no tópico 3 do presente estudo.

> As consequências do rompimento de qualquer barragem devem ser analisadas com o objetivo de determinar regras operacionais de reservatórios, planos de evacuação da população e critérios para a ocupação das áreas que podem ser atingidas. Para barragens em fase de projetos deve-se considerar a possibilidade de rompimento, e seus prejuízos. Para barragens já existentes é necessário planejar medidas para mitigar os efeitos de um eventual rompimento. (COLLISCHONN, TUCCI, 1997, p.191)

Ainda que não seja possível prever todas as situações, o PAE busca promover a gestão de segurança, reduzir os riscos de rompimento e, no caso da ruptura de uma barragem, minimizar os danos decorrentes, tudo de acordo com as determinações legais. Dentre as finalidades do PAE, encontra-se a constante monitoração dos índices do barramento, seja no aspecto de planos e relatórios, sejam em monitoramentos constantes *in loco*, por meio de aparatos tecnológicos desenvolvidos e disponíveis para tal finalidade, como *softwares*, verificadores de abalos sísmicos, radares meteorológicos, sistemas de alerta e evacuação, e simulações envolvendo a população a jusante.

Após a detecção do acidente ou do incidente de rompimento de barragem, o Plano de Ação Emergencial deve ser posto em prática no menor espaço de tempo possível com vistas a reduzir os danos e impactos resultantes de tal sinistro. Em que pese não ser capaz de salvar

[1] A Portaria DNPM nº 526, de 09 de dezembro de 2013, estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração – PAEBM.

todas as vidas e impedir todos os danos, um Plano de Ação de Emergência bem elaborado e executado é capaz de reduzir de forma substancial os impactos negativos.

A formulação do PAE caberá sempre a profissional habilitado pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA, ou por órgão equivalente em nível federal, conforme previsto no artigo 9º, da Portaria DNPM nº 416/2012[2].

> **Artigo 9º** - O Plano de Segurança da Barragem deverá ser elaborado por responsável técnico com registro no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA, com atribuições profissionais para projeto, construção, operação ou manutenção de barragens, compatíveis com as definidas pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CONFEA. (BRASIL, 2012)

Conforme demonstrado no mesmo instrumento normativo, qual seja a Portaria DNPM nº 416/12, o Plano de Ação de Emergência – PAE deverá ter linguagem acessível a todos, reduzindo ao máximo a utilização dos termos técnicos, além de conter informações referentes a procedimentos preventivos e corretivos em caso de existência de fissuras ou indícios de ruptura. Enfim, são necessários alguns estudos específicos e alguns conhecimentos basilares, ainda que mínimos, para a aplicabilidade efetiva do PAE.

3 A ANÁLISE DOS DIFERENTES TIPOS DE FLUÍDOS CONTIDOS EM BARRAMENTOS PARA DEFINIÇÃO DE MÉTODOS DE SEGURANÇA

A fim de se confeccionar um Plano de Ação Emergencial efetivo e eficaz, é preciso realizar simulações de cenários, as quais devem ser feitas da forma mais realista possível ou, mesmo pessimista, vislumbrando o pior cenário possível no caso da ruptura do barramento. Tal análise cética ou pessimista visa aumentar a possibilidade de salvamentos de vidas humanas e mitigar os danos ambientais, sejam naturais, como os ecológicos que incluem os biológicos ou não, sejam os artificiais, como os históricos ou construídos.

Assim, faz-se necessária a análise dos variantes tipos de fluídos e das formas de simulação principalmente utilizadas nos dias atuais, com ênfase nos *softwares* de simulação

[2] Portaria nº 416, de 03 de setembro de 2012, Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração conforme a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens.

hipotética, que facilitarão a identificação desse prognóstico e das ações adequadas a serem tomadas.

A dinâmica dos fluidos é matéria obrigatória nos cursos de engenharia e naqueles de ciências correlatas. Dentre essas dinâmicas, as questões referentes aos escoamentos, pressão pascal e outras se destacam para o estudo *in casu*. Algumas variações de fluidos que interferem diretamente na gestão de segurança da barragem de rejeito minerário serão descritas a seguir.

3.1 Fluidos newtonianos e não-newtonianos

Consideram-se fluidos newtonianos aqueles cuja viscosidade é constante para diferentes taxas de cisalhamento, ou seja, deformação pela atuação de forças com deslocamento em planos diferentes e volume constante. Nos fluidos newtonianos, a tensão é diretamente proporcional à taxa de deformação. Apesar de não existir um fluido perfeitamente newtoniano, fluidos mais homogêneos como a água, costumam ser estudados como newtonianos para muitas finalidades práticas (WHITE, 2011, p. 43).

Já os fluidos não-newtonianos, são aqueles nos quais a tensão de cisalhamento não é diretamente proporcional à taxa de deformação. Portanto, sua viscosidade absoluta não é bem definida, mudando de acordo com a taxa de deformação e dependendo do tempo e da taxa de fluxo. Os rejeitos e as lamas estão incluídos nessa classificação (WHITE, 2011, p. 44).

A absoluta maioria dos softwares desenvolvidos para análise de ruptura de barragens o foi para barragens de armazenagem de água. No entanto, alguns ajustes em suas funcionalidades permitem a avaliação de rejeitos, por exemplo. Os principais modelos e suas características serão examinados a seguir.

O mesmo ajuste ocorre em diversas áreas que abordam o mesmo assunto, tais como a legislação, os atos normativos emanados do poder executivo competente, em regra, doutrinas e jurisprudências e, inclusive, na esfera multidisciplinar. Não que inexista matéria sobre o assunto em doutrinas de geografia ou engenharia, mas fato é que a doutrina que versa sobre água é muito mais abundante do que sobre a disposição de rejeitos.

3.2 Principais modelos de softwares para análise de ruptura de barragens

De acordo com a legislação vigente, o Plano de Ação Emergencial – PAE deverá possuir, entre outras condicionantes, as análises do estudo de cenários compreendendo os

possíveis impactos a jusante resultantes de uma hipotética ruptura da barragem. Hoje, existem algumas formas de análise desses cenários possíveis, mas a mais usual é aquela que simula, geralmente via computação gráfica, os piores cenários possíveis em casos de ruptura.

Como exemplo, cita-se uma barragem relativamente nova, mas que já possui alteamento a montante e na qual a altura do talude já é considerável, algo superior a 15 (quinze) metros de altura, e a ruptura ocorre no dique de partida. No caso hipotético, há barragens a jusante que sofrerão os impactos da ruptura da barragem a montante, seja por galgamento ou por outro tipo de ruptura.

No exemplo citado, é feita a análise denominada *Dam Break*, que, em uma tradução literal, significa quebra, ruptura da barragem, do paramento. No *Dam Break*, vislumbra-se o pior cenário, incluindo área de extravasamento e outras localidades atingidas, além do cálculo hipotético da quantidade de vidas humanas perdidas.

Os softwares disponíveis estão separados de acordo com o tipo de fluido que têm a capacidade de analisar, sendo que o escopo do presente estudo são os fluidos não-newtonianos, quais sejam aqueles que se coadunam com os elementos contidos na barragem de rejeitos minerários. Algumas dessas ferramentas aceitam a inserção de dados como peso e viscosidade do fluido, o que permite a avaliação de fluidos não-newtonianos.

3.3 Para fluxos não-newtonianos

A gestão de risco se traduz nas ações de caráter normativo, bem como na aplicação de medidas para prevenção, controle e mitigação de riscos decorrentes da ruptura de barragens, seja na forma de acidentes, onde o componente represado extravasa, causando danos de todas as ordens, ou na forma de incidentes, onde se verifica uma falha na estrutura que pode evoluir para a ruptura ou ser corrigida com a utilização dos programas computacionais específicos de avaliação das possíveis falhas.

Alguns desses softwares apesar de obsoletos, como é o caso do DAMBRK, ainda são utilizados devido ao baixo custo e benefício relativamente alto em comparação com os demais. A questão maior nesse sentido é que tais programas em desuso não analisam todas as variáveis possíveis, deixando assim, algumas possibilidades de ocorrência de falhas da estrutura sem que ocorra a análise adequada.

3.3.1 DAMBRK

O DAMBRK foi desenvolvido inicialmente em 1977 pelo Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos para uso pelo governo em barragens de água. O modelo pode ser usado em situações reais ou hipotéticas como parte de um sistema de aviso de perigo em tempo real ou para elaboração de planos de mitigação. Ele passou por inúmeras melhorias desde então, tendo seu uso sido expandido e suas características alteradas para que se tornasse mais "amigável" e pudesse calcular a rota de cheia em barragens de rejeitos.

O modelo utiliza a teoria hidrodinâmica no cálculo da formação da onda de cheia e sua evolução a jusante, sendo bastante flexível no que diz respeito à quantidade e à qualidade dos dados necessários para sua operação: quanto mais informação for fornecida, mais precisos serão os resultados obtidos. Mais tarde, o modelo foi atualizado pela empresa *BOSS International* com o nome de BOSS DAMBRK.

Dentre outras funcionalidades, o DAMBRK é capaz de descrever o modo de ruptura da barragem temporal e geometricamente; calcula a hidrografia do fluxo que passa pela brecha e determina a rota do fluxo pelo canal a jusante. É um bom instrumento para definir a possível área atingida. Ele permite que o usuário forneça dados geométricos e temporais para que possa prever com exatidão a onda inicial de ruptura. Uma vez que permite ao usuário definir peso, viscosidade, resistência ao cisalhamento e taxa de deformação, permite modelar fluxos não-newtonianos supercríticos, subcríticos e mistos.

3.3.2 FLDWAV

O FLDWAV também foi desenvolvido pelo Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos e a intenção foi de que substituísse o modelo DAMBRK. O software foi submetido a anos de testes no Laboratório de Pesquisa Hidrológica do Serviço Nacional de Meteorologia dos EUA e, em seguida, foi testado por alguns usuários selecionados dentro e fora do Serviço.

O modelo, assim como o DAMBRK, determina a hidrografia do fluxo devido a extravasamento, transbordamento ou ruptura de barragem. É definida a rota a jusante da onda resultante utilizando-se uma solução numérica juntamente com equações para fluxos instáveis que irão representar barragens a jusante, pontes, cachoeiras e outros controles de fluxo naturais ou construídos pelo homem.

Esse modelo, relativamente ao DAMBRK, é capaz de trabalhar em sistemas de cursos d'água interconectados, como o rio principal e seus tributários, ou canais bifurcados ou derivações com uma ou mais barragens. Opera com fluxo misto supercrítico/subcrítico, com

alterações que ocorrem devido ao tempo ou à distância ao longo da rota. O modelo realiza a calibração automática de coeficiente de rugosidade para cheias históricas e suas características numéricas de estabilidade foram melhoradas. A entrada de dados é orientada por um menu com comandos interativos que fornece perfil de pico de descarga, perfil de elevação de pico de superfície da água, hidrografias de múltiplas descargas com seções transversais especificadas pelo usuário, hidrografias de múltiplos estágios com seções transversais especificadas pelo usuário, relações estágio/descarga computadorizadas com seções transversais especificadas pelo usuário, hidrografia de descarga de influxo, hidrografia de fronteira a jusante ou curva de classificação de descarga por estágios, perfis de descarga múltipla e/ou superfície da água em momentos selecionados, seções transversais originais ou interpoladas. Até 15 perfis podem ser exibidos simultaneamente. Os dados são acolhidos em gráficos coloridos.

Esse modelo pode ser usado para previsão de cheias por ruptura de barragens com a utilização de tecnologias de previsão em tempo real, para mapeamento de rota de cheia para planejamento de planos de contingência, cálculo da provável área atingida e planejamento de melhorias, dentre outras coisas. Ele leva em conta o terreno e as propriedades materiais em diferentes intervalos de tempo e ajusta o padrão do fluxo.

3.3.3 BOSS DAMBRK

Esse software foi desenvolvido a partir do código original do DAMBRK para realizar a modelagem hidrodinâmica avançada de rios, canais e reservatórios. Ele é utilizado para mapeamento de onda de cheia, análise de segurança de barragem, análise de ruptura de barragem, análise de risco de cheia e projeto de mitigação, previsão de cheia em tempo real e análise de vertedouro de reservatório, dentre outros usos. O software é de uso intuitivo e amigável e permite que arquivos anteriores do DAMBRK sejam importados para uso de modelos já existentes. Ele é capaz de gerar informação sobre estratégias de operação de reservatórios, planos de ação de emergência, avaliação de riscos, dentre outras, através da apresentação 30 tipos diferentes de gráficos.

3.3.4 FLO-2D

O modelo FLO-2D foi desenvolvido por Jim O'Brien a partir do MUDFLOW (1986) e é muito utilizado no mundo todo para modelar o fluxo de sedimentos e delinear as

consequências e a área da onda de cheia. Um modelo reológico, para estudo das deformações e do fluxo da matéria, é utilizado para modelar o fluxo de sedimentos. A precisão da informação resultante dependerá dos dados disponíveis.

3.3.5 DAN-W

Desenvolvido por Oldrich Hungr em 1995 com base em uma teoria de análise de desvio, esse modelo se adapta melhor a movimentos rasos de massa, onde a espessura do fluxo é pelo menos uma ordem de grandeza inferior ao comprimento da massa em movimento e os vetores de movimento são paralelos ao leito. A solução pode ser instável em alguns casos onde o fluxo é profundo ou quando há alterações abruptas de talude.

3.3.6 DAN-3D

Este modelo foi desenvolvido por Scott McDougall em 2006 como tese de PhD. Ele funciona com base nos mesmos princípios do DAN-W, mas tem a capacidade adicional de modelar o fluxo em superfícies 3D, necessitando da topografia do terreno. Foi projetado para modelar deslizamentos de terra em alta velocidade de sólidos e fluidos não-newtonianos para previsão da área impactada, utilizando para tanto a velocidade do fluxo e a profundidade. O software é capaz de prever deformações e tensões internas, e alterações na rota do fluxo e nas propriedades dependendo do terreno. Ele não modela mudanças bruscas no terreno ou no tipo de fluxo uma vez que nivela os resultados.

3.4 Para fluxos newtonianos

Enquadram-se em fluxos newtonianos aqueles cuja a fluidez equipara-se, de forma genérica, ao líquido puro, com baixo nível de viscosidade, como exemplo citam-se as barragens de usinas hidrelétricas. Uma vez que o foco deste artigo são os fluxos não-newtonianos, mais especificamente rejeitos de mineração, apenas listam-se os principais softwares desenvolvidos para operar com fluxos newtonianos, quais sejam,

- SMPDBK
- HEC-RAS
- CCHE2D-DAMBREAK

- MIKE

Diante da diversidade de programas computacionais ou não-computacionais, surge a questão de definir qual o parâmetro a ser utilizado para a escolha da utilização do mais adequado para cada tipo de estrutura e de análise.

Assim, abordar-se-ão as especificidades a serem definidas para que a escolha do *software* para o modelo não-newtoniano seja a mais efetiva possível, contemplando as variantes de danos potencialmente associados a uma possível ruptura da barragem e das estatísticas de riscos de extravasamento do material retido no barramento.

4 MÉTODO DE ESCOLHA DO MODELO NÃO-NEWTONIANO A SER UTILIZADO

Cada modelo de *software* demonstrado possui pontos fracos e fortes a depender do escopo de utilização. Será a partir do objetivo da análise, ou seja, do resultado almejado, que o modelo a ser utilizado deverá ser escolhido. Para que a escolha seja a mais efetiva possível, as perguntas elencadas a seguir devem ser amplamente consideradas, de antemão.

- Qual é o objetivo do uso do modelo (Classificação de Dano Potencial? Elaboração de PAE? Elaboração de Estudo de Impacto Ambiental?)?

- A que nível de detalhamento a análise deverá chegar?

- Que tipo de informação está disponível para uso?

Uma vez respondidas essas perguntas, o usuário terá subsídios e melhores condições de avaliar o modelo mais adequado aos seus propósitos. Existem ainda métodos a serem utilizados na contribuição da escolha de uso do *software* adequado, como, por exemplo, a adoção do método unidimensional ou do bidimensional (COLLISCHONN; TUCCI, 1997).

O primeiro, o unidimensional, analisa as variantes da barragem no ponto de represamento a montante, onde se utiliza a média de volume normalmente encontrado, desconsiderando outros valores como afluentes e a média de precipitações nos vários períodos do ano. As grandes vantagens desses softwares são, em primeiro lugar, o baixo custo das licenças, em segundo lugar, o fácil manuseio e, em terceiro, devido justamente ao fato de analisarem poucas variáveis, os itens analisados possuem baixas possibilidades de erro.

Já os softwares de análise bidimensional verificam dados como os limites mínimos e máximos de cheia da barragem ou, no lugar de analisar apenas a média de cheia como faz o

unidimensional, verificam as áreas inundáveis a jusante, os afluentes a montante e a jusante e estabelecem cálculos diferenciados de acordo com o volume pluviométrico médio ou real daquela determinada região.

Apesar de ser aparentemente muito superior ao modelo unidimensional, nem sempre o modelo bidimensional pode ser utilizado ou, ainda que possa ser utilizado, muitas vezes não o poderá em sua totalidade. Por exemplo, em uma barragem de rejeitos de minério, as áreas a jusante destinadas à inundação nas aberturas de comportas ou à cheia de rios a jusante serão irrelevantes por não encontrarem relação direta com a normalidade do barramento. E se ainda sim ocorrer ruptura, a onda de cheia e os resíduos provenientes se comportarão de forma a soterrar e não inundar tais áreas e afluentes, sendo mais úteis os modelos de simulação de desastres ou catástrofes (BRASIL, 2005).

A metodologia *Dam Break* analisa ainda o pior cenário possível no caso da ruptura da barragem. Conforme mencionado anteriormente, nesse estudo verifica-se em quanto tempo a onda de cheia, ou seja, o maior volume maciço do componente extravasado, atingirá os pontos específicos previamente determinados após a ocorrência do acidente. São verificados também os prováveis danos materiais, biológicos e humanos em caso de ruptura da barragem.

Como as rupturas podem ocorrer por diversas formas e serem ocasionadas por diversos fatores, todos esses devem ser considerados. O extravasamento do material retido pode ocorrer basicamente devido a abalos sísmicos, intempéries, chuvas intensas muito superiores às médias da região, falha de projeto, falha de operação ou outro fator desencadeante.

Todos esses fatores podem ensejar a ruptura da barragem, mas nem todos danificam a estrutura do barramento. O galgamento, por exemplo, é uma forma de ruptura na qual a estrutura permanece íntegra, mas o contido extravasa por algum tipo de cheia do material retido, o qual ultrapassa o limite da crista da barragem, extravasando material para a jusante do paramento.

Os resultados obtidos pelos métodos de análise deverão constar nos relatórios de segurança da barragem, pois se tratam de elementos integrantes da gestão de risco de obrigação do empreendedor. Ressalta-se ainda que diferentes modelos podem ser utilizados em uma mesma barragem, de acordo com suas especificidades como a rota ou as características da bacia hidrográfica, para que os resultados sejam mais precisos.

Os relatórios, as inspeções de segurança e a operação dos softwares de análise da gestão de risco devem ser realizados por pessoas técnicas específicas, preferencialmente cadastradas e registradas no Conselho Regional ou Federal de Engenharia e Agronomia –

CREA ou CFEA, respectivamente, inclusive constando as qualificações profissionais nas funções rotineiras a serem desenvolvidas pelo empreendedor no que tange à gestão de riscos.

As fiscalizações pelos órgãos e instituições competentes serão realizadas por equipe multidisciplinar, em períodos variáveis de acordo com a classificação de segurança atribuída à barragem. Tal periodicidade é inversamente proporcional à classificação de risco atribuída à barragem.

Assim, para as barragens classificadas como nível I de segurança, as inspeções ocorrerão a cada 3 (três) anos, para as barragens classificadas no nível II, ocorrerão a cada 2 (dois) anos e, por fim, para as barragens classificadas com risco alto, ou seja, nível III, as fiscalizações ocorrerão anualmente. Tais períodos não obstam fiscalizações, inspeções ou auditorias em períodos diversos e a serem realizadas pelos legitimados com o poder de polícia competente em relação às barragens.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Planos de Ação Emergenciais – PAEs não podem ser meros requisitos formais a serem cumpridos para satisfazer a legislação ou a fiscalização decorrente, mas sim reais mecanismos para prevenção e mitigação efetiva de desastres decorrentes de rupturas de barragens. Para essa mudança de cultura é necessário, utilizando a frase recorrente, internalizar as externalidades, ou seja, vislumbrar os danos associados a uma possível ruptura da estrutura e sensibilizar-se, colocando em prática todo o esforço necessário para reduzi-lo.

Para que as ações mitigadoras sejam efetivas e eficazes, é essencial realizar todos os estudos e esforços preventivos, como definir com precisão o tipo de modelo de análise de ruptura a ser utilizado para que os resultados sirvam aos objetivos pretendidos.

Infelizmente, nem toda a prevenção resultará no impedimento de acidentes. Portanto, é preciso considerar que, por mais que os modelos sejam aprimorados, os dados cientificistas-racionais, as análises humanas, sociais e biológicas atreladas ao dano potencial associado sejam precisos e as pessoas sejam qualificadas tecnicamente, sempre haverá uma margem de erro que também precisa ser levada em conta na preparação dos Planos de Segurança da Barragem, sobretudo, no que diz respeito ao Plano de Ação de Emergência – PAE. A natureza não é exata, apesar de não se aplicar na responsabilidade civil ambiental, existem os casos de força maior, que em prática são fatores preponderantes na sistemática de risco das barragens de minério.

A Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, como visto, é norma geral de barragens, não observando as especificidades de cada tipo de estrutura, componente represado ou localidade. Devido à falta de critérios legislativos, não há diretrizes e procedimentos específicos na mineração ou no beneficiamento para realização da análise de ruptura de barragens de rejeitos, ficando a cargo de cada órgão ou entidade fiscalizadora os parâmetros a serem utilizados. Dessa forma, motivados pela escassez de recursos e pela precariedade de instrumentos e da quantidade de servidores que desempenham tal função, utilizam-se os parâmetros de menor custo e impacto orçamentário, o que nem sempre é satisfatório para a coletividade.

Assim, a análise de possíveis tipos de ruptura de barragem e o mapeamento da onda de cheia são necessários na avaliação dos efeitos consequentes a jusante da própria ruptura, o que, por sua vez, servirá de base na elaboração de um Plano de Ação Emergencial – PAE adequado à barragem analisada e mitigará os danos materiais e ambientais, reduzindo consideravelmente ou mesmo impedindo que vidas humanas sejam ceifadas devido ao acidente.

Em que pese a existência da gestão de riscos e de instrumentos para a efetivação da segurança de barragens, as políticas exercidas ainda são incipientes e as tecnologias desenvolvidas inaplicáveis por diversos motivos, entre os quais se destacam a inequação prática em diversos tipos de barramentos e o elevado custo e de implantação, operação e manutenção. Ainda há muito trabalho a ser feito no desenvolvimento das ferramentas específicas para barragens de rejeitos e na eficácia da segurança.

Referências

BERNEDO, Carmen; JULIEN, P.; LEON, A.; *Dam breach analysis in Tailings storage facilities* (TSF). World Environmental and Water Resources Congress, 2011.

BRASIL (Constituição 1988). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm.>. Acesso em: 10 jun. 2016.

BRASIL. *Lei n. 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. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm>.

Acesso em 10 jun. 2016.

BRASIL. *Portaria 526*, de 09 de dezembro de 2013, do DNPM. Estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM), conforme art. 8°, 11 e 12 da Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), e art. 8º da Portaria nº 416, de 3 de setembro de 2012. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-526-em-09-12-2013-do-diretor-geral-do-dnpm>. Acesso em 9 jun. 2016.

BRASIL. *Portaria nº 416*, de 03 de setembro de 2012, do DNPM. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração conforme a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-416-em-03-09-2012-do-diretor-geral-do-dnpm>. Acesso em 9 jun. 2016.

BRASIL. *Manual de fiscalização*: assunto: barragens de mineração. DNPM. Brasília, 2014.

BRASIL, Lucas Samuel Santos. *Utilização de modelagens uni e bidimensional para a propagação de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética de barragem. estudo de caso: barragem de rio de pedras* – MG. 2005. 222 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia) – Universidade de Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

COLLISCHON, Walter; TUCCI Carlos E. M. Análise do rompimento hipotético da barragem de Ernestina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH.* Porto Alegre, v.2, nº 2, p.191-206, julho/dezembro de 1997. Disponível em <http://www.rhama.net/%5C/download/artigos/artigo25.pdf>. Acesso em 15 de junho de 2016.

FIORILLO, Celso Antônio Pacheco. *Curso de direito ambiental brasileiro*. São Paulo: Saraiva, 2014.

FREAD, D. L. *National weather service models to forecast dam breach floods*. Hydrologic Research Laboratory, National Service, 1984.

FREAD, D. L. *DAMBRK: the NWS DAMBRK model*. Hydrologic Research Laboratory, National Service, 1988

FREAD, D.L.; LEWIS, J. M. *FLDWAV: a generalized flood routing model*. Proceedings of national conference on hydraulic engineering, 1988.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. *Direito ambiental brasileiro*. 15. ed. São Paulo: Malheiros, 2007.

MILARÉ, Édis. *Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco: doutrina, jurisprudência, glossário*. 7. ed., São Paulo: Revista dos Tribunais, 2011.

THOMÉ, Romeu. *Manual de Direito Ambiental*. 4. ed., Salvador: JusPODIVM, 2014.

VIANNA, Luiz Filipe Venturi. *Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens* [manuscrito]: auxílio ao processo de tomada de decisão. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

WHITE, Frank M. *Mecânica dos fluidos*. 6. ed., Porto Alegra: AMGH, 2011.