

# RISCOS A JUSANTE DE BARRAGENS E LEGISLAÇÃO

*Por*

*A. Betâmio de Almeida<sup>1</sup>*

*Professor do Instituto Superior Técnico*

*Director do Projecto NATO PO-FLOODRISK*

## **1- Antecedentes**

Numa primeira fase, o controlo da segurança das barragens era basicamente orientado para a segurança estrutural e hidráulica-operacional das mesmas. Nesta fase, a característica básica era a de investir o mais possível na potencial causa do acidente mais temido e perigoso: o colapso estrutural da barragem. A regra era a de optar pelo controlo rigoroso do projecto, construção e exploração das barragens como forma de garantir à sociedade, em geral, e às populações residentes nos vales a jusante uma segurança satisfatória compatível com probabilidades de rotura anuais extremamente baixas, inferiores a  $10^{-4}$ . Com efeito, os acidentes históricos de roturas de barragens, no século passado e princípio do século vinte, resultaram, em geral, de deficiências graves de dimensionamento hidráulico ou de estabilidade estrutural pelo que a adopção de critérios e normas técnicas de cálculo e de construção vieram diminuir drasticamente o número de acidentes. Por seu turno, a técnicas de observação do comportamento da barragem durante a respectiva exploração vieram reforçar o controlo da segurança a longo prazo.

A confiança no progresso tecnológico, em particular da engenharia civil, que era um paradigma no Ocidente foi, contudo, fortemente abalado por um conjunto de acidentes dos quais se destaca a rotura da barragem francesa de Malpasset, em 1959, que provoca uma onda de emoção em resultado dos efeitos mortais provocados a jusante, em particular na localidade de Fréjus. Outros acidentes na Europa, nomeadamente o galgamento da barragem de Vajont, em Itália, obrigaram a uma alteração no conceito da segurança e protecção dos vales a jusante.

## **2- Regulamentos de segurança e protecção a jusante**

Em França, em consequência do impacte social e técnico provocado pelo acidente de Malpasset, passou a ser admitida a possibilidade teórica de ocorrerem roturas nas grandes barragens no que concerne a protecção das populações dos vales a jusante. Assim, o Regulamento de Segurança Francês (1966), reforçado por um Decreto de Maio de 1968, torna obrigatória a preparação de planos de alerta e socorro às populações a jusante os quais devem ser baseados em mapas de inundação especialmente elaborados para o efeito.

---

<sup>1</sup> Phone: 351 – 01 – 841 81 58

Fax: 351 – 01 – 684 81 50

email: aba@civil.ist.utl.pt

É de salientar que estes procedimentos revestem-se, na Europa, de características muito especiais de sigilo para não dizer de secretismo. Este comportamento pode ser justificado por três tipos de razões:

- a forte influência militar nas chefias dos serviços de protecção civil de alguns países europeus e a pressão decorrente dos métodos de classificação de informação face a potenciais actos de guerra ou de terrorismo;
- a inexistência de uma participação pública nas tomadas de decisão e de uma informação aberta, em particular através da comunicação social e de organizações não governamentais (praticamente inexistentes na década de setenta);
- a propriedade estatal ou pública das grandes barragens e o tipo de responsabilidade civil inerente a esse poder face às potenciais vítimas.

Nos EUA a concepção de responsabilidade do poder público face aos cidadãos já era diferente e os acidentes ou incidentes nas barragens da Baldwin Hill (1968) e de San Fernando (1971) puseram à prova novos meios de protecção. Assim, no caso da barragem de San Fernando procedeu-se a um aviso antecipado e à evacuação da população a jusante.

A rotura da barragem de Teton (1977) constituiu outro marco na viragem dos conceitos de segurança e risco a jusante nos EUA. O envolvimento directo do Presidente J. Carter deu origem às Recomendações Federais para Segurança de Barragens (1979) que passaram a ser adoptadas e implementadas pelas agências federais. Estas recomendações incluem, entre outras acções a implementar, a elaboração de Planos de Acção de Emergência com o envolvimento das autoridades locais e a informação adequada de público.

É de salientar a relativa alta frequência de acidentes de pequenas e médias barragens de terra nos EUA que justificou um particular rigor nas actividades de segurança desencadeadas pelas diversas agências de licenciamento de barragens (*e.g.* a F.E.R.C.), autoridades de segurança e donos de obras, em particular o Bureau of Reclamation e o U.S. Army Corps of Engineers. Em 1981 esta última instituição desencadeou um Programa de Inspeção Nacional a 9 000 barragens tendo concluído que cerca de um terço estavam em condições de segurança deficientes.

A partir do final da década de oitenta diversos países, entre os quais Portugal, procedem à reformulação dos regulamentos de segurança de barragens e passem a incluir explicitamente medidas de mitigação do risco a jusante.

Quadro 1  
Legislação de Segurança de Barragens e Vales. Tendência em Curso

Objecto	Âmbito		
	Local	Complementar	Integrado
Barragem (e Albufeira)	1ª Fase (passada)	---	---
Barragem e populações a jusante	---	2ª Fase (presente)	---
Barragem e vale a jusante	---	---	3ª Fase (futuro próximo)

A actual legislação e as normas que vão sendo elaboradas nos países da Europa no final da década de noventa exigem procedimentos cada vez mais rigorosos no que respeita a protecção das populações a jusante de barragens, nomeadamente:

- consideração de cenários de rotura maximalistas e prováveis, independentemente da probabilidade de ocorrência;
- elaboração de mapas de inundação correspondentes a cheias provocadas por acidentes em barragens;
- zonamento de risco e elaboração de planos de evacuação;
- implementação de sistemas de alarme e aviso eficazes;
- elaboração de planos de emergência para os vales com a participação de autoridades locais e do público;
- recomendações para controlo da ocupação do território, nomeadamente em áreas de risco;
- execução periódica de treinos e exercícios.

Nos últimos anos e, em particular, na década de noventa, a evolução no conceito da gestão do risco (análise e detecção de eventos perigosos, análise ou avaliação quantitativa de riscos, mitigação de riscos e resposta a crises ou catástrofes) tem motivado um interesse institucional e técnico-científico pelos problemas neste domínio. Assim, em quase todos os países da União Europeia estão em curso programas de estudo tendo em vista a implementação de procedimentos de previsão e protecção eficazes contra cheias induzidas por acidentes tecnológicos.

Mesmo na Suíça, antigo bastião da antiga política de reserva de informação, a estratégia da segurança de barragens foi totalmente alterada passando a ser constituída por um “tripé”: segurança técnica-operacional da barragem, monitorização sofisticada e emergência e resposta a catástrofes nos vales a jusante. Esta última componente inclui os sistemas de alarme, cuja responsabilidade é repartida pelo dono da obra e pela autoridade de protecção civil consoante a zona do vale e a distância à barragem e os planos de evacuação que são públicos e, em algumas cidades (cartões) são afixados nos principais edifícios.

As principais razões para esta evolução, nos últimos vinte a vinte cinco anos, não obstante as grandes barragens novas serem potencialmente mais seguras, podem agrupar-se do seguinte modo:

- envelhecimento das barragens actuais e alteração hidrológica;
- cheias de dimensionamento, segundo critérios actualizados, excedendo a capacidade de vazão dos órgãos de segurança;
- eventuais alterações climáticas globais poderão aumentar o risco de acidente;
- a privatização da propriedade e exploração das grandes barragens acompanha uma tendência mais agressiva da responsabilização face a acidentes o que é bem característico no comportamento de vitimização típico da sociedade norte-americana e que tenda a revelar-se noutros países;
- como corolário do anterior salienta-se a progressiva exigência de seguros e a avaliação de riscos para fixação do prémio.

Como pano de fundo geral salienta-se a crescente preocupação da sociedade com os riscos ambientais e tecnológicos, a participação pública muito mais actuante e a sensibilidade das populações aos problemas de segurança ambiental. Com efeito perante o reconhecimento de perigo potencial para as populações em risco, a resposta deixou de ser, nos países mais desenvolvidos, uma aceitação submissa de uma “vontade divina” para ser de responsabilidade efectiva o que exige que as organizações envolvidas implementem acções de prevenção ou mitigação e de protecção em cooperação com as autoridades locais criando uma “partilha de responsabilidades” em torno da gestão integrada do risco da barragem e do vale a jusante.

### **3- Situação em Portugal**

**3.1- Regulamento da Segurança de Barragens** O Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) de 1990 (Decreto-Lei nº 11/90) e as normas respectivas vieram introduzir procedimentos especiais referentes à protecção dos vales a jusante numa óptica inovadora à data (2ª Fase da legislação com procedimentos complementares aos impostos especificamente à barragem).

Dificuldades diversas atrasaram a aplicação efectiva do RSB. Recentemente, o INAG iniciou um programa de inspecção de barragens e de cumprimento do regulamento. Contudo, os aspectos relacionados com a protecção a jusante levantam algumas dificuldades práticas e operacionais que têm vindo a ser objecto de estudo e reflexão aguardando-se que, numa futura revisão, os problemas detectados possam ser eliminados ou atenuados.

**3.2- Principais características e procedimentos referentes à protecção dos vales a jusante** Referem-se seguidamente as principais características do RSB no que concerne a protecção dos vales a jusante bem como os procedimentos exigidos na aplicação do referido regulamento e normas em vigor. Apresentam-se alguns comentários sobre os mesmos:

- Principal característica geral

- Admite a possibilidade de acidentes nas barragens. Estes são definidos como ocorrências excepcionais que podem conduzir à rotura de componentes estruturais da barragem. Admitem-se assim cenários de rotura independentemente da respectiva probabilidade de ocorrência.
- Assim, independentemente da causa ou evento actuante sobre a barragem (incluindo nesta designação a albufeira, de acordo com a definição do RSB) e da probabilidade da ocorrência de uma rotura na barragem decorrente de tal evento admite-se, para efeitos de aplicação do RSB, que possa ocorrer um cenário de rotura.

- Graduação do risco efectivo na fase de projecto

- De acordo com a hipótese anterior, o RSB exige a quantificação (avaliação) das consequências de um acidente independentemente da probabilidade (risco potencial). Esta graduação compreende três níveis de risco: baixo, significativo e elevado.

O RSB determina uma quantificação a que se afigura ser demasiado exigente e difícil para a finalidade da classificação. Sugere-se que se entenda esse termo

como avaliação semi-qualitativa, semi-quantitativa face à população em risco e a actividades económicas ou estratégicas localizadas na zona de jusante susceptível de ser atingida pela inundação provocada pelo hipotético acidente.

A diferenciação entre os níveis de risco é muito pouco precisa. Assim o risco baixo implicaria a condição de não existirem perdas de vidas humanas. Contudo não sendo feita a precisão de se considerar unicamente a população residente permanente, esta condição nunca poderá ser garantida pois é sempre possível a perda fortuita de uma ou mais vidas humanas em qualquer inundação súbita e vidente.

- A graduação do risco potencial vai influenciar o dimensionamento dos órgãos de seguranç a, nomeadamente na fixação da cheia de projecto.
- O plano de observação deve ter em consideração os cenários de risco característicos, nomeadamente galgamentos rápidos, sendo definido um  ndice Global de Risco composto por três factores em que um deles depende do tipo de ocupação a jusante.
- Controlo de seguranç a na fase de exploração
  - Durante o primeiro período de exploração, o relatório final das observações deverá incluir informações complementares que possibilitem uma melhor Previsão do Comportamento da Barragem em Cenários de Rotura. Este aspecto é muito importante, em particular no que concerne a definição de um sistema efectivo de aviso às populações e a caracterização da cheia induzida por cada cenário da rotura. É um assunto muito complexo objecto de estudos e investigações, em particular no que concerne o comportamento de barragens de aterro sujeitas a galgamento, para definição das características de abertura da brecha.
- Medidas de protecção civil (artigo 42 )
  - O cumprimento das disposições de seguranç a regulamentares não dispensa a previsão de medidas especiais com vista   protecção de pessoas e bens em caso de acidentes, nomeadamente catástrofes.
  - Impõe-se, assim, uma pesada responsabilidade no que concerne a obrigatoriedade de implementação de medidas especiais de protecção as quais, na prática, correspondem a procedimentos de defesa não-estrutural conducentes   diminuição ou mitigação efectiva dos danos a jusante: diminuição da probabilidade de perdas significativas no caso de ocorrência de cheias induzidas por acidentes na barragem.
  - De acordo com as Normas de Projecto (1993) a determinação das áreas inundáveis será feita com base na selecção de cenários de rotura (artigo 58 ) sendo referido os casos de rotura súbita ou progressiva e parcial ou total, conforme o modo mais provável para cada situação (evento) e tipo de barragem.
  - Existem diversos critérios ou regras empíricas para definição aproximada de possíveis cenários de rotura parcial e progressiva em barragens de aterro. Em barragens de betão do tipo arco ou abóbada é usual admitir-se uma rotura total e rápida. Em barragens de betão do tipo gravidade ou de contrafortes o cenário

mais provável corresponde, em geral a roturas parciais relativamente rápidas. O RSB e as respectivas normas de projecto não especificam características de brechas de referência nem caudais máximos efluentes, deixando essa definição ao cuidado do projectista.

- A questão dos cenários a considerar nos estudos é decisiva para a prossecução das análises de risco a jusante. Assim, a título de exemplo:
  - pode admitir-se um cenário de rotura em período do ano seco ou de Verão (“sunny day”) com a albufeira a um nível igual ou inferior ao NPA; a causa poderá ser um fenómeno de erosão interna numa barragem de terra; neste cenário, o caudal inicial é nulo ou quase nulo;
  - ou pode admitir-se um cenário de rotura em período de cheia em que a capacidade do evacuador de cheias é excedida ou ocorre uma avaria grave num órgão de controlo; a albufeira atingirá um nível superior ao NMC e poderá admitir-se o galgamento da barragem; neste cenário, o caudal inicial é elevado e poderá mesmo ser considerado o caudal de projecto do evacuador.
  - No caso de vales com barragens em série ou em cascata há que considerar a rotura ou o galgamento sucessiva das barragens; nesta situação há que definir um critério de início de rotura para cada barragem a jusante, nomeadamente em função da altura de água sobre o coroamento e o tipo de barragem.
- Avaliação das áreas inundáveis
  - Os mapas de inundação são peças fundamentais na definição de medidas de protecção civil e na elaboração de cartas de risco conforme é solicitado pelo RSB.
  - A elaboração destes mapas de inundação depende de diversos factores, para além dos cenários de rotura e das condições iniciais já referidas. Assim, dependem:
    - do tipo de modelo ou método numérico utilizado para simulação da propagação da cheia ao longo do vale (métodos simplificados, completos, uni-dimensionais, bi-dimensionais, etc.);
    - da caracterização topográfica do vale e da discretização adoptada na análise;
    - do grau de irregularidade e tipo de vale (encaixado, aberto em planície ou misto);
    - das características da rugosidade do leito adoptadas, incluindo o efeito de singularidades e de macro-rugosidades;
    - das condições de fronteira a jusante.
- Carta de risco hidrodinâmico
  - Os mapas de inundação constituem a base da elaboração de cartas de risco hidrodinâmico com base em características determinadas a partir das simulações computacionais, nomeadamente:

- altura máxima de água ( $h_M$ );
  - velocidade máxima do escoamento ( $V_M$ );
  - potência hidrodinâmica ou grau de perigosidade  $(h \times V^\alpha)_M$ , sendo  $1 \leq \alpha \leq 2$ ;
  - instante de chegada da cheia ou do início da onda de cheia;
  - instante de ocorrência da altura ou cota máxima de água;
  - tempo de permanência da altura ou cota máxima de água;
  - avaliação de volumes de sedimentos transportados ou removidos.
- A caracterização destas variáveis hidrodinâmicas pode ser feita nas áreas inundáveis utilizando uma representação gráfica simbólica, com base nos ficheiros dos resultados computacionais e na representação topográfica do vale (a utilização do SIG é neste particular muito útil). A área inundável pode assim ser sub-dividida em sub-áreas ou zonas consoante o critério adoptado para as características de risco hidrodinâmico. No RSB e nas Normas não são definidos critérios explícitos de risco. Alguns exemplos podem contudo ser encontrados em documentação técnica publicada noutros países (*e.g.* Bureau of Reclamation dos EUA ou Normas Técnicas Espanholas).
- Planos de Emergência (artigo 44º)
    - De acordo com o RSB deve ser elaborado um plano de emergência com intervenção directa do Centro Operacional de Protecção Civil Distrital e do Dono da Obra. Trata-se de um documento vinculativo no qual devem estar definidas as ligações hierárquicas e funcionais de todos os intervenientes, as missões a desempenhar as regras de coordenação e os meios e recursos disponíveis.
    - O plano de emergência será submetido ao parecer da Comissão de Segurança de Barragens e à aprovação conjunto do Serviço Nacional de Protecção Civil e da Autoridade (artigo 44º). O RSB prevê a realização periódica de treinos.
    - A experiência recolhida na análise do RSB e na aplicação do mesmo a situações reais, nomeadamente no caso de estudo do projecto NATO PO-FLOODRISK (vale do Arade), permitiu concluir que a elaboração de um único plano de emergência, envolvendo cada barragem e as respectivas zonas do vale a jusante, conforme é implicitamente preconizado no RSB não era a mais adequada. Assim, em reunião conjunta de representantes do INAG e do SNPC, realizada em Janeiro de 1999, ficou acordado que o plano de emergência seria composto por:
      - plano de emergência interno, respeitante às acções e procedimentos de emergência na operação da barragem e exploração da albufeira e a um trecho do vale imediatamente a jusante, o qual deverá ser elaborado pelo dono da obra;
      - plano de emergência externo, respeitante à protecção dos vales a jusante de barragens, o qual deverá ser elaborado pela Protecção Civil a nível distrital de acordo com um formato a estabelecer.

- O plano de emergência externo deverá ser elaborado com base na informação fornecida pelo dono da obra correspondente ao mapa de inundação e à carta de riscos hidrodinâmicos.
- Esta separação de funções constitui um avanço significativo do ponto de vista operacional e de eficácia. Assim, as medidas de prevenção e protecção no vale, incluindo os planos de evacuação, a informação do público e o aviso às populações ficam a cargo dos responsáveis da protecção civil, com base na notificação e numa acção coordenada com a entidade responsável pela segurança de cada barragem e pela aplicação do plano de emergência interno.
- O plano de emergência externo poderá constituir o núcleo da gestão de risco integrada incluindo a actuação preventiva das autoridades locais, em particular dos decisores da ocupação do solo e dos agentes da comunicação social.
- Caberá, assim, ao gestor do risco no vale a avaliação o mais rigorosa possível das perdas de vidas humanas e dos prejuízos materiais com base em cadastro actualizado e o apoio de sistemas de informação adequados (artigo 57º).
- Sistema de Alerta e Aviso (artigo 45º)
  - O RSB reconhece a implementação de um sistema de alerta e aviso o qual constituirá o sistema fulcral que poderá tornar efectivo o sistema de protecção delineado pelo plano de emergência externo. Assim, em caso de perigo iminente devem ser accionados os sistemas de alerta e aviso para evacuação de populações.

Do ponto de vista ideal este sistema deveria estar interligado a um sistema de previsão dos principais eventos perigosos que podem atingir a barragem, nomeadamente os hidrogeológicos. A concepção deste sistema deve ser conjugada com os procedimentos de segurança da barragem ou de cada barragem do vale (planos de emergência internos).

O sistema de aviso às populações ao longo do vale deve ser desencadeado pelo responsável do plano de emergência externo em resultado de notificação ou informação por parte do técnico responsável da barragem ou do plano de emergência interno.

Na zona do vale muito próxima ou considerada adjacente à barragem o sistema de aviso deverá ser desencadeado directamente pelo sistema de emergência da barragem.

  - No plano de emergência externo devem ser indicadas as zonas de segurança ou de refúgio, os respectivos acessos, o significado dos sinais de alerta e de aviso e o plano (zonamento por prioridades) da área inundável.
  - O sistema de aviso às populações deverá ter em conta as características psico-sociais da população por forma a que as mensagens e os veículos de transmissão das mesmas sejam eficazes. No plano de evacuação há que atender às características específicas sócio-demográficas da população em risco (percentagem de idosos e de crianças, grau de alfabetização, etc.).
  - Um factor de êxito fundamental é o intervalo de tempo disponível para desencadear o processo de aviso e de eventual evacuação das populações prioritariamente em risco. Nesta conformidade, torna-se indispensável

desenvolver e instalar novos sistemas de monitorização que permitam aumentar significativamente o Tempo de Aviso, compostos por Tempo de Previsão de Acidente + Tempo de Incepção de Rotura + Tempo de Formação de Rotura.

- A automatização total do sistemas de alerta e aviso pode tornar-se necessário em muitas situações. O veículo da mensagem do aviso pode ser composto por diversos meios (sirenas, mensagem por rádio local ou por telefone sob controlo computarizado, etc.). Os sistemas automáticos exigem processos de confirmação ou de redundância na definição da decisão final.

#### **4- Considerações Finais**

- O actual RSB está em fase de aplicação mas ainda cerca de uma experiência prática efectiva no que concerne a implementação de medidas de protecção nos vales a jusante. Recentemente, o SNPC e o INAG, em conjunto com a equipa do LNEC-IST do Projecto NATO PO-FLOODRISK, deram início ao estudo da definição de um plano de emergência – tipo experimental relativo ao vale do rio Arade (a jusante das barragens do Funcho e do Arade) tendo por base os trabalhos que têm vindo a ser realizados, no mesmo vale, no âmbito do referido projecto.
- Atendendo ao relativo número de barragens portuguesas sujeitas ao RSB (recorde-se que abrangidas todas as barragens com mais de 15 m ou com albufeiras de volume superior a 100 000 m<sup>3</sup> ou sempre que o risco potencial a jusante o justifique) colocam-se diversos problemas na aplicação operacional do regulamento.
- A próxima revisão do RSB poderá vir a acolher algumas sugestões resultantes da experiência entretanto adquirida. Uma das questões que parece já ser consensual é da definição dos dois tipos de planos de emergência: o plano interno e o plano externo, respectivamente da responsabilidade do dono da obra e das autoridades da protecção civil. É também óbvio que o carácter sigiloso das medidas de protecção deverá ser ajustado aos tempos actuais e à necessidade de uma forte participação pública.
- O RSB baseia-se fundamentalmente no conceito do risco potencial, mas a avaliação das perdas ou danos potenciais nos vales a jusante exige metodologias específicas. Por seu turno, o conceito de risco efectivo ou seja, incluindo as probabilidades de ocorrência de sucessão de eventos que podem induzir a um acidente com rotura. Este aspecto deve ser tido em conta na avaliação de riscos para efeitos de seguros específicos. Assim, o actual RSB não inclui estratégias de negociação tendentes a uma partilha de responsabilidades em torno de riscos sociais (quantitativos) aceitáveis pelas partes envolvidas: dono da obra, autoridades e população.
- As recomendações resultantes da experiência adquirida com o Projecto NATO PO-FLOODRISK e das entidades envolvidas na campanha de inspecção em curso de barragens nacionais poderão conduzir a documentos técnicos mais adequados e a disposições mais eficazes para a protecção das populações nos vales a jusante de barragens.
- Para além dos regulamentos importa, fundamentalmente, prosseguir no sentido da gestão integrada do risco, incluindo diversos eventos hidrogeológicos, nomeadamente as cheias naturais súbitas, e as descargas das barragens. A gestão

integrada nos vales deverá ter por objectivo o controlo da vulnerabilidade ou seja, do grau de exposição e de susceptibilidade aos danos face aos perigos em causa. Assim, num âmbito mais geral, a mitigação da vulnerabilidade nos vales exigirá uma caracterização mais objectiva e abrangente dos seguintes factores:

- . caracterização do agente perigoso, incluindo a respectiva agressividade ou perigosidade;
- . grau de exposição física dos seres vivos e propriedades;
- . capacidade de resistência natural aos potenciais danos;
- . capacidade de recuperação;
- . capacidade institucional de protecção civil.

A definição de um índice de vulnerabilidade global para cada vale poderá ser um instrumento orientador na definição de propriedades e acções mitigadoras e de ordenamento do uso e ocupação do solo.

- A aplicação eficaz da legislação de segurança de barragens e de vales vai exigir um sistema informatizado de suporte e apoio à gestão e à decisão das instituições competentes, nomeadamente a Autoridade, conforme está definida no RSB e o Serviço Nacional de Protecção Civil, bem como os agentes locais e regionais de protecção civil.