

GESTÃO E ANÁLISE DO RISCO EM ENGENHARIA. O CASO DOS VALES COM BARRAGENS – EXEMPLO DE APLICAÇÃO NA ENGENHARIA CIVIL E ACTIVIDADES EM PORTUGAL

António Betâmio de Almeida

Professor Catedrático (IST). Membro efectivo da Academia de Engenharia
aba@civil.ist.utl.pt

Resumo:

O texto introduz a estrutura “standard” da gestão do risco e apresenta uma linha de iniciativas teóricas, de desenvolvimento e de aplicação, em curso em Portugal no domínio dos vales com barragens.

Apresentam-se os principais problemas e desafios colocados ao novo paradigma de análise de desempenho das estruturas de engenharia civil no que concerne as condições de segurança.

A comunicação inclui, também, uma reflexão sobre o futuro, nomeadamente no que concerne o ensino das matérias em causa nos cursos de engenharia civil tendo em conta a revisão metodológica exposta.

A comunicação é baseada em actividades coordenadas pelo autor ou em que colaborou, nomeadamente com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). A estrutura do texto é orientada tendo em conta o objectivo principal do Encontro: “fazer um levantamento da actividade nacional” nos domínios associados ao Risco.

1 Introdução

A ciência e a engenharia partilham, entre outros, um atributo comum: a propensão para a previsão, no que respeita o comportamento da natureza (ciência) ou de obras ou produtos tecnológicos (engenharia). Não obstante as realizações da tecnologia e da engenharia nos surpreenderem pela precisão e arrojo e pelos efeitos na qualidade da vida humana, a Sociedade está ciente (e receosa) da importância das incertezas e dos riscos associados a tais realizações, nomeadamente dos respectivos insucessos e acidentes.

Diversos factores justificam a crescente importância que o conceito “risco” tem na sociedade actual, o qual parece justificar a designação sociológica de

“Sociedade de Risco” (U. Beck). Neste contexto, a engenharia civil, pela sua intervenção na alteração de condições naturais para finalidades ou utilizações humanas, sujeita-se a uma intensa exposição e escrutínio. Os riscos associados à engenharia civil podem resultar tanto de eventos considerados naturais (cheias, sismos, ventos...) como de causas estritamente tecnológicas e humanas decorrentes de erros de previsão ou de execução e, fundamentalmente, de incertezas e limitações epistemológicas ou aleatórias (comportamentos não previstos ou desejados, acidentes, avarias ou patologias, disrupções ou disfunções, impactes ambientais...).

Atendendo à dimensão social da maioria das intervenções da engenharia civil, os aspectos da segurança são critérios muito relevantes e têm exigido uma redobrada atenção. Contudo, a multiplicidade de exigências e de responsabilidades exigidas pela Sociedade, a finitude do conhecimento e dos recursos e a constatação de que o risco residual não é, em geral, nulo levam a encarar o processo da respectiva gestão como um novo paradigma complementar ao paradigma normal da engenharia de projecto e construção.

2 Gestão do Risco e Engenharia Civil

2.1 Contexto

A estrutura metodológica interdisciplinar designada por gestão do risco foi sendo consolidada em diversas áreas da actividade humana ao longo da segunda metade do séc. XX. A engenharia civil apresenta múltiplas áreas onde a gestão do risco é aplicável, nomeadamente no planeamento, projecto, construção e exploração de sistemas, como base de sustentação de decisões. Existem contudo, algumas dificuldades que ainda dificultam a aceitação e o desenvolvimento da gestão do risco na engenharia civil, nomeadamente em Portugal, conforme é referido a seguir. Contudo, existe um largo potencial de aplicabilidade e prevê-se, que num futuro próximo, a situação seja diferente da actual. Poder-se-á mesmo dizer que a força da realidade contextual vai, progressivamente, alterando procedimentos ou metodologias e, de uma forma informal, a gestão do risco vai sendo introduzida nas práticas da engenharia civil. De salientar que grande parte do que é designado por gestão da segurança são actividades comuns a uma gestão do risco.

2.2 Paradigmas, problemas e desafios

O conceito de risco ganhou, na actualidade, grande relevância social e passou a constituir um conceito operacional na engenharia, na protecção

civil, na gestão de produtos e na tomada de decisões associadas às actividades tecnológicas e à protecção da saúde e do ambiente.

Na linguagem corrente, e numa perspectiva subjectiva e psicológica, o risco traduz a possibilidade de perda, dano, desvantagem ou destruição, perigo e ameaça. Na linguagem técnica, e numa perspectiva “objectiva” ou quantitativa, o risco associado a um evento ou acontecimento é uma grandeza que resulta, em termos globais, do produto da quantidade (valor) que pode ser perdida (ou ganha) pela probabilidade de tal evento:

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \cdot \text{Consequências} \quad (1)$$

Na expressão (1) a probabilidade traduz uma expectativa de ocorrência e as consequências caracterizam a expectativa dos efeitos, quantificados com base numa unidade consistente. Sob esta forma objectiva ou quantitativa, o risco é, numericamente, o valor expectável das consequências resultantes da ocorrência em causa. Pode, assim, ser aplicada uma métrica.

Para ter uma operacionalidade efectiva, a aplicação do conceito de risco na engenharia exige a definição do objectivo, a delimitação de um âmbito espacial e temporal e a adopção de critérios que definam o conjunto de ocorrências associadas ao produto ou obra de engenharia cujo risco se pretende avaliar (selecção de cenários).

A socialização do(s) risco(s) decorre de mudanças múltiplas de paradigmas: alteração da escala do poder científico e tecnológico (tecnociência); impactes ambientais de origem antrópica e respostas societais (e.g. princípio da precaução); responsabilização social e política pelas consequências (transparência, privatização, responsabilização jurídica seguros); e percepção social fortemente influenciada pela comunicação social.

Os principais problemas “fortes” associados ao conceito risco são os seguintes: 1) escolha de cenários ou situações; 2) modelação credível de comportamentos ou respostas; 3) significado e estimativa das probabilidades e caracterização das incertezas; 4) identificação e valoração das consequências; 5) critérios ético-sociais da decisão; e 6) comunicação do risco.

Os riscos associados a soluções ou situações alternativas podem sustentar critérios para a tomada de decisões técnico-económicas no estrito âmbito da actividade de projecto. Contudo, no caso das decisões envolverem aspectos sociais, ou a opinião pública, o risco objectivo ou técnico pode revelar-se insuficiente, incompleto ou inadequado.

Com efeito, o risco tem outras dimensões, sociais e subjectivas (LIMA, 2004), e a percepção social ou individual do risco pode não coincidir com o

risco técnico ou quantitativo calculado com base na expressão geral (1) (Figura 1).

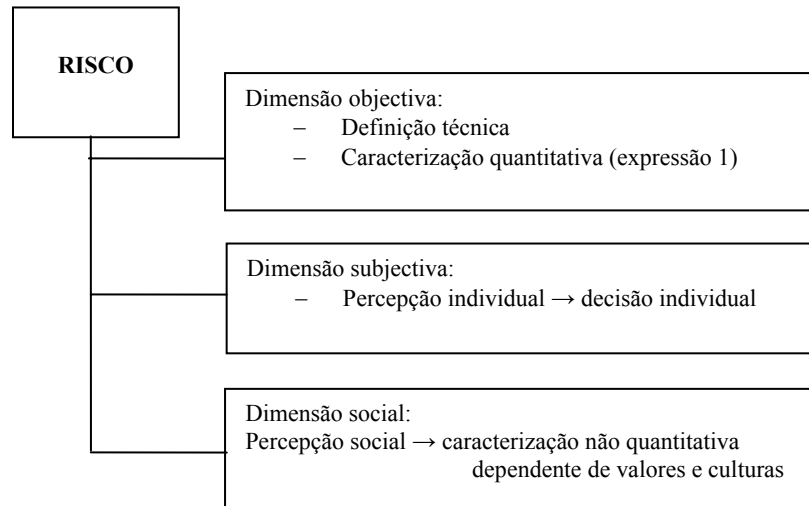


Figura 1 – Dimensões do conceito risco.

2.3 Estrutura da gestão do risco

O autor tem vindo a adoptar uma definição de estrutura “standard” para a gestão do risco a qual, com algumas variações relativamente a alguns pontos ainda não consolidados, é representada de modo simplificado, na Figura 2. De acordo com esta estrutura, a avaliação do risco vai sustentar ou justificar tomadas de decisão, componente fundamental e decisivo do processo. As decisões irão incidir no controlo ou na mitigação do risco, em função da apreciação do significado e importância (tolerabilidade) do risco residual avaliado, de referências éticas e morais e de normas jurídicas.

Os elementos específicos da estrutura apresentada na Figura 2 dependem do objectivo, contexto e âmbito da aplicação de gestão do risco: gestão de um projecto, de uma obra, de um empreendimento de uma estrutura e respectiva envolvente, entre outros exemplos.

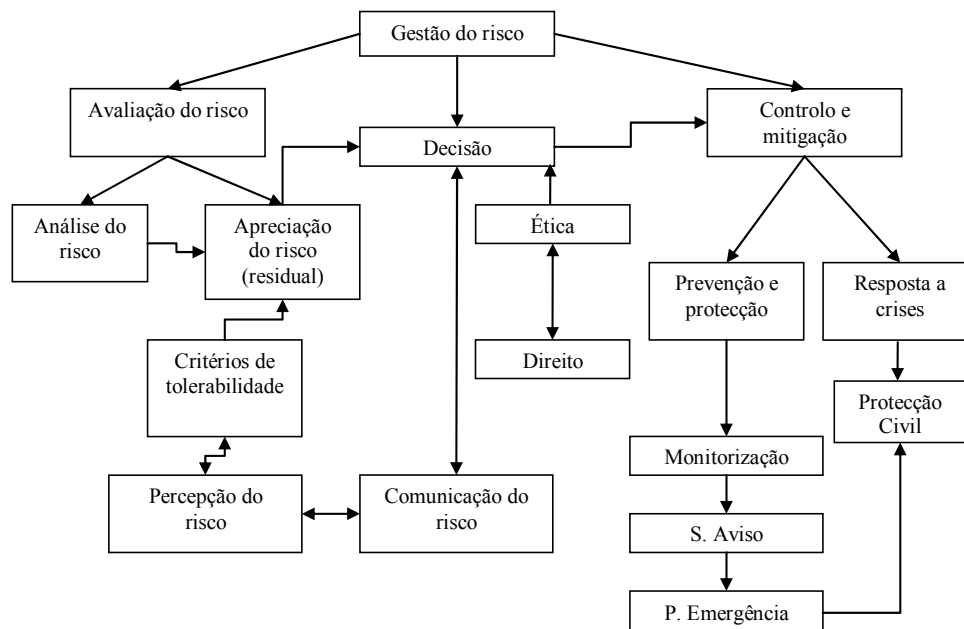


Figura 2 – Exemplo de estrutura da gestão do risco (Engenharia Civil).

As suas componentes principais (avaliação e controlo ou mitigação do risco) apresentam características próprias e diferentes: 1) a avaliação do risco representa um avanço na identificação de vulnerabilidades e na análise do desempenho do sistema face a cenários hipotéticos, na caracterização racional das incertezas e na selecção de medidas para garantir objectivos de segurança com níveis de risco toleráveis; 2) o controlo/mitigação do risco representa a realização de acções de prevenção, ou de manutenção de níveis de risco e de protecção, com objectivos de segurança eventualmente muito abrangentes do ponto de vista social e económico incluindo, nomeadamente, acções de protecção civil. A avaliação do risco poderá determinar a “distância” a estados de insucesso e poderá orientar a decisão no sentido de aumentar essa “distância” ou de controlá-la.

As actividades de avaliação do risco baseiam-se numa forte intervenção de equipas técnicas e científicas que preparam a informação de apoio ao decisor e à discussão pública. As acções de controlo/mitigação do risco têm características mais heterogéneas, na medida em que incorporam a comunicação ao público, e a colaboração e participação activa da Sociedade. O controlo do risco incorpora grande parte das actividades já consolidadas de controlo de segurança e que são, em muitos casos, reguladas por

instrumentos legais e critérios técnicos e objecto de avaliação (inspecção) por parte de autoridades públicas.

A componente da análise do risco é a mais peculiar da estrutura da gestão do risco, em particular no que concerne a caracterização das incertezas e a estimativa de probabilidades de ocorrência de acontecimentos associados aos cenários seleccionados. Nesta componente, são convocados os conhecimentos científicos e técnicos mais avançados na medida em que as questões colocadas exigem respostas fora dos domínios de aplicação correntes e desejáveis. Pode considerar-se que as dificuldades metodológicasⁱ associadas a este aspecto constituem um dos obstáculos relevantes a uma melhor aceitação e divulgação da análise do risco. Existem, também, obstáculos de índole cultural e psicológica que rigidificam opções paradigmáticas.

2.4 Principais obstáculos

No que concerne a gestão do risco, como conceito global, os principais condicionamentos ao seu desenvolvimento e aplicação mais generalizada na engenharia civil resultam, fundamentalmente, da ocorrência, ou não, dos seguintes factores de impulso no seio de uma Sociedade:

- Factor responsabilidade, o qual está relacionado pela forma como as entidades, as empresas e os profissionais são responsabilizados pelos incidentes, acidentes e insucessos e pelos respectivos danos ou prejuízos.
- Factor sócio-político, o qual está associado à tendência para grandes obras e infra-estruturas passarem a ser promovidas e exploradas por entidades privadas (sociedade civil), em substituição do Estado, e com critérios de financiamento e decisão de tipo empresarial.
- Factor democrático, o qual tende a impor processos mais abertos e sujeitos a discussão e participação públicas, nomeadamente através da comunicação social, e exigências de informação mais esclarecida.

Estes factores estão associados a outros aspectos complementares nomeadamente a componente jurídica que acompanha as vertentes mais ou menos litigiosas de uma sociedade aberta, a actuação de companhias seguradoras nas acções de transferência de responsabilidade e condicionamentos económicos, nomeadamente face a critérios de segurança

ⁱ Estas dificuldades conduzem à aplicação de métodos designados por não-quantitativos e semi-quantitativos, quando a caracterização probabilística é considerada difícil.

não mensuráveis socialmente. Em Portugal, estes factores ainda não atingiram um limiar mínimo que impulse o desenvolvimento acelerado da análise do risco. No entanto, do lado da Sociedade e da opinião pública (comunicação social) é sensível a crescente exigência deste tipo de processo de prevenção e protecção. Esta questão coloca-se, em geral, na sequência de acidentes graves ou de catástrofes naturais.

No que concerne, especificamente, a análise do risco, alguns potenciais tipos de obstáculos de relevo são detectáveis no seio da comunidade da engenharia, nomeadamente no caso de infra-estruturas como as barragens:

- Obstáculo da finalidade, consubstanciado nos argumentos de não serem evidentes os benefícios reais da aplicação da mesma.
- Obstáculo metodológico, baseado nos argumentos de que ao contrário do que acontece em outras tecnologias, é mais difícil aplicar aos produtos de engenharia civil as técnicas frequentiais de estimação de probabilidades (produtos únicos).
- Obstáculo de oportunidade, baseado no receio de que a análise do risco possa não ser oportuno na medida em que supostamente colocaria em perigo (desvalorização) critérios (robustos) de segurança já consolidadosⁱⁱ.
- Obstáculo semântico-psicológico, resultante do significado corrente da palavra risco, de eventuais interpretações sobre o objectivo de metodologias que incorporem a análise do risco (deverá ser análise **do** risco e não análise **de** risco) e da aversão cognitiva às probabilidades.

Fortemente associado a estes tipos de obstáculos encontra-se a conciliação, nem sempre evidente, entre o paradigma da segurança e o paradigma do risco. Este confronto, quando existe, só se anulará por duas formas: a compreensão da articulação dos objectivos de cada paradigma e das respectivas aplicações, limitações e vantagens; e a actuação dos factores de impulso atrás referidos quando estes ultrapassarem os limiares mínimos. Salienta-se, no entanto, que a maioria das deficiências epistemológicas que são apontadas à análise do risco também existem implicitamente na actividade corrente da engenharia.

ⁱⁱ No entanto, são precisamente os critérios de segurança que não garantem em geral, riscos residuais nulos, nem conduzem à sua caracterização objectiva. Contudo, a preocupação referente à eventual preponderância de critérios económicos pode ter justificação.

3 O caso dos vales com barragens

3.1 *Risco associado a barragens*

Tal como todas as estruturas de engenharia civil, as barragens com as respectivas albufeiras estão associadas ao risco de um potencial acidente com ruptura (entre outros acidentes ou insucessos), não obstante a elevada segurança atingida no respectivo projecto e na construção e exploração das mesmas. A experiência mostra que tais acidentes têm ocorrido, sendo possível conhecer dados estatísticos, a nível mundial, globais ou por tipo de barragem e de acidente. Pode, assim, considerar-se que a taxa anual da ruptura de uma barragem é da ordem de 10^{-4} e da ordem de $3,9 \cdot 10^{-5}$ para uma barragem de enrocamento, a título de exemplo. Este valor frequencial está associado a uma grande incerteza quando aplicado a uma barragem localizada num determinado vale (probabilidade de evento isolado).

Impõe-se, assim, o cálculo do valor expectável anual dos danos associados a uma ruptura (ou insucesso) de uma barragem específica, o que corresponderá à análise do risco de ruptura. Uma análise deste tipo compreende:

- o conhecimento das características do local e da barragem, dos procedimentos de exploração e das características e da ocupação do vale a jusante;
- a identificação de eventos perigosos ou de efeitos agressivos sobre a barragem, a selecção de cenários de análise e a identificação de modos de resposta;
- a avaliação das consequências (danos) decorrentes de uma ruptura da barragem na sequência dos cenários adoptados;
- o cálculo ou avaliação das probabilidades conjuntas associadas aos cenários ou tipos de acidente em análise;
- o cálculo do risco objectivo total (definição técnica).

A relação entre os potenciais factores incidentes ou agressivos que actuam na barragem e as consequências ao longo do vale a jusante pode ser simplificadamente representada pelo diagrama da Figura 3. Os cenários adoptados incluem as combinações de situações ou de ocorrências cujos efeitos incidirão na barragem e podem provocar a ruptura da barragem: cheias afluentes, sismos, instabilidades geotécnicas nas margens da albufeira, instabilidades nas fundações, percolação nas barragens de aterro, actos de sabotagem, erros de operação, avarias no equipamento de degradação e inadequada manutenção.

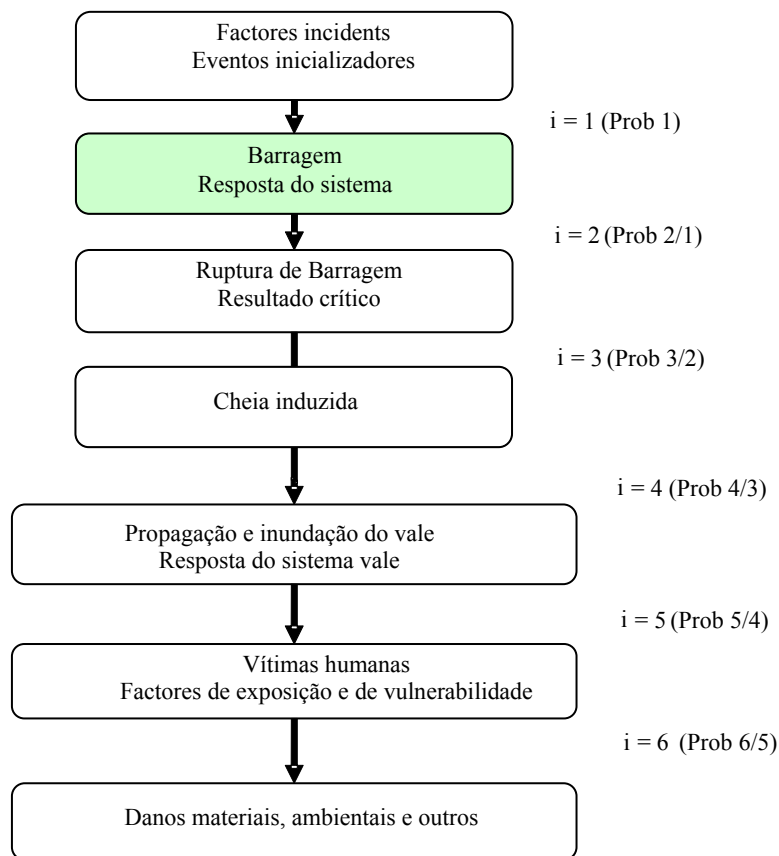


Figura 3 – Risco de ruptura de uma barragem. Cadeia de causas-efeitos.

Na prática da engenharia pode ser difícil a obtenção da cadeia completaⁱⁱⁱ de probabilidades condicionadas. É possível, contudo, estimar com suficiente aproximação alguns acontecimentos críticos (e.g. a probabilidade de galgamento). É mais difícil estimar as probabilidades de ocorrência de determinados danos (número de vítimas na população exposta) no vale (Figura 3). A caracterização probabilística desenvolve-se em dois planos:

ⁱⁱⁱ Os cenários associados a barragens podem ser agrupados em três grandes grupos: hidrológicos, sísmicos e operação normal. O modo de ruptura por galgamento associado a uma cheia é o mais frequente nas barragens de aterro e pode ser considerado como exemplo. Para este cenário e modo de ruptura seria necessário determinar ou estimar as probabilidades associadas às sucessivas transições indicadas no diagrama da Figura 3. Probabilidade de galgamento da barragem (i = 1); de ruptura em consequência do galgamento e de condições operacionais (i = 2); de uma descarga para jusante com determinadas características (caudal de ponta) (i = 3); de determinadas características de propagação e de inundação no vale a jusante (i = 4); de ocorrência de um determinado número de vítimas ao longo do vale a jusante (i = 5); e de ocorrência de outros danos (i = 6).

- Caracterização das probabilidades de ocorrência de eventos no futuro, incluindo os cenários de resposta (cadeias de comportamentos mecânicos ou físicos, humanos e outros) com utilização de árvores de eventos ou de falhas – Probabilidades I.
- Caracterização do grau de incerteza dos valores e das soluções consideradas (e.g. através do método de Monte Carlo) através de distribuições probabilísticas – Probabilidades II.

A utilização de probabilidades subjectivas (e.g. Bayesianas), ou com base na caracterização do grau de convicção de especialistas, permitiu ultrapassar algumas dificuldades operacionais na obtenção de distribuição probabilísticas mas ainda não está consolidada na prática da engenharia.

3.2 *Apreciação do risco*

A análise do risco conduz ao valor da grandeza risco total do sistema, barragem-vale, para o conjunto de cenários seleccionados:

$$R_{bv} = \sum_i R_i \quad (2)$$

sendo R_{bv} o valor do risco resultante das análises para os diferentes; i cenários com os valores do risco R_i . O valor global R_{bv} corresponde ao risco residual, tendo em conta as boas práticas de engenharia ou a situação real do caso em análise.

Obtido o valor do risco R_{bv} coloca-se a questão de analisar a respectiva importância face aos objectivos e ao contexto da análise. A principal questão a colocar é a seguinte: será o valor calculado R_{bv} tolerável, no contexto de segurança do vale? Trata-se da fase de apreciação do risco, muito importante para a tomada de decisão subsequente. É nesta fase que surge ao engenheiro a interface com a Sociedade e o comportamento desta face ao risco. Admitindo que existe um critério para definição do Risco Socialmente Aceitável (RSA) ou Tolerável duas situações podem ocorrer:

- 1) $R_{bv} < RSA$ - as autoridades, a população (a Sociedade) aceitam o risco residual;
- 2) $R_{bv} > RSA$ - o risco residual não é aceitável e impõe medidas.

Na primeira situação, a decisão poderá ser a de não implementar medidas especiais ou mitigadoras. Na segunda situação há que implementar acções que reduzam o risco residual para seu valor tolerável. Assim, a tomada de decisões é condicionada pelo comportamento ou pelos valores da Sociedade face ao risco.

Alguns estudos realizados sugerem critérios de tolerabilidade baseados no número expectável de vítimas, associado ao cenário de acidente, e nas probabilidades de ocorrência desse evento no período de referência. Este tipo de critério é adoptado em alguns países (EUA, Austrália Reino Unido), em instituições envolvidas na gestão do risco. Este tópico é um dos mais críticos para a aplicação de uma análise do risco, em particular no que concerne a decisão face a situações de probabilidade extremas e de consequências catastróficas. É uma questão em aberto em Portugal.

3.3 *Actividades em Portugal*

O autor tem tido o privilégio de acompanhar acções e experiências, em Portugal, tendo em vista a divulgação, o desenvolvimento, a aplicação e a consolidação da gestão (e análise) do risco, no que concerne as barragens e vales a jusante. Referem-se, as seguintes actividades:

- Na década de oitenta é introduzida em Portugal a análise de cheias provocadas por rotura de barragens com casos limites de escoamento rapidamente variáveis (“macro-cheias” com descontinuidades e “frentes de onda”, exigindo técnicas numéricas especiais). São estudadas e apresentadas, pela primeira vez, casos paradigmáticos^{iv} referentes a barragem do Castelo do Bode e barragens de Aguireira e Raiva (modelo 1-D e 2-D). É efectuado para a EDP um grande estudo relativo aos efeitos das cheias provocadas por hipotéticas roturas de barragens (portuguesas e espanholas) no rio Douro. São posteriormente desenvolvidos trabalhos de investigação respeitantes a cheias de roturas em cascata e a técnicas numéricas avançadas, e a efeitos associados (resposta do leito móvel). Estes estudos e os modelos computacionais utilizados ou desenvolvidos tiveram grande importância, na década de noventa, na elaboração de mapas de inundação e planos de emergência, exigidos pelo RSB^v.
- Pode dizer-se que esta actividade no domínio da hidrodinâmica constituiu a primeira etapa de introdução de instrumentos de apoio a uma gestão e a análise do risco em vales com barragens. Estes instrumentos passaram a ser usados e aplicados por instituições

^{iv} A consideração de acidentes envolvendo rupturas de barragens e elaboração de mapas de inundação ainda era ousada à época, pois em Portugal tal assunto era reservado e vedado o conhecimento público de resultados.

^v Regulamento de Segurança de Barragens que introduziu elementos de protecção civil avançados e exigentes à época (Decreto-lei n.º 11/90).

(LNEC, EDP e outras) e por consultores de engenharia (aplicação do RSB) na década de noventa.

- A partir de 1994-95 decorre uma acção estruturada e orientada para a gestão do risco nos vales com barragens que foi consubstanciada na execução do projecto de investigação e desenvolvimento NATO PO-FLOODRISK (Dam Break Flood Risk Management in Portugal), o qual envolveu o IST, o LNEC, o INAG, a EDP e o SNBPC. O projecto, que obteve a mais elevada classificação do INVOTAN, terminou formalmente em 2000 mas teve continuidade até 2003, data em que foi publicado o relatório final (Almeida et al. 2003). O projecto envolveu uma numerosa equipa pluridisciplinar e desenvolveu alguns conceitos e estudos originais. Salienta-se, entre outras, a intervenção no domínio da percepção social em que foram realizados os primeiros trabalhos de campo em Portugal relativos à percepção do risco de barragens (Lima, Almeida e Delta, 1997), as bases de dados desenvolvidos, os estudos de zonamento do solo e de vulnerabilidade, as acções de divulgação e de cooperação a nível nacional e internacional^{vi} e as realizações associados à metodologia e desenvolvimento de planos de emergência protótipos, incluindo a realização de estudos de demonstração no vale do rio Arade (barragens do Arade e do Funcho). Foi introduzido o conceito de sistema barragem-vale na gestão do risco.
- Salienta-se o desenvolvimento de novas metodologias (SIG, mapas de inundação, planos de emergência internos e externos) tendo em vista a aplicação do RSB, incluindo, entre outros, a elaboração do plano de emergência da barragem do Sabugal (CEHIDRO) e o trabalho exaustivo levado a cabo pelo LNEC, para a EDIA e referente aos planos de emergência da barragem do Alqueva (2003).
- A realização de projectos de investigação da UE por equipas do IST (CEHIDRO) e do LNEC, integradas em redes de equipas europeias ou internacionais (e.g. CADAM, IMPACT), em 1999-2004 orientados para diferentes aspectos, nomeadamente a caracterização e simulação de formação de brechas de rotura, erosão e transporte de sólidos em regime hidráulico forçado (ondas de rotura), propagação de cheias e gestão do risco. A nível nacional, salienta-se o programa de estudo e análise de rotura de barragens de escoamento e de incertezas associadas (Franca, 2002, Franca e Almeida, 2004 e

^{vi} De que são exemplos os três workshop e um curso realizado no âmbito do projecto, sendo de salientar a divulgação do tema num livro (Almeida e Viseu, 1997).

Santos, 2004), realizado no IST (CEHIDRO), integrado num projecto de investigação financiado pela FCT envolvendo a Universidade de Coimbra tendo por finalidade o estudo de algumas causas de roturas de barragens (e.g. sismos, deslizamento de encostas e galgamento).

- A realização de acções de formação diversas (teses de doutoramento e mestrado, trabalhos de final de curso, módulos em cursos de licenciaturas e de mestrado e de especialização) intervenções em eventos científicos tendo por finalidade a preparação de estudantes e engenheiros neste aspecto da Engenharia Civil. Salienta-se o módulo referente a “Emergência e Gestão do Risco” do Curso de “Exploração e Segurança de Barragens” do INAG (Almeida, 2001).

A prioridade dos estudos tem incidido na gestão de emergências e de mitigação dos riscos nos vales a jusante de barragens portuguesas (mapas de inundação, planos de evacuação e de emergência e meios de suporte à decisão). Actualmente (2005) estão em desenvolvimento actividades referentes à aplicação e divulgação da análise do risco a barragens e a outros domínios da engenharia civil. A Comissão Nacional das Grandes Barragens criou um grupo específico de estudo que vai desenvolver estudos de demonstração e, no IST e LNEC, existem grupos de especialistas a trabalharem neste domínio. O autor desenvolve um trabalho sobre a filosofia do risco e das probabilidades (2005) e da caracterização integrada das incertezas associadas à análise do risco. Regista-se, ainda, o desenvolvimento de estudos de percepção social do risco associado a obras (Lima, 2004). Recentemente, procura-se consolidar uma plataforma de competências técnicas interdisciplinares no Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do IST (nomeadamente em engenharia sísmica, hidráulica, incêndios e geotecnia).

4 Perspectivas futuras

A análise do risco não deve ser considerada como uma alternativa radical às técnicas de projecto e aos critérios de avaliação de engenharia consolidados. Trata-se de um conceito complementar de avaliação de desempenho baseado nos acontecimentos extremos que, não sendo desejados constituem uma referência para uma caracterização métrica consistente e integrada, o que não ocorre com os critérios de segurança usuais. Face à crescente pressão pública e exigência de níveis mais elevados, de segurança e responsabilização e tendo em conta os recursos limitados, a análise do risco tende a tornar-se inevitável na gestão dos riscos residuais, na sustentação de investimentos e de decisões relativas a conjuntos de barragens ou de infra-estruturas

relevantes (“portfolio”). Para ser eficaz, a análise do risco deve estar associada a modos de organização, decisão, acção e comunicação.

Por tudo isto, é de esperar que a formação dos futuros engenheiros civis deva incluir noções de gestão e análise do risco de uma forma integrada, interdisciplinar, e não repartida por diversas disciplinas, sem prejuízo de aprofundamentos de algumas técnicas gerais serem fornecidos em disciplinas temáticas. A formação integrada deverá incidir em aspectos críticos como sendo: 1) gestão das incertezas; 2) significado dos diversos interpretações de probabilidade, nomeadamente a Bayesianista; 3) associação com ciências sociais, nomeadamente a psicologia social e direito do risco; 4) critérios de apreciação do risco e da decisão em ambiente do risco; 5) comunicação do risco.

5 Referências bibliográficas

ALMEIDA, A. B. (2001) – “Emergência e Gestão do Risco”. “Curso de Exploração e Segurança de Barragens”, Capítulo 7, A. Quintela et al. (ed.), Instituto da Água (INAG), Lisboa, pp.53-60.

ALMEIDA, A. B. et al, (2003): “Dam Break Flood Risk Management in Portugal”, LNEC, Lisboa, Portugal, 250 p.

ALMEIDA, A. B.; VISEU T. (1997) - “Dams e Safety Management at Downstream Valleys”. (Editores), Balkema. Roterdão, 247 p.

FRANCA M.J.; ALMEIDA A.B. (2004) “A computational model of rockfill dam breaching caused by overtopping” (RoDaB)”. *Journal of Hydraulic Research, IAHR*, vol.º 42, pp. 197-206.

FRANCA, M. (2002) – “Caracterização e Modelação Numérica e Experimental de Ruptura Provocada por Galgamento de Barragens de Enrocamento”. Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa, 160 p.

LIMA, M. L. (2004) – “As Obras e os Riscos: uma visão social”. “In Momentos de Inovação e Engenharia em Portugal no Século XX”, Vol. I, M. Heitor, J.M. Brandão e M. F. Rollo (Ed.), D. Quixote, Lisboa, pp. 109-127.

LIMA, M. L.; ALMEIDA, A. B. e SILVA, D. (1997) – From Risk Analysis to Risk Perception: Developing a Risk Communication Strategy for a Dam-Break Flood Risk. *Proceedings da Conferência Internacional “Advances in Safety & Reliability”*, Vol. I, Pergamon, Lisboa.

SANTOS, J. A. B. (2004) – “Incertezas na análise do risco. Incerteza no caudal efluente associado à ruptura de barragens de enrocamento”. Trabalho de final de curso, IST, Lisboa, 66 p.

Bibliografia Adicional – Atendendo ao elevado número de referências no âmbito dos riscos associados a barragens e vales, está disponível (organização em suporte digital de uma lista bibliográfica e de um conjunto de artigos recentes do autor).

Referências pessoais – Sendo vasto o conjunto de técnicos e investigadores portugueses que estão ou estiveram envolvidos no desenvolvimento do tema associado a barragens torna-se impossível nomeá-los de forma exaustiva e justa. Saliento as equipas do LNEC e do IST (projecto NATO) e, também, do INAG, EDP e SNBPC, IDRHA, U. de Coimbra, Consultores de Engenharia e investigadores das ciências sociais e jurídicas a quem manifesto a admiração pelo pioneirismo e entusiasmo em prol da gestão do risco na Engenharia Civil em Portugal.