

2.4 Estrutura da Gestão do Risco

O postulado de que o conceito risco tem um significado prático e operacional que caracteriza, de forma combinada, o grau de contingência e de consequências associados a uma situação perigosa natural ou tecnológica, conduziu à necessidade de gerir ou controlar o risco de forma eficaz. Tem vindo, assim, a consolidar-se uma estrutura metodológica designada por gestão do risco (“risk management”):

- Uma abordagem sistemática tendo em vista a redução de perdas de vidas, de recursos financeiros, de disponibilidade de recursos humanos, de segurança, ou de reputação. Envolve um processo estruturado para análise da exposição de organizações (sociais) ao risco e determinação da melhor forma de gerir essa exposição (Webb, 2002, p. 19).

Na Figura 2 apresenta-se uma forma da estrutura de gestão do risco, designada neste trabalho por estrutura “standard”. De acordo com esta estrutura, a **gestão do risco** compreende três componentes ou momentos fundamentais: a **avaliação do risco**, a **decisão** baseada no risco e a implementação de medidas de **controlo e/ou mitigação do risco**. Estes componentes podem ser caracterizados do seguinte modo:

- Avaliação do risco

Tem por objectivo determinar o valor do risco para cada situação que tenha sido definida. Esta avaliação pode seguir metodologias diversas. Compete à **Análise do Risco**, a selecção das metodologias a adoptar e a aplicação adequada da mesma por forma a caracterizar quantitativamente o risco correspondente a cada situação ou cenário considerado. No contexto da gestão do risco tecnológico, nomeadamente em engenharia, a análise do risco compreende um conjunto de actividades técnico-científicas que possibilitam a obtenção dos valores quantitativos do risco. Os resultados devem ser sujeitos a um escrutínio para se compreender o significado dos mesmos como motivação, justificação e validade de eventuais medidas ou acções. É o objectivo fundamental da **apreciação do risco** a qual envolve a comparação dos valores obtidos ou calculados com **padrões** ou **critérios** de aceitabilidade ou de tolerabilidade ou a confrontação com um processo de discussão pública. O resultado da apreciação justificará soluções ou medidas consideradas adequadas ou consistentes. A análise e a apreciação do risco poderão também ser confrontadas com a percepção do risco (individual ou social). Com efeito, a tolerabilidade depende da componente “objectiva” ou técnica, que fornece um valor quantitativo para o risco residual, e da componente subjectiva e social que responderá à informação e à configuração da situação presente ou futura em função das acções ou medidas propostas.

- Decisão

A fase da decisão é fulcral e é o principal componente da gestão do risco. Na ausência de decisão baseada em diferentes alternativas, consequências e respectivas probabilidades, a situação seria um perigo paralisante ou estático e o devier sujeito unicamente à sorte.

Na gestão do risco, o risco residual e os valores relativos aos riscos associados a diferentes opções deverão ser integrados em metodologias de decisão em conjunto com outros condicionantes, nomeadamente custos e comportamentos psicológicos.

O processo de decisão tem dois momentos e objectivos distintos:

- a decisão associada directamente à apreciação de um risco (aceitação, não aceitação);
- a decisão de seleccionar e de hierarquizar medidas de controlo ou de mitigação;

Numa decisão envolvendo riscos públicos relevantes interferem também as dimensões subjectiva e social. Os critérios da decisão terão, então, de ter em consideração os condicionamentos económicos (custos e benefícios) e os princípios éticos e jurídicos (direito do risco), que possibilitem, ao decisor, uma compreensão das diversas vertentes imbricadas as quais podem extravazar o domínio estrito de uma decisão neutra ou meramente técnico-económico e situarem-se na esfera do social e do político. Todas as actividades a desenvolver no âmbito de uma gestão do risco exigem sentido de responsabilidade profissional (deontológica) mas o processo de decisão conducente a medidas que estejam associadas a alterações ou à manutenção de riscos individuais ou públicos envolve um nível ainda maior de **responsabilização**, ético-moral, social e legal. A fundamentação da decisão e a capacidade da mesma ser interpretada de um modo consistente exigem uma comunicação adequada. A **comunicação do risco** é, assim, fundamental na construção da percepção individual ou social do risco, na mobilização da participação pública e na reflexividade suscitada.

- Controlo e mitigação do risco

De acordo com a apreciação e avaliação do risco, o processo de decisão poderá desencadear a componente de controlo e mitigação do risco através da selecção de medidas ou acções que conduzam à manutenção do valor de risco residual ou à diminuição desse valor. Estas medidas podem ser agrupadas segundo o objectivo pretendido: medidas de **prevenção**, de **protecção** e medidas de **resposta a crises**.

As medidas de prevenção agrupam as medidas que têm por objectivo manter ou diminuir a probabilidade de ocorrência de um evento, de um cenário, de um acidente (e.g. um sistema de observação da obra, ou de monitorização de um sistema, ou a realização de obras de reforço de segurança). Estas medidas incidem, assim, na cadeia de probabilidades condicionadas que caracterizam o cenário associado a uma ocorrência agressiva ou perigosa (“hazardous”), possibilitando que a probabilidade total resultante diminua ou que não aumente.

As medidas de protecção agrupam as acções que tenham o propósito de diminuir os efeitos negativos ou prejudiciais: diminuição de número de vítimas humanas, de prejuízos financeiros, económicos, sociais ou ambientais, entre outros. Incidem, assim, na cadeia de probabilidades das consequências ou dos prejuízos condicionados à ocorrência do acidente ou evento perigoso em causa. Têm por objectivo diminuir o valor expectável das consequências, ou a vulnerabilidade dos valores expostos, no caso de ocorrer um determinado acidente ou evento perigoso (e.g. um sistema de alerta e aviso ou um plano de emergência ou de evacuação).

No domínio da engenharia civil as medidas de prevenção e de protecção podem ser estruturais (envolvendo intervenções ou obras físicas) ou não estruturais (envolvendo a elaboração de planos de contingência ou de resposta, zonamentos de riscos com restrições ou a aplicação de procedimentos de transferência de riscos-seguros).

Um tipo especial de medidas de mitigação ou protecção diz respeito às medidas referentes a acções associadas a uma emergência, durante ou imediatamente após um acidente. São medidas extraordinárias que têm por objectivo atenuar as consequências de um acidente ou de uma catástrofe e possibilitar uma mais rápida recuperação. Estas medidas inserem-se, em geral, nas medidas de **protecção civil** e têm um carácter operacional que envolve as autoridades locais, regionais ou nacionais. As medidas de planeamento de emergência são específicas à situação em causa e resultam da avaliação do risco.

A estrutura descrita pode ser adaptada e aplicada a diversas situações e escalas de intervenção e, também, a diferentes objectivos ou valores a controlar ou a preservar. Com efeito, a gestão

do risco pode ser estruturada com a finalidade de controlar decisões financeiras numa empresa (risco financeiro) ou a execução de um projecto de engenharia ou de uma obra importante (riscos operacionais) ou a exploração e manutenção de uma infra-estrutura.

O conjunto de actividades que compõem a gestão do risco deverá permitir, para cada situação, preparar a resposta mais adequada ao(s) risco(s) a qual poderá envolver as componentes **técnica** (avaliação e análise), **humana** (percepção e comportamento) e **organizacional** (controlo, mitigação e reavaliação).

3 Conceitos Associados à Análise do Risco

3.1 Introdução

A análise do risco tem por finalidade principal obter o valor (quantitativo) do risco associado a uma determinada ameaça ou a um determinado sistema tecnológico e, neste contexto, engloba uma identificação e selecção de condições iniciais hipotéticas futuras e a análise do comportamento do sistema, nomeadamente dos respectivos sub-sistemas e componentes, nos diferentes processos de causa-efeito que constituem as sequências de resposta. Para a prossecução deste objectivo, a análise do risco terá de ter ao seu dispor as mais adequadas teorias e modelos da engenharia. Conceptualmente, a análise do risco desagrega os sistemas expostos às ameaças e aos vectores agressores para conhecer a propagação destes e os sucessivos efeitos ou consequências (Figura 3). Na qualidade de paradigma abrangente, a gestão e a análise do risco confrontam-se com conceitos ambivalentes associados ao do risco (*e.g.* segurança e perigo) ou que devem ser considerados com significados adequados (*e.g.* incerteza e vulnerabilidade).

Figura 3

Este confronto ocorre na medida em que o risco quantificado de acordo com a respectiva definição técnica (1) não pode englobar todas as dimensões psicológicas e sociais associadas ao conceito base. A referida definição constitui uma forma convencionada de caracterizar uma situação tornando o risco uma variável aparentemente equivalente a outras variáveis da natureza técnica mensuráveis. No uso comum do conceito é assim possível encontrar diversas tendências que reduzem o significado prático e operacional da gestão do risco à gestão dos perigos possíveis (prevenção), das incertezas identificadas (coeficientes de segurança) ou das vulnerabilidades detectadas (protecção).

3.2 Perigo e Risco

O conceito de **perigo** é frequentemente confundido com o de risco. Com efeito, na linguagem comum é justificável a utilização indiferenciada dos dois termos. Contudo, é possível encontrar, no domínio de aplicação especializada da análise do risco uma diferença que se considera ser significativa.

Assim, considera-se que o perigo corresponde a uma situação que ameaça alguém ou alguma coisa e envolve uma apreciação conjunta (simultânea) do grau de possibilidade de ocorrência e dos danos que poderá causar, apresentando-se mais como uma sensação global subjectiva do que uma evidência analítica objectiva. Nesta apreciação, o objecto da preocupação parece (é uma conjectura) centrar-se no sistema exposto e no seu potencial estado resultante do efeito ou da acção da situação perigosa. O perigo apresenta estar associado ao receio dum bem vir a ser potencialmente alterado e da dor que essa futura alteração nos evoca no presente.

Pelo contrário, o risco na sua forma quantitativa, incide no valor (incerto) das potenciais perdas ou danos resultantes ou seja, de acordo com a definição (1), corresponde ao valor expectável das perdas ou das consequências possíveis.

O conceito de perigo pode sobrepor-se ao risco na medida em que envolve outras dimensões, nomeadamente a afectiva, e pode traduzir uma apreciação inconsistente, de uma hipotética realidade que incluiria a disrupção de uma ordem das coisas já conhecida e adquirida. Essa apreciação pode traduzir o horror, a vertigem do choque do confronto com outra ordem das coisas diferente.

O risco, definido convencionalmente, pelo produto de probabilidades de ocorrência por consequências (perdas) quantificadas apresenta-se como mais neutro e limitado a duas variáveis aparentemente bem identificadas.

A percepção do risco pode aproximar-se mais de uma percepção ou evocação do perigo sentido. A tendência instintiva para os seres vivos manterem um nível de risco em equilíbrio através de respostas de compensação pode revelar um mecanismo psicológico associado ao balanço do perigo sentido (Ayyob, 2003, p. 368).

Este mecanismo pode explicar atitudes de adaptação e de “ilusões positivas” contrários aos objectivos pretendidos com algumas medidas de mitigação do risco.

O estudo e a análise do perigo¹ permitiu obter conhecimentos relevantes para a gestão e análise dos riscos, nomeadamente através da aplicação da cibernática e da identificação dos potenciais factores críticos na génese e desenvolvimento de acidentes tecnológicos (De Kaiser, 2002; Nicolet, Carnino e Wanner, 1990; Kervern e Rubise, 1991).

A noção de perigo está, em geral, presente na selecção de situações ou cenários para análise do risco. A **perigosidade** do evento ou do acontecimento inicializador depende globalmente da associação antecipada, nomeadamente através de uma intuição, da severidade do processo de resposta que será desencadeado e pela qualidade e vulnerabilidade dos bens expostos (Figura 4).

Figura 4

¹ O estudo do perigo conduziu, em França, à proposta da criação das “ciências do perigo” (les cindyniques) com uma axiomática e modelos de análise próprios (Kervern, 1995).

De um modo geral, o conceito de segurança está associado aos procedimentos conducentes a **evitar que ocorra aquilo que não deve acontecer**. Por seu turno, o conceito do risco tem em conta **o que poderá (eventualmente) acontecer e as respectivas consequências**, por forma a hierarquizar esses hipotéticos eventos com base numa métrica comparável que permita a **justificação racional** de medidas consideradas adequadas pela **percepção esclarecida**. Estas medidas poderão constituir medidas de segurança.

Com efeito, num cenário de resposta a um evento perigoso, nomeadamente um evento natural, as medidas que conduzam à redução de probabilidade, condicionadas de ocorrência associadas a consequências negativas (perdas ou danos) podem ser consideradas medidas de segurança. Pode afirmar-se, assim, que a gestão do risco abrange e engloba uma gestão da segurança do sistema exposto.

Os dois conceitos estão também fortemente relacionados pelo facto de não ser possível atingir a garantia de segurança absoluta, nem atingir a garantia de risco residual nulo, relativamente a todos os cenários plausíveis que possam ter incidência num sistema tecnológico ou estrutura de engenharia.

A prática tradicional do controlo da segurança compreende o cumprimento de critérios baseados, entre outros, em **factores de segurança**, relativamente a situações consideradas de rotura, de deformabilidade excessiva e de deterioração ou de perda de funcionalidade. Estes factores são aplicados a resultados do cálculo ou da análise considerados críticos. Os factores de segurança são obtidos de acordo com metodologias pseudo-determinísticas ou probabilísticas e incorporam, de forma global, as incertezas associadas ao projecto, à construção e à exploração dos sistemas ou estruturas de engenharia civil.

Com efeito, a consideração de métodos de análise de base probabilística em engenharia está consolidada em muitos domínios, nomeadamente no cálculo estrutural (*e.g.* Lin, 1967; Haugen, 1968; Borges e Castanhata, 1971 e Taw, 1990) ou no dimensionamento de componentes (*e.g.* na definição da cheia de projecto para órgãos de segurança hidráulica através do “período de retorno” ou valor da probabilidade de excedência). Assim, associado ao conceito de segurança desenvolveu-se o conceito de **fiabilidade** o qual traduz a frequência ou a probabilidade com que um sistema poderá avariar ou estar inoperacional. Em engenharia, a fiabilidade é definida do seguinte modo (Assis, 1997, p. 20):

- “Probabilidade de um órgão (ou componente²) funcionar satisfatoriamente (cumprir a função requerida) durante um certo intervalo de tempo sob condições especificadas”.

A fiabilidade significa, então, a probabilidade de sucesso (não ocorrência de falhas) de um componente ou de um sistema durante um determinado intervalo de tempo e em determinadas condições de funcionamento, podendo ser obtida a partir de ensaios normalizados ou a partir da experiência do funcionamento real. A fiabilidade não incorpora explicitamente o valor das consequências no que se distingue do risco³. As metodologias associadas⁴ à fiabilidade são predominantemente orientadas para as actividades de produção industrial e de manutenção mas podem também ser aplicadas a diversas situações em engenharia civil como se pode verificar em Kottegala e Russo, 1998).

Os critérios de segurança traduzem o conhecimento técnico-científico consolidado, nomeadamente através da experiência adquirida e estão, em geral, incorporados em

² Alteração da responsabilidade do autor do presente documento.

³ Na análise da fiabilidade, o “risco” é definido como a probabilidade de falha ou de incapacidade de responder a uma solicitação (Kottegala e Russo, 1998, p. 555).

⁴ As metodologias utilizadas na análise da fiabilidade, em particular para cálculo de probabilidade de situações complexas, são também úteis para a análise do risco (*e.g.* Billinton e Allan, 1992).

regulamentos, normas e recomendações técnicas existentes que enquadram a actividade profissional do engenheiro.

A aplicação dos critérios de segurança pode tender a ser efectuada de forma compartimentada ao longo do projecto ou do planeamento da exploração de um sistema. Por seu turno, a análise do risco tende a adoptar uma visão integrada de todos os factores associados aos eventos cujo risco se pretende avaliar, englobando, assim, não só os aspectos associados aos critérios de segurança existentes como, também, todos os aspectos da resposta de componentes ou sub-sistemas que possam ser relevantes no cálculo de probabilidades de ocorrência e de avaliação de efeitos.

O conceito do risco distingue-se ainda do conceito de segurança na medida em que incorpora o valor expectável das consequências resultantes de respostas do sistema específico, afastando-se assim do perigo de uma avaliação de segurança auto-referencial.

A avaliação quantitativa do risco permite hierarquizar situações diferentes, com base no conhecimento mais completo possível, e normalizar as análises perante o acontecimento – alvo, considerado um hipotético facto operacional objectivo. O conceito do risco permite, assim, sustentar melhor as decisões e fundamentar a comunicação da situação (representação) no que respeita a segurança e não segurança, os efeitos respectivos e a eficiência das medidas adequadas ou propostas.

3.4 Incerteza e Risco

A incerteza está associada, de um modo incontornável, a dois aspectos do conhecimento humano, em geral, e do conhecimento técnico-científico, em particular: 1) conhecimento completo e preciso da realidade em função das evidências disponíveis e das capacidades cognitivas; 2) capacidade de previsão da evolução (no futuro) dos acontecimentos e do comportamento humano, da natureza e dos sistemas tecnológicos.

De acordo com Zimmermann, a incerteza pode ser definida do seguinte modo: “Incerteza implica que numa determinada situação uma pessoa não dispõe informação que seja quantitativamente apropriada para descrever, prescrever e prever, deterministicamente e numericamente, um sistema” (Zimmermann, 2000).

De um modo pragmático, eventualmente redutor, a distinção entre os dois conceitos pode ser feita do seguinte modo (Frank Knight): o risco implica o conhecimento de probabilidades, a incerteza, em sentido estrito, refere-se a situações para as quais a probabilidade é desconhecida.

Tal como o risco, a incerteza pode conduzir a situações favoráveis, com efeitos positivos, ou a situações desfavoráveis, com efeitos negativos. A incerteza está, assim, no cerne do conceito do risco. Se a incerteza fosse absolutamente nula, o risco deixaria de ter sentido pois tudo seria conhecido e previsível, ficando só a decisão de escolher e aplicar as medidas necessárias para evitar os eventuais efeitos negativos e promover os efeitos positivos. Mas as limitações cognitivas e a realidade conduzem inevitavelmente a incertezas. Em certa medida, a gestão do risco pode ser considerada, também, como uma gestão de incertezas, envolvendo caracterização, análise, avaliação e a aplicação de medidas tendentes ao controlo das mesmas.

Em termos práticos, a consideração da incerteza é importante no âmbito da decisão associada ao risco na medida em que a avaliação, o valor calculado na análise do risco, pode ter efeitos muito importantes, nomeadamente no que concerne a percepção e a resposta do público a decisões, pelo que é justificável incorporar uma análise e caracterização das incertezas associadas na análise do risco.

Considera-se, simplifadamente, que a origem da incerteza pode situar-se em duas origens:

- Incerteza epistemológica, associada à limitação cognitiva humana de conhecer e explicar a realidade passada, presente ou futura ou limitação do conhecimento possível.
- Incerteza aleatória, associada à limitação de informação completa e exacta para fundamentar o conhecimento possível ou associada a uma característica intrínseca⁵ da realidade.

As incertezas provenientes destas duas origens interpenetram-se nas múltiplas causas de incerteza que podem ser identificadas no domínio da engenharia civil, nomeadamente nos **parâmetros ou variáveis empíricas**, que representam propriedades mensuráveis do mundo-real, ou de sistemas do mundo-real, da natureza, dos materiais e da sociedade.

As fontes de incerteza na quantificação das variáveis empíricas podem ser agrupadas de diferentes modos (Morgan e Henrion, 2003):

- variação estatística e erro aleatório na medição directa das variáveis;
- erros sistemáticos e apreciações subjectivas na mesma medição;
- variabilidade espacial e(ou) temporal e incerteza na caracterização probabilística associada;
- aproximações na modelação ou nos métodos de caracterização das variáveis;
- imprecisões linguísticas em caracterizações quantitativas e verbais;
- diferenças de opinião entre técnicos na avaliação de variáveis.

Na actividade actual da engenharia civil é da maior relevância os resultados obtidos por modelos de simulação (computacionais) os quais envolvem. Estas fontes envolvem, diferentes fontes de incerteza. Entre outras, a estrutura e as características de cada modelo, as variáveis de entrada, os parâmetros variáveis, as aproximações numéricas e os erros de operação ou exploração dos modelos humanos.

A análise do risco não pode ser considerada como um processo que magicamente uma resposta à pergunta: qual é o valor “certo” deste risco? Contudo pode contribuir decisivamente para uma decisão mais ajustada tendo em conta o carácter aproximado e convencional das metodologias adoptadas.

A ciência e a engenharia possuem diversos métodos de caracterização e de propagação de incertezas de variáveis e de parâmetros (Morgan e Henrion, 1990). O método de Monte Carlo é um dos mais utilizados e úteis na caracterização das incertezas associadas aos modelos de apoio à decisão.

A quantificação das incertezas pode ser baseada na teoria das probabilidades, na estatística e em outras metodologias mais recentes. O valor numérico associado a um determinado risco aconselha a apreciação da respectiva margem de incerteza⁶ a qual deverá ser considerada nas fases de decisão e de comunicação do risco. Esta margem de incerteza pode reflectir as fontes de incertezas já referidas e, de um modo geral, as incertezas referentes à aplicação da análise do risco no que concerne, nomeadamente:

- a completude dos eventos iniciadores e dos cenários associados;
- a caracterização, a desagregação lógica e a modelação do comportamento (resposta) de sistemas ou estruturas face aos cenários;

⁵ Corresponde à incerteza aleatória ontológica, ou que existe na realidade como a que se admite que ocorre no domínio sub-atómico (mecânica quântica), para além do melhor conhecimento possível.

⁶ Em determinadas circunstâncias poder-se-á obter uma distribuição probabilística do valor do risco.

- a avaliação das probabilidades através de técnicas quantitativas ou subjectivas;
- a avaliação completa e exacta das consequências (número de vítimas, prejuízos económicos, sociais, culturais e ambientais);
- a previsão de comportamentos humanos, incluindo erros inconscientes e de percepção de situações perigosas.

A caracterização das incertezas associadas às diferentes medidas de mitigação ou de controlo do risco poderá também ser relevante para os processos de decisão e de comunicação do risco.

3.5 Vulnerabilidade

O conceito vulnerabilidade é aplicado frequentemente no contexto da avaliação do risco, no âmbito da engenharia e das ciências sociais. Trata-se de um conceito com definição muito fluida o qual depende da perspectiva em que é considerado o risco, nomeadamente a sócio-cultural e a objectiva ou técnica. O PNUD⁷ apresenta a seguinte definição no que concerne a vulnerabilidade humana (PNUD, 2004):

- “Um processo ou condição humana resultante de factores físicos, sociais, económicos e ambientais que determinam a probabilidade e escala de danos resultantes do impacto de um acontecimento perigoso”.

Blaikie *et al.*, 2001 apresentam uma definição no âmbito da análise comportamental e social dos desastres:

- “a característica de uma pessoa ou de um grupo em termos da respectiva capacidade para antecipar, enfrentar, resistir e recuperar do impacto de um desastre” (p. 9).

De acordo com Clayton (2001), a vulnerabilidade pode ser definida⁸ como o conjunto de factores que determinam a expectativa de um evento perigoso resultar em consequências desfavoráveis (*e.g.* para a segurança dos trabalhadores, estes factores podem ser o programa de trabalho, a qualidade da construção, condição física ...).

O significado do termo no contexto de uma análise quantitativa é o de estar propenso ou susceptível a danos ou perdas. Com efeito, no contexto da definição técnica do risco, pode definir-se, teoricamente, um **factor de vulnerabilidade V** do seguinte modo:

$$V = \frac{\int_0^{D_M} P(x | e_1) x dx}{D_M} \quad (2)$$

sendo x a variável danos, e_1 o evento inicializador seleccionado, a função de probabilidade condicionada e D_M o limite superior do dano possível. Esta definição conduz a um operador prático que possibilitaria a transformação do universo exposto nos danos expectáveis associados a um determinado risco.

No caso dos danos serem as vítimas humanas de um desastre (*e.g.* numa cheia ou um sismo), o PNUD⁹ (2004) propõe o seguinte modo expedito de estimar o risco R associado a essa situação:

$$R = \text{Exp F} \cdot V = E \cdot \text{NPR} \cdot V \quad (3)$$

⁷ Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

⁸ Em Varley, 1994 apresentam-se, na perspectiva sócio-cultural, definições da vulnerabilidade, factores que a podem determinar e aplicações desastres naturais.

⁹ Adaptação da equação do risco simplificada apresentada no respectivo Anexo Temático (p. 100).

sendo $Exp F$ a “exposição física” expectável ou seja a frequência de ocorrência E do evento catastrófico, com determinado nível de magnitude ou de severidade, multiplicada por “ NPR ”, número de pessoas expostas (ou número de pessoas expostas ao risco) e V o factor da vulnerabilidade ou simplesmente vulnerabilidade cujo valor numérico poderá variar entre 1 e 0. Neste caso, o número expectável de vítimas (NEV) será igual a $NPR \cdot V$.

A aplicação generalizada do conceito e deste tipo de definição¹⁰ pressupõe que, consoante as categorias de consequências associadas aos diversos riscos, existem categorias de vulnerabilidade (humana, social, económica, cultural, ambiental ...) que podem ser subdivididas em categorias mais específicas (grupos etários, edifícios, infra-estruturas, tipos de vegetação ...).

Cada categoria de vulnerabilidade dependerá de diversos factores. Assim, a vulnerabilidade social dependerá de factores económicos, demográficos, sanitários, da educação e do desenvolvimento, do conhecimento do risco e do treino de resposta a crises, entre outros (PNUD, 2004). Segundo Luísa Lima e Luís Faísca (1992), os factores de vulnerabilidade individual dependem da sócio-demografia, idade, fase de desenvolvimento e personalidade das pessoas expostas, atitudes, crenças e valores individuais, saúde e existência prévia de factores de stress. A forma de integração que o indivíduo desempenha na comunidade e na família é, também, um factor a ter em conta (Lima e Faísca, 1992, p. 39-43): existência de redes sociais de suporte, separação de membros da família e factores culturais. Um outro factor importante a considerar é o grau de experiência prévia do tipo de acidentes em causa, nomeadamente através de exercícios de simulação.

Numa perspectiva mais técnica ou para outras categorias de vulnerabilidade, os factores preponderantes ou que influenciam a probabilidade de perda ou de dano poderão ser diferentes. Assim, por exemplo, o grau de destruição de edifícios sob o impacto de um sismo ou de uma inundação vai depender das características resistentes estruturais relativamente à intensidade e probabilidade do processo ou acção agressiva severidade associada ao acontecimento potencialmente realizado. No que concerne o risco sísmico, a vulnerabilidade de uma estrutura ou de um grupo (tipo) de estruturas ou de uma zona urbana pode ser definida como a propensão intrínseca de sofrer danos em resultado da ocorrência de uma acção sísmica com uma determinada magnitude (severidade)¹¹.

A vulnerabilidade pode ser considerada como um factor relevante na “geração” dos riscos naturais ou tecnológicos (Figura 5): a actividade humana, e a componente sócio-económica associada, e a envolvente ambiental do sistema considerado podem ter papéis activos e passivos. Na primeira função geram intervenções e perigos que provocarão impactos ou agressões. Na segunda perspectiva constituem-se como elementos **expostos e vulneráveis** propiciadores de riscos.

Figura 5

De acordo com o exposto, a vulnerabilidade é, na avaliação quantitativa do risco, um operador que reduz as consequências potenciais máximas possíveis em consequências

¹⁰ Reconhece-se que a aplicação desta definição pode ainda ser difícil ou não ser reconhecida pela totalidade da comunidade científica. Adoptando uma definição mais flexível poder-se-á ser conduzido a um indicador de susceptibilidade.

¹¹ Em Oliveira, Sá e Ferreira (2005) apresentam-se aplicações do conceito à engenharia sísmica e em Almeida *et al.* (2003) e Viseu (2006) propõem-se índices de vulnerabilidade associados ao risco nos vales a jusante de barragens.

prováveis ou expectáveis de acordo com as probabilidades de resistência ao impacto do acontecimento. Na avaliação da vulnerabilidade pode ser seguida uma via probabilística directa (cálculo de probabilidades da sobrevivência ou da resistência) ou indirecta através de factores de ponderação e redução a aplicar ao valor máximo de referência ou no cálculo da previsão de consequências esperadas para cada nível de severidade do acontecimento.