

MÉTRICAS DE RESILIÊNCIA: UMA REFLEXÃO CONCEPTUAL NO CONTEXTO DA GESTÃO DO RISCO\*

RESILIENCE METRICS: A CONCEPTUAL THOUGHT IN RISK MANAGEMENT CONTEXTS

António Betâmio de Almeida

Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico  
Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos (Portugal)  
ORCID 0000-0003-2614-1234 [betamio.almeida@ist.utl.pt](mailto:betamio.almeida@ist.utl.pt)

RESUMO

A aplicação do conceito de resiliência no domínio da gestão de crises e do risco é relativamente recente mas tem tido um desenvolvimento muito relevante. O termo resiliência tem sido aplicado ao longo do tempo a diferentes áreas e a palavra resiliência pode ser considerada como parcialmente polissémica. Desde a mecânica dos materiais, a psicologia e a ecologia, a resiliência veio no século XXI acompanhar o termo sustentabilidade e caracterizar uma característica de gestão e da capacidade de reabilitação de instalações e sistemas naturais. A gestão da resiliência constitui um processo complementar e interligado ao da gestão do risco e que envolve diversas dimensões sociais e técnicas.

Com a evolução da técnica e em particular com a aplicação de novas tecnologias de análise e de apoio à decisão, as frases atribuídas a Lord Kelvin (1824-1907) “o que não se pode medir não é possível melhorar” ou “o que é real pode sempre ser mensurável” poderão ser uma justificação filosófica, entre outras razões práticas, do interesse na caracterização e nas análises quantitativas. Com efeito, os conceitos de risco e de resiliência podem ser abordados por diferentes metodologias mas verifica-se um grande interesse prático na quantificação desses conceitos. Surge assim o tema da conceptualização e da métrica da resiliência. Na bibliografia podem-se encontrar diferentes modos para definir e quantificar a resiliência em engenharia, envolvendo as suas múltiplas dimensões

O texto é baseado numa análise bibliográfica da matéria e numa subsequente reflexão pessoal com a finalidade de apresentar métodos simplificados de métrica da resiliência bem como numa análise crítica das vantagens na quantificação da resiliência e também das suas limitações.

**Palavras-chave:** Resiliência, recuperação, gestão do risco, análise quantitativa.

ABSTRACT

The application of the concept of resilience in the field of crisis and risk management is relatively recent but its development has been very relevant. The term resilience has been applied to different areas over the years, and the word resilience can be considered as partially polysemic. From the mechanics of materials, psychology and ecology, in the 21<sup>st</sup> century resilience has come to accompany the term sustainability and to characterize a management characteristic and the ability to rehabilitate natural systems and installations. Resilience management is a complementary process interconnected with that of risk management and involves several social and technical dimensions.

As techniques have evolved, particularly with the application of new analysis and decision support technologies, the phrases attributed to Lord Kelvin (1824-1907) “what cannot be measured cannot be improved” or “what is real can always be measurable” may be one philosophical justification for the interest in characterization and quantitative analysis, among other practical reasons. Indeed, the concepts of risk and resilience can be approached by different methodologies, but there is a great practical interest in the quantification of these concepts. Thus arise the theme of conceptualization and the metric of resilience. The bibliography contains references to different ways to define and quantify engineering resilience, involving its multiple dimensions.

The text is based on a literature analysis of the subject and a subsequent personal reflection, with a view to presenting simplified methods of resilience metrics as well as a critical analysis of the advantages in the quantification of resilience, and also its limitations.

**Keywords:** Resilience, recovery, risk management, quantitative analysis.

\* O texto deste artigo foi submetido em 04-11-2020, sujeito a revisão por pares a 01-02-2021 e aceite para publicação em 07-04-2021.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 29 (I), 2022, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

O conceito de resiliência é relativamente recente no contexto da terminologia operacional da gestão de riscos e de catástrofes podendo ser considerado como estando associado à fase de recuperação após um acontecimento que provoque danos. Em A. Betâmio de Almeida (2011, fig. 3.4, p. 72), o termo resiliência é apresentado num esquema geral associado à fase de recuperação mas sem mais desenvolvimento.

No entanto, a palavra “resiliência”, de origem Latina (*RESILIENS*, participio passado de *RESILIRE*, “ricochetear, pular de volta”, de RE-, “para trás”, mais *SALIRE*, “pular”) foi utilizada por autores clássicos célebres (Séneca, Plínio, Ovídio ou Cícero). Na época moderna, o termo “Resiliência” foi sendo sucessivamente utilizado em diferentes contextos (Alexander, 2013):

- No Método Científico (com Francis Bacon, em 1625);
- Na Mecânica dos Materiais (com William Rankine, desde 1867);
- Nas Ciências Sociais, como a Psicologia, a Antropologia (séc. XIX-XX);
- Nas Ciências Ambientais, como a Ecologia (com Stanley Holling, desde 1973);
- Na gestão de Empresas (séc. XX-XXI);
- Na adaptação à mudança climática e na gestão de catástrofes (séc. XX-XXI).

A bibliografia sobre a aplicação do termo na ecologia e na gestão de riscos e de catástrofes é atualmente muito vasta. Referem-se, a título de exemplo, as seguintes publicações escolhidas no âmbito do presente texto:

- Tsonis, G. (2014), *Seismic resilience concept, metrics and integration with other hazards*, European Commission;
- *Cidades Resilientes em Portugal*, ANPC, Plataforma Nacional para a Redução do Risco de Catástrofes (2016);
- Velez, F. e Lourenço, L. (2017), “Resiliência, População e Território: Contributo Conceptual para a terminologia dos Riscos”, *Territorium*, 24, 5-13;
- Linkou, I. e Palma Oliveira, J. M. (editores, 2017), *Resilience and Risk*, NATO Science for Peace and Security Programme.

O conceito de resiliência tem definições específicas nas diferentes áreas. Uma boa introdução às diferentes definições associadas à resiliência pode ser encontrada em Wenger (2017), mas tende a ser aplicado após um sistema, natural, humano ou técnico ser sujeito a um choque ou uma perturbação significativa que provoque uma disrupção com danos ou efeitos negativos e um desequilíbrio na respetiva estrutura física, social e ambiental.

A frequente utilização do termo não corresponde à existência ou descoberta de uma nova teoria operacional geral do risco. Frequentemente o termo é aplicado como uma mera analogia ou como sendo equivalente a resistência. A resiliência pode ser encarada como uma capacidade estruturada ou “construída” já existente antes de um evento (e. g. “uma comunidade resiliente” ou “uma cidade resiliente”). Ou, então, é o resultado de um processo que só resulta e se manifesta durante e após um evento relevante. Neste caso, depende de um conjunto de condições operacionais e de capacidades de ação desenvolvidas, pelo que, então, a resiliência pode ser considerada e avaliada como um resultado *a posteriori*.

Regra geral, a resiliência é multidimensional, nomeadamente no contexto da gestão de respostas a catástrofes em territórios vastos, tendo em vista uma recuperação estrutural e social adequada, e envolve um conjunto de aspetos interrelacionados. No contexto do risco podemos considerar a seguinte definição:

“A Resiliência é definida como a capacidade de recuperar o nível de Funcionalidade e de Benefício Social de um Sistema, uma Comunidade ou Sociedade após a ocorrência de um evento”.

(Betâmio de Almeida, 2020)

Um sistema pode ser um país, uma região, uma cidade, uma infraestrutura física ou um sistema ambiental, entre outros. A funcionalidade é considerada neste texto como uma caracterização ampla do sistema relativamente a uma referência anterior ao evento. A recuperação do nível de funcionalidade e de operacionalidade, após um evento mais ou menos disruptivo, constitui uma resposta característica das sociedades desenvolvidas contemporâneas. Tentar recuperar a situação inicial ou obter um sistema com melhores condições de funcionalidade com o máximo de rapidez torna-se um objetivo político após uma catástrofe ou um acontecimento público traumatizante.

Em termos gerais, a análise da *resiliência* pode ser considerada como um complemento à Análise e Gestão do Risco. Em termos epistemológicos, pode afirmar-se que, após a fase da resiliência, só teremos a gestão política normal de uma comunidade, com todas as incertezas e responsabilidades inerentes e permanentes.

Em 2020-21, o mundo está sob o efeito de uma pandemia muito grave resultante da propagação de um vírus (Coronavirus19). Trata-se de um evento inesperado mas com um impacto sanitário, económico e social muito relevante sobre a Sociedade. Os Estados e as organizações internacionais tentam aplicar medidas excepcionais para minimizar perdas humanas e económicas. A situação a nível mundial e nacional é acompanhada diariamente enquanto se aguarda por uma normalidade, ou seja, que se recupere um nível de funcionalidade da sociedade considerado adequado.

A quantificação dos efeitos sanitários e as previsões dos danos sociais e económicos são apresentadas com números e estatísticas como se fossem o sinal mais fiável para conhecer a realidade e avaliar as políticas adoptadas na situação de emergência. Na actual sociedade de informação, a quantificação dos factos tende a competir com outros modos de compreensão mais elaborados e próprios de um conhecimento justificado.

Este acontecimento mundial tem motivado a aplicação frequente do termo *resiliência* como esperança humana para o retorno a uma felicidade perturbada, um desejo que se pretende garantir com medidas de recuperação rápidas e eficazes e, por vezes, como instrumento de avaliação da eficácia política num contexto de debate ideológico ou partidário.

A quantificação da resiliência, nomeadamente através de métricas simplificadas, pode ser não só um procedimento adequado como instrumento de aferição de eficácias, mas também uma contribuição para consolidar o conceito tornando-o mais credível e evitando que seja só um termo actual mas sem substância concreta. Esta quantificação pode ser mais ou menos credível ou consistente consoante a parametrização adoptada e a capacidade de ser concretizada. Uma quantificação que conduza a uma valoração objetiva como ocorre com os conceitos de probabilidade, vulnerabilidade e exposição na análise quantitativa do risco pode, neste caso, ser muito mais difícil.

#### Avaliação da Resiliência. Pressupostos

Tendo por base a definição do conceito, a resiliência pode ser preparada, executada e avaliada de diferentes modos:

- A - Anteriormente à ocorrência de um (hipotético) futuro evento significativo, com base em simulações de cenários de ações de planeamento e de organização (ex ante), no âmbito de análise e gestão de um ou mais riscos;
- B - Após a ocorrência de um evento (real) significativo, compreendendo um processo operacional e ações de resposta, incluindo uma monitorização e avaliação adequadas (ex post), tendo em vista uma melhoria de procedimentos num futuro evento.

Na avaliação das capacidades e processos de resiliência aplicados a uma determinada situação, considera-se que a adoção de um método de quantificação, ou uma métrica, pode ser adequada por diversas razões:

- Permite avaliar o grau de eficácia de um processo de recuperação face à situação inicial tendo em vista melhorar procedimentos futuros;
- Permite a comparação entre metodologias alternativas de atuação ou de procedimentos relativos a situações diferentes (nomeadamente tipos ou características de sistemas afetados, de eventos ou de locais diferentes).

Convém sublinhar que uma métrica da resiliência pode ser muito útil mas nem sempre poderá incluir todos os aspetos envolvidos numa situação complexa, envolvendo um país e a sua população. Quando o sistema em causa é composto por diversos componentes físicos, sociais, psicológicos e ambientais, a inter-relação dos efeitos ou danos resultantes do evento e das respostas às ações de recuperação pode ser muito complexa e carecer de muita informação inexistente ou de obtenção difícil. Nestas situações, a aplicação de modelos de simulação computacional e de métodos avançados de análise multidisciplinar pode ser um auxiliar indispensável na quantificação da recuperação do grau de funcionalidade dos diversos componentes, por aplicação de medidas alternativas ou como monitorização dos efeitos das medidas aplicadas em situações reais. Estas metodologias de análise e de quantificação podem ser fiáveis se existirem informações ou dados adequados e se os modelos forem bem calibrados. São em geral processos de análise exigentes, desenvolvidos para cada situação e difíceis de serem generalizados.

A quantificação da resiliência pode ter em conta múltiplas dimensões com interesse social que podem ser afetadas. As perdas de vidas humanas ou os efeitos na saúde pública ou pessoal constituem, em geral, aspetos considerados no conceito de vulnerabilidade mas, obviamente, são muito delicados em termos de recuperação e são analisados com base em metodologias especiais.

O modo A de análise pode implicar a caracterização de múltiplas incertezas sobre os potenciais eventos e as consequências respetivas no sistema selecionado: a simulação pode então envolver a consideração de probabilidades e modelos estocásticos.

Atendendo à especificidade destes modelos, a transposição e a comparação de resultados entre situações diferentes não é fácil ou até possível.

Pelo contrário, quando o sistema em causa é uma única infraestrutura física (e.g. uma ponte ou um sistema de distribuição de energia elétrica) sujeita a ações instabilizadoras bem definidas (e.g. um sismo ou um tornado), a avaliação da eficácia das medidas de recuperação alternativas, conjugadas com as medidas de mitigação dos riscos, permite a adopção de métricas simplificadas mas que podem ser suficientemente eficientes.

Para avaliar a resiliência convém considerar os seguintes pressupostos fundamentais que constituem desafios na respetiva quantificação:

- *Parametrização não dimensional e integrada:* para enfrentar a complexidade e a multiplicidade dos fatores intervenientes na recuperação de um sistema é indispensável, do ponto de vista prático, a aglutinação da caracterização das diferentes funcionalidades afetadas por um conjunto mínimo de

parâmetros adequados. Como simplificação, tenta-se definir um único parâmetro composto (ou obtido por ponderação) que traduza o dano ou perda no sistema em cada instante.

Este parâmetro caracterizará a designada funcionalidade conjunta do sistema ao longo do tempo, antes e depois do evento. Para eliminar a intervenção de diversas unidades de medida adopta-se uma razão entre o valor da funcionalidade avaliada em cada instante  $t$ ,  $F(t)$ , após o evento, e a funcionalidade inicial do sistema, antes do evento,  $F(0)$ .

A variável adimensional  $F^*(t) = F(t)/F(0)$  variará, assim, entre 1 e 0 ou entre 100% e 0%.

O desvio da funcionalidade é caracterizado por:

$$V(t) = \Delta F^*(t) = (F(0) - F(t)) / F(0)$$

Esta variável pode ser considerada como uma vulnerabilidade (valor relativo de uma perda ou dano no sistema).

- *Intervenção do parâmetro tempo*: uma das dimensões consideradas relevantes na quantificação da resiliência é o parâmetro tempo. Minimizar o tempo de recuperação pode ser um objetivo ou um dos fatores de avaliação e comparação.

A análise da resiliência de um sistema pode ser apoiada pela representação da evolução das funções  $F^*(t)$  e  $V(t)$  num gráfico no domínio ( $F^*(t)$  x tempo).

- Há que definir uma variável, que pode ser designada por *Grau de Resiliência*, para quantificação da resiliência em função da evolução da perda de funcionalidade no tempo após um evento. Admite-se que, no caso geral, a evolução, mais ou menos longa, da função  $V(t)$  se traduza numa recuperação entre  $V_M$  no início e  $V_F = 0$  no final. Todavia, nem sempre se recupera o valor  $F(0)$  no final da recuperação  $0 < V_F < 1$ , mas há situações em que o sistema fica melhor no final e  $V_F < 0$ .

### Exemplo de métrica simplificada

Uma das métricas simplificadas da resiliência baseia-se nos seguintes pressupostos:

- Admite-se, em geral, a ocorrência de um único evento concentrado, que pode ser composto por um conjunto integrado de acontecimentos inter-relacionados, como origem do processo;
- Caracterização da funcionalidade ou operacionalidade de cada componente  $i$  do sistema pelas funções já referidas, com valores entre 0 e 1 consoante o grau avaliado de operacionalidade em cada instante de análise, e definição de uma função de funcionalidade composta relativa ao sistema total em análise, tendo em conta os graus de funcionalidade dos respetivos componentes.

Com base na técnica escolhida para agregar os diferentes graus de funcionalidade associados obter-se-á uma função equivalente total ou composta  $F^*(t)$  para efeitos de análise simplificada (e.g. uma função ponderada);

- Em análises baseadas em cenários (ex ante) os valores da função total  $F^*(t)$  podem estar associados a incertezas aleatórias ou epistémicas (incertezas no conhecimento) pelo que se justificaria a aplicação de métodos probabilísticos ou outros. Na análise simplificada considera-se contudo que as funções adotadas são aproximadas e pseudo-determinísticas.

O parâmetro adimensional de funcionalidade ou operacionalidade do sistema é considerado como sendo o parâmetro base para a quantificação da resiliência. A variação ao longo do tempo deste parâmetro pode caracterizar simplifadamente a situação  $T_{IE}$  de ocorrência inicial do evento e de redução brusca da funcionalidade e o instante, de recuperação da funcionalidade final.

De um modo esquemático, o comportamento tipo do grau de funcionalidade de um sistema em análise após um evento pode ser representado graficamente do seguinte modo (fig. 1):

- Antes do evento ( $F^*(0) = 1$ , segmento  $a$ );
- No instante  $T_{IE}$  tem início o impacto do evento (entre o valor inicial  $F^*(0)$  e um valor inferior a 100% ou 1 - segmentos  $b$ ) e  $c$ );
- Durante a fase de recuperação (segmento  $d$ ), no intervalo de tempo imediatamente a seguir ao segmento  $c$ ), com um valor crescente de  $F(t)$  tendendo para um grau de operacionalidade final idêntico, superior ou inferior ao inicial.

A variação de  $F(t)/F(0)$  na designada fase de recuperação será expressa por uma curva específica de cada caso concreto (são utilizadas nas análises diversas funções matemáticas de acordo com as características do processo). Na realidade, o evento não será, em geral, instantâneo e a resposta do sistema pode compreender uma sucessão de fases de (fig. 1):

- *Absorção e Acomodação*, capacidades próprias do sistema em responder ao evento desde o início (segmento  $b$ ) até ao respectivo final da actuação e Fase de Estabilização da perda de funcionalidade (segmento  $c$ ), nomeadamente através da organização dos serviços de emergência e protecção civil. Os segmentos  $a$ ) e  $b$ ) não serão, assim, nos casos reais, um segmento único vertical mas numa análise simplificada poder-se-á admitir essa hipótese e que o início do intervalo de tempo de recuperação coincide com o instante  $T_{IE}$ ;
- *Recuperação*, processo mais ou menos rápido de recuperação da funcionalidade do sistema resultante de uma intervenção (curva  $d$ )).

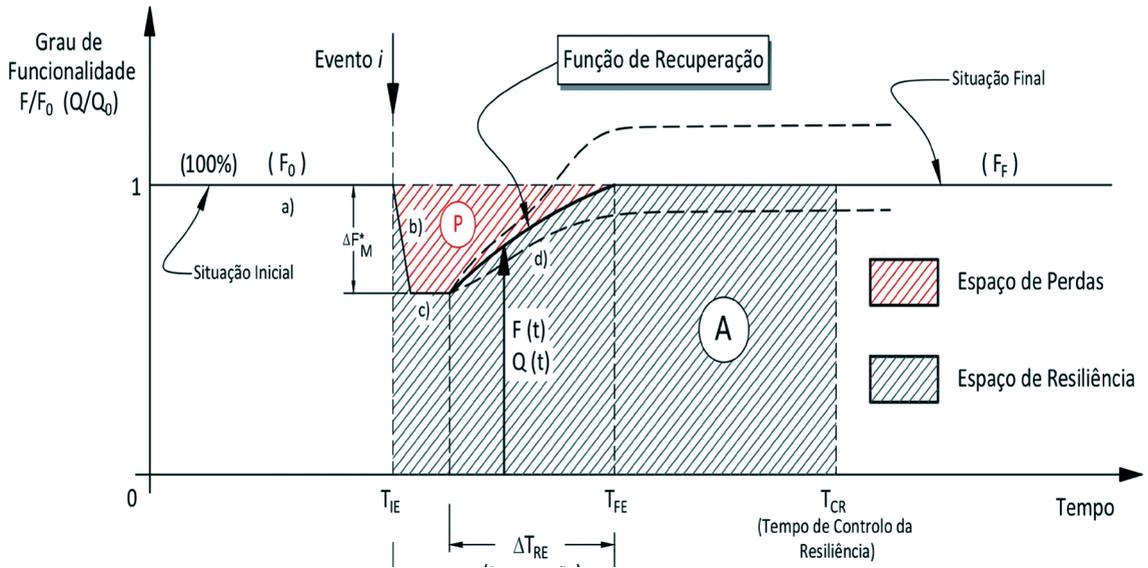


Fig. 1 - Variação de  $F(t)/F(0)$  (ou  $Q(t)/Q(0)$  sendo  $F(0) = 1$  e  $Q(0) = 1$ ), com o tempo após a ocorrência de um evento (Fonte: Betâmio de Almeida, 2020).

Fig. 1 - Variation of  $F(t) / F(0)$  (or  $Q(t) / Q(0)$  where  $F(0) = 1$  and  $Q(0) = 1$ ), with the time after the occurrence of a event (Source: Betâmio de Almeida, 2020).

Em geral, é fixado um instante de referência, ou Tempo de Controlo da Resiliência cuja definição operacional para todas as situações não está ainda reconhecida por todos os autores. Este instante define o limite do designado Espaço de Resiliência (não perturbação pelo evento) no qual se encontra o designado Espaço de Perdas (fig. 1). A Função de Recuperação localiza-se na fronteira entre estes dois Espaços.

Quando os dados e a informação disponíveis são escassos é usual adoptar uma análise simplificada (fig. 2) com uma variação linear entre os instantes e (pontos B e D). O triângulo resultante ABD é designado por alguns autores como o “triângulo da resiliência”.

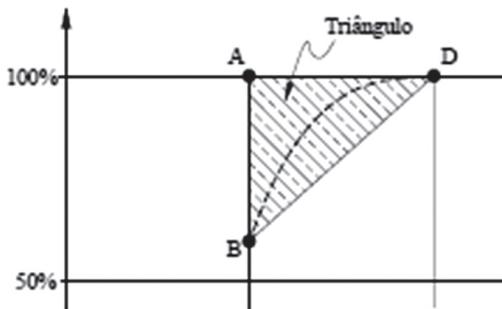


Fig. 2 - Função linear de recuperação e “triângulo de resiliência” (Fonte: Betâmio de Almeida, 2020).

Fig. 2 - Linear recovery function and “resilience triangle” (Source: Betâmio de Almeida, 2020).

Para um caso isolado poder-se-ia considerar a área  $(F(t)/F(0)=F(t)-\text{tempo})$  inferior à curva de recuperação B-D,

entre os instantes  $T_{IE}$  e  $T_{FE}$  e, como sendo uma quantificação possível para caracterizar a resiliência. Contudo, para garantir uma métrica mais eficaz e adimensional, tem vindo a ser adoptado o seguinte procedimento para quantificar o grau de resiliência GR1 (Betâmio de Almeida, 2020):

$$G(R)_1 = \frac{A}{T_{CR} - T_{IE}} = \frac{A}{\Delta T_{CR}} \quad A = \int_{T_{IE}}^{T_{IE} + \Delta T_{CR}} F(t) dt$$

sendo  $\Delta T_{CR} = T_{CR} - T_{IE}$  e A é a área inferior à linha da Função de Recuperação. O valor do denominador corresponde à área  $A^*$  do rectângulo correspondente na base ao intervalo de tempo  $\Delta T_{CR}$  e com a altura  $F(0) = 1$  ou seja com o valor unitário  $GR1 = A/A^*$

Quanto maior o valor de GR1 maior será o grau de resiliência verificado para a situação considerada.

Para análises expeditas e admitindo a variação linear da função de recuperação (hipotenusa do triângulo de resiliência), é possível obter soluções analíticas simples (fig. 3) que só dependem de dois parâmetros:

- A perda inicial decorrente do impacto do evento no sistema, devidamente avaliada;
- O tempo de recuperação do sistema até se obter uma situação semelhante à inicial.

Assim, o grau de resiliência GR2 (Betâmio de Almeida, 2020), pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$G R_2 = 1 - \frac{XY}{2} = 1 - \frac{1}{2} (V_M \cdot \frac{\Delta T_{RE}}{\Delta T_{CR}})$$

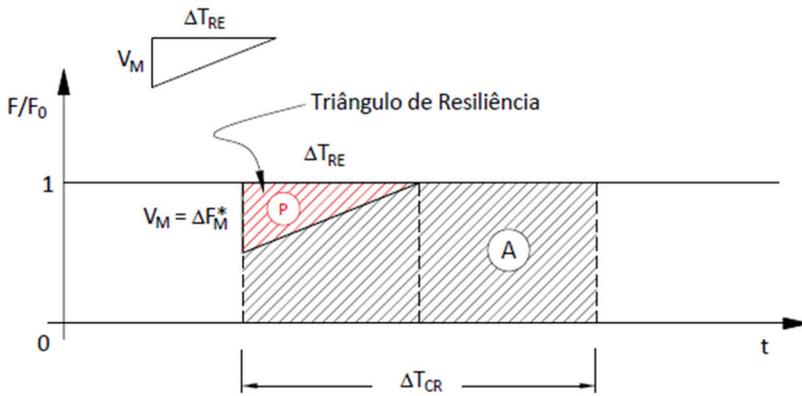


Fig. 3 - Diagrama simplificado para uma métrica da resiliência (Fonte: Betâmio de Almeida, 2020).

Fig. 3 - Simplified diagram for a resilience metric (Source: Betâmio de Almeida, 2020).

sendo  $V_M$  a razão entre a variação (perda) máxima de funcionalidade ou de operacionalidade (diminuição de  $F(t)$ ) decorrente do impacto do evento no sistema e o valor inicial  $F(0)$ , razão designada neste texto por Vulnerabilidade do sistema relativamente ao evento em causa. Nesta métrica simplificada, e sendo fixado o intervalo de Tempo de Controlo, o grau de resiliência depende dos dois factores já referidos:

- *Vulnerabilidade* associada ao evento,  $V_M$ , cujo valor depende da resistência e exposição do sistema ao impacto do referido evento.
- *Tempo de recuperação*,  $\Delta T_{CR}$ , que depende do processo de recuperação após o evento, ou seja, que depende da capacidade de recuperação disponível ou efectivada.

Podem assim ser introduzidos os seguintes termos associados à recuperação:

- *Robustez* =  $1 - V_M$ , ou grau de funcionalidade remanescente imediatamente após o evento;
- *Rapidez* =  $1 / \Delta T_{RE}$ , o inverso da duração da recuperação.

Esta métrica simplificada pode ser aplicada como instrumento didáctico ou como suporte a exercícios de planeamento.

### Apoio à gestão da resiliência

A métrica da resiliência apresentada constitui um meio de avaliar ou de escolher medidas de mitigação e de recuperação para diferentes tipos de eventos tendo em conta a previsão de procedimentos alternativos. A expressão do grau (simplificado) de resiliência GR2 permite orientar a escolha de medidas. Com efeito, para cada valor de grau de resiliência, entre 1 (resiliência máxima ou extrema) e um valor inferior, é possível corresponder diferentes pares de valores de vulnerabilidade inicial (perda relativa de funcionalidade prevista ou real) e de tempos de recuperação.

No planeamento de uma gestão da resiliência baseada na incerteza e na métrica simplificada apresentada, as principais variáveis poderão ser caracterizadas probabilisticamente e o cálculo da resiliência pode ser executado com base no método de Monte-Carlo.

A expressão matemática de GR2 corresponde a uma família de hipérbolas (fig. 4).

As curvas correspondem a diferentes valores de GR2.

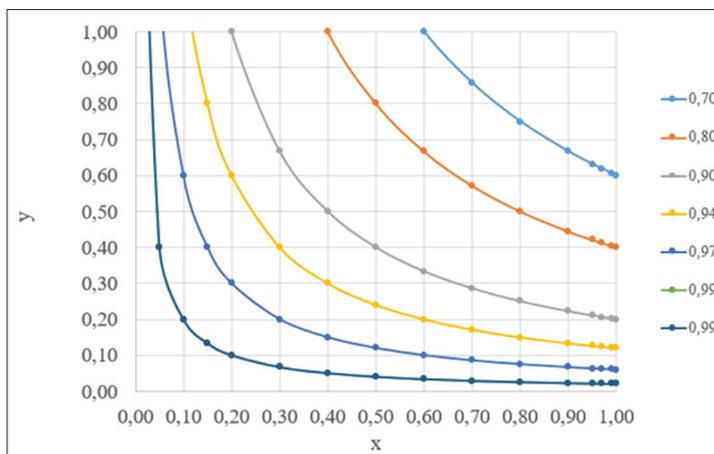


Fig. 4 - Curvas de Grau de Resiliência com base na métrica simplificada com  $x = V_M$  e  $y = \Delta T_{RE} / \Delta T_{CR}$  (Fonte: Betâmio de Almeida, 2020).

Fig. 4 - Degree of Resilience curves based on the simplified metric with  $x = V_M$  e  $y = \Delta T_{RE} / \Delta T_{CR}$  (Source: Betâmio de Almeida, 2020).

Este tipo de gráfico permite estudar diferentes modos de executar uma recuperação tendo em conta o grau de resiliência.

A orientação na seleção de tipos de opções possíveis exige condicionamentos ou critérios operacionais que tornem a solução determinada. Os condicionamentos tipicamente existentes são os seguintes:

- Recursos técnicos e organizacionais disponíveis (capacidade técnica);
- Recursos financeiros disponíveis antes e depois do evento (mobilização e acesso a meios financeiros);
- Pressão social e política (capacidade de mobilização e eficácia de ação).

Admitindo que se pretende, numa situação após um evento, que o grau de resiliência seja superior a um valor determinado (critério de eficiência ou político), a fig. 4 pode ser útil na avaliação de uma estratégia. O processo pode ter os passos seguintes:

- Tendo em conta o valor de  $V_{MO} = X_0$  conhecido a seguir ao evento, um primeiro valor (normal) de  $\Delta T_{REO} = Y_0$  poderá ser estimado por uma fórmula empírica:

$$T_{REO} = X_0 = \alpha V_{MO} \text{ (ou } V_{MO}^n \text{);}$$

- No caso do valor de  $GR2_0$  assim obtido corresponder a um valor inferior ao limite de resiliência pretendido, há que diminuir o valor de  $\Delta T_{REO}$  o que implica ter um modelo que caracterize, nomeadamente, os recursos financeiros, para tal redução ( $Y_0$  para  $Y_1$ ) (admitindo-se que os diferentes recursos operacionais para intervenção possam ser caracterizados pelos recursos financeiros necessários para tal ser possível, pelo que algumas condições especiais poderão não ser caracterizadas deste modo), por exemplo, um modelo linear simples:

$$\begin{aligned} X_0 &= a_x \times Z_x \\ \Delta Y &= Y_0 - Y_1 = a_T \times Z_T \\ Z_x + Z_T &= Z \end{aligned}$$

Sendo  $a_x$  e  $a_T$  coeficientes de conversão de unidades,  $Z_x$  e  $Z_T$  os valores disponíveis para a recuperação normal da perda  $X_0$  e para a redução do valor de  $Y$  e  $Z$  a capacidade financeira total disponível.

- Com base nesta informação é possível obter o valor máximo para a redução do tempo de recuperação:  $\Delta Y_1 = a_T (Z - Z_x)$ . O aumento da rapidez (diminuição do tempo de recuperação relativamente ao valor normal) implica um excesso de recursos ( $Z > Z_x$ ).

O aumento do grau de resiliência possível será  $\Delta GR = X_0 \times \Delta Y_1$ , donde:  $GR2_1 = GR2_0 + \Delta GR$ .

Assim, simplificando e admitindo que existe uma capacidade financeira disponível para recuperação que excede o custo previsto para recuperar totalmente o grau de funcionalidade do sistema com um prazo normal

de recuperação será então possível impor um tempo de recuperação menor de  $\Delta Y$  e aumentar assim o valor do grau de resiliência  $GR2$  para um valor desejado.

### Fontes bibliográficas

É vasta a bibliografia sobre a métrica da resiliência que nos últimos 15 anos ficou disponível. A métrica simplificada apresentada no presente texto baseia-se em conceitos desenvolvidos por M. Bruneau (2006) e C. Zobel (2011; 2012; 2020) e que têm sido aplicados a sistemas muito diversos. Outros autores têm desenvolvido modelos de resiliência mais complexos ou sofisticados. Para infraestruturas críticas Caversan e Solomos (2014) são autores de uma síntese bibliográfica muito interessante.

As referências bibliográficas anexas ao presente texto constituem uma amostra das fontes bibliográficas sobre métricas de resiliência aplicadas a diferentes sistemas, muitas das quais podem ser encontradas na internet. Por sua vez, estas referências incluem outras referências bibliográficas.

### Considerações finais

A gestão da resiliência tem um carácter muito concreto e é importante socialmente no caso do sistema em causa corresponder a um território, uma região ou um país, excedendo as funções usuais das organizações de protecção civil. Esta gestão implica a definição de objetivos a atingir, o modo de atuação e uma capacidade de preparação e de monitorização das capacidades potenciais de atuação, nomeadamente nos seguintes aspetos:

- Capacidade de informação para caracterização e disponibilidade de dados abrangendo as diferentes dimensões a ter em conta;
- Capacidade de desenvolvimento de cenários possíveis e de execução de simulações de situações e procedimentos de resposta, tendo em conta as incertezas associadas;
- Boa capacidade de integração da gestão do risco como antecipação de uma situação com a gestão pós evento;
- Vontade e capacidade políticas para apoio da preparação permanente em particular no que respeita a definição de objetivos e a mobilização de recursos excedentários em época anterior a um evento mas considerados necessários para garantir determinados graus de resiliência superiores ao normal.

### Referências bibliográficas

Alexander, D. E. (2013). Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 2707-2716.

- Arcidiano, V., Cimellaro, G. P. e Reinhorn, A. M. (2011). Software for measuring disaster community resilience according to the PEOPLES methodology, *III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics on Earthquake Engineering*.
- Ayyub, B. M. (2015). Practical resilience metrics for planning, design and decision making, *ASCE-ASME, J. Risk Uncertainty Eng. Syst.*, Part A: Civ. Eng.
- Barker, K., Ramirez-Marquez, J. E., Rocco, C. M. (2013). Resilience-based network component importance measures, *Reliability Engineering and System Safety*, 117, 89-97.
- Betâmio de Almeida, A. (2011). *Incertezas e Riscos. Conceptualização Operacional*, Coleção Água, Edição APRH-Esfera do Caos.
- Betâmio de Almeida, A. (2020). Resiliência e Gestão do Risco. Série Estudos Cindinicos, volume 9, Madeira Região Resiliente. Aprender com o Passado. Editor: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra, 85-98.  
DOI: [https://doi.org/10.34037/978-989-54942-9-3\\_9\\_3](https://doi.org/10.34037/978-989-54942-9-3_9_3)
- Bruneau, M. e Reinhorn, A. M. (2006). Overview of the resilience concept, *Proc. 8<sup>th</sup> National Conference on Earthquake Engineering*, paper 2040.
- Caversan, A. e Solomos, G. (2014). *Review on resilience in literature and standards for critical built-infrastructure*, JRC Science and Policy Report, European Commission, 41 p.
- Cimellaro, G. P., Reinhorn, A. M. e Bruneau, M. (2010). Framework for analytical quantification of disaster resilience, *Engineering Structures*, 32, 3639-3649.
- de Castro, F. V. e Lourenço, L. (2017). Resiliência, população e território: contributo conceptual para a terminologia dos riscos. *Territorium*, (24), 5-13.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_24\\_1](https://doi.org/10.14195/1647-7723_24_1)
- Gilbert, S.W. (2010). *Disaster resilience: a guide to the literature*, NIST Publication 1117.
- Li, Y., Zobel, C.W., Seref, O., Chantfield, D. (2019). Network characteristics and supply chain resilience under conditions of risk propagation, *International Journal of Production Economics*.
- Linkov, I. e Palma-Oliveira, J. M. (Eds.). (2017). *Resilience and risk: Methods and application in environment, cyber and social domains*. Springer.
- Sharma, N., Tabandeh, A., Gordoni, P. (2017). *Resilience analysis: a mathematical formulation to model resilience of engineering systems*, Sustainable and Resilient Infrastructure.
- Tang, J. (2019). Assessment of resilience in complex urban systems, in: Leal Filho, W., Azul, A., Brandi, L., Ozuyar, P., Wall, T. (eds), *Industry, Innovation and Infrastructure*, UN Sustainable Development Goals.
- Tiernay, K. e Bruneau, M. (2007). Conceptualizing and measuring resilience. A key to disaster loss reduction, *TR News* 250. May-June, 14-17.
- Tsionis, G. (2014). *Seismic resilience: concept, metrics and integration with other hazards*. Joint Research Centre, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi, 10, 713724.
- Wenger, C. (2017). Technical paper: Translating resilience theories into disaster management policies, *Bushfire and Natural Hazards CRC* (Australia), 28 p.
- Zobel, C. W., Baghersad, M. (2020). Analytically comparing disaster resilience across multiple dimensions, *Socio-economic Planning Sciences*, 69 p.
- Zobel, C. W. e Khansa, L. (2012). *Quantifying cyberinfrastructure resilience against multi-event attack*, *Decision sciences*, 15 p.
- Zobel, C. W. (2011). Representing perceived tradeoffs in defining disaster resilience. *Decision Support systems*, 50, 394-403.
- Zobel, C. W. (2011). Representing the multi-dimensional nature of disaster resilience, *Proc. 8<sup>th</sup> international ISCRAM Conference*, Lisbon, 5 p.