

## **Estratégias de gestão de riscos naturais em edifícios e obras de betão armado com base na ISO 22485**

**Marta Duarte**

*IST, Lisboa, Portugal, [marta.duarte@tecnico.ulisboa.pt](mailto:marta.duarte@tecnico.ulisboa.pt)*

**Nuno Marques de Almeida**

*IST, Lisboa, Portugal, [nunomarquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt](mailto:nunomarquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt)*

**Maria João Falcão Silva**

*LNEC, Lisboa, Portugal, [mjoaofalcao@lnec.pt](mailto:mjoaofalcao@lnec.pt)*

**Filipa Salvado**

*LNEC, Lisboa, Portugal, [asalvado@lnec.pt](mailto:asalvado@lnec.pt)*

### **Resumo**

A resiliência de edifícios e obras de engenharia civil tem atraído a atenção de diversos intervenientes, incluindo profissionais de engenharia de várias áreas, cientistas, organismos de normalização, investidores e instituições financeiras, agências reguladoras, entre outros. Este interesse decorre da visão mais ampla de que a resiliência é uma questão fundamental para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), nomeadamente no que diz respeito às questões humanitárias e à necessidade de fornecer à Humanidade, incluindo a grupos mais vulneráveis, um ambiente mais adaptado a riscos de desastre futuros. Os esforços recentes ao nível da normalização (ISO 22845) conduziram a um panorama estruturado da informação relevante sobre resiliência de edifícios e obras de engenharia civil, nomeadamente no que diz respeito ao próprio conceito e aos riscos e contramedidas. Com relação aos conceitos, a ISO 22845 classifica resiliência em diferentes contextos e apresenta definições de resiliência que estão em desenvolvimento.

O presente artigo baseia-se nesses esforços e discute o impacto que os requisitos da ISO 22485 podem ter no aprimoramento da compreensão conceptual da resiliência no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) e no aprimoramento de estratégias para a gestão de riscos naturais extremos (climáticos e ações sísmicas). Tem por objetivo analisar os efeitos no custo do ciclo de vida da incorporação de contramedidas relacionadas com redução de riscos naturais extremos, com vista a aumentar a resiliência em edifícios e obras de betão armado. Pretende-se também apresentar uma proposta de modelo que organiza um sistema de classificação de resiliência de edifícios.

**Palavras-chave:** Resiliência; Gestão de riscos; Edifícios; Obras de betão armado

### **1 INTRODUÇÃO**

A resiliência de edifícios e obras de engenharia civil tem atraído a atenção de várias intervenientes, incluindo profissionais de engenharia de diversas áreas, cientistas, organismos de normalização,

investidores e instituições financeiras, agências reguladoras, grupos de utilizadores de vários, bem como de serviços administrativos a nível nacional e regional. Este interesse decorre da visão mais ampla de que a resiliência é uma questão fundamental para alcançar os *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável* das Nações Unidas, nomeadamente no que diz respeito a questões humanitárias e à necessidade de fornecer ao público em geral, incluindo os grupos vulneráveis, um ambiente que se possa melhor adaptar a futuros riscos de desastres [1].

Os recentes esforços de normalização conduzem à consciencialização da necessidade de um panorama estruturado de informação sobre a resiliência de edifícios e obras de engenharia civil, nomeadamente no que diz respeito ao próprio conceito e aos riscos e medidas de desastres. Em relação a conceitos fundamentais, a ISO 22845 classifica a resiliência em diferentes contextos, bem como as definições de resiliência que se encontram atualmente em desenvolvimento. Para riscos de desastres naturais, esta norma internacional define três tipos: i) induzidos pelo clima, ii) induzidos por sismos; e iii) induzidos por mão humana. As medidas incluídas neste documento sintetizam a informação relevante para a estratégia e, nomeadamente, sob a forma de normas, orientações, entre outros [2].

É apresentado um modelo que organiza um sistema de classificação de resiliência de edifícios e aplicar a um caso de estudo. Em futuras publicações será apresentado a sua aplicação a um caso de estudo real.

## **2 RESILIÊNCIA E RISCOS DE DESASTRES NATURAIS**

Uma vez que a resiliência representa a capacidade que um edifício tem de resistir, de absorver, de acomodar, de se adaptar, de se transformar e de se recuperar dos efeitos do perigo, é necessário compreender a importância dos riscos de desastres que são um pré-requisito para o desenvolvimento de normalização de resiliência para edifícios e obras de engenharia civil. Existem diferentes utilizações do conceito de “resiliência” em torno de quatro conceitos básicos: i) resiliência como recuperação do trauma e restabelecimento do equilíbrio; ii) resiliência como sinónimo de robustez; iii) resiliência como o oposto de fragilidade, ou seja, como extensibilidade graciosa quando a surpresa desafia os limites; e iv) resiliência como arquiteturas de rede que podem sustentar a capacidade de se adaptar a surpresas futuras conforme as condições evoluem. São referidas duas categorias de riscos de desastres naturais relacionados com edifícios e obras de engenharia civil: i) induzidos pelo clima; ii) induzida por sismos. Considerando que a vida útil dos edifícios e obras de engenharia civil é de dezenas ou mesmo centenas de anos, também é necessário considerarem-se as possibilidades futuras de riscos eventos naturais extremos [16].

### **2.1 Riscos induzidos pelo clima**

Em linha com o definido na norma ISO 22485, considera-se que a frequência e as perdas económicas dos desastres meteorológicos globais têm uma tendência obviamente ascendente, sendo prejudiciais à segurança da vida e da propriedade humana, bem como a um desenvolvimento económico e social sustentável.

Olhando para as próximas décadas do século XXI, os riscos climáticos globais continuarão a aumentar devido às mudanças climáticas e ao aumento da exposição e vulnerabilidade trazida pela urbanização,

alta temperatura, baixa temperatura, forte precipitação, ciclones tropicais, seca e aumento do nível do mar podem ter certo impacto em edifícios e obras de engenharia civil pode ter certo impacto em obras de construção e engenharia civil. Esses impactos têm implicações importantes por considerar o padrão de resiliência de edifícios e obras de engenharia civil a longo prazo [16].

Considerando a alta temperatura, a temperatura máxima diária extrema de 1 em 20 anos provavelmente aumentará cerca de 1°C a 3°C e 2°C a 5°C em meados e no final do século XXI, respetivamente, dependendo de diferentes regiões e cenários de emissões. Um dia mais quente 1 em 20 anos provavelmente se tornará um evento 1 em 2 e 1 em 5 anos até o final do século XXI para os cenários de alta e baixa emissão, respetivamente. Os riscos relacionados com o calor aumentam com graus maiores de aquecimento. Assim, 13,8% da população mundial estaria exposta a ondas de calor severas pelo menos uma vez a cada 5 anos sob 1,5°C de aquecimento global, com um aumento de três vezes (36,9%) sob aquecimento de 2°C. Em relação a baixas temperaturas, dias frios e noites frias tendem a se tornar muito menos frequentes. Reduções adicionais no número de dias / noites frios e um aumento na temperatura geral dos extremos frios ocorreriam abaixo de 1,5°C de aquecimento global em comparação com o clima atual (1°C de aquecimento), com novas mudanças ocorrendo em torno de 2°C do aquecimento global aquecimento. Em algumas regiões, estima-se que a mortalidade relacionada com o frio diminua com o aumento das temperaturas [16].

No que diz respeito à precipitação forte, uma quantidade máxima de precipitação diária anual de 1 em 20 anos provavelmente se tornará um evento em 1 em 5 a 1 em 15 anos até o final do século 21 na maioria das regiões sob emissões mais elevadas cenários. O aumento projetado da forte precipitação contribuirá para as inundações locais geradas pela chuva em algumas bacias hidrográficas ou regiões. Na região global de monções terrestres, estima-se que 25% (18% a 41%) e 36% (22% a 46%) da área e da população, respetivamente, poderiam ser aliviados dos eventos de referência de 1 em 20 anos ao longo o nível atual, se o aquecimento global fosse limitado a 1,5°C em vez de 2°C [16].

A frequência global de ciclones tropicais diminuirá ou permanecerá essencialmente inalterada no século XXI. A velocidade média máxima do vento dos ciclones tropicais provavelmente aumentará, embora seja possível que aumentos não ocorram em todas as bacias oceânicas. Há evidências limitadas de que o número global de ciclones tropicais será menor abaixo de 2°C de aquecimento global em comparação a abaixo de 1,5°C de aquecimento, mas com um aumento no número de ciclones muito intensos. Nas regiões costeiras, o aumento da precipitação intensa associada a ciclones tropicais, combinado com o aumento do nível do mar, pode levar a um aumento de inundações [16].

Prevê-se que a seca se intensificará no século XXI em algumas estações e áreas. E estima-se que a seca extrema atue como o estado climatológico normal até o final do século XXI sob os cenários de alta emissão em muitos locais de latitudes médias. A duração das secas também deve aumentar em algumas regiões do planeta [16].

Por último, no que se refere ao nível do mar prevê-se, no final do século XXI, uma subida entre 0,26m e 0,82m consoante a área geográfica [16].

Alguns países e organizações propuseram iniciativas e planos de ação para abordar as mudanças climáticas, visando partes de cidades, comunidades, edifícios, infraestruturas, etc., que podem ter certas implicações para a resiliência de edifícios e obras de engenharia civil [16].

## **2.2 Riscos induzidos por sismos**

Tendo em conta o registado na norma ISO 22485, verifica-se que risco sísmico global se mantém severo na atualidade. De facto, as ações sísmicas são dos riscos naturais de consequências mais catastróficas sobre os seres humanos. Com a rápida urbanização nos anos mais recentes, uma grande percentagem da população bem como das construções está inevitavelmente muito exposta ao risco sísmico. Da mesma forma, o envelhecimento e as alterações na rigidez e resistência das construções podem igualmente prejudicar de forma muito severa a segurança e manutenção das estruturas de engenharia existentes. É desafiante identificar requisitos para a resiliência por meio de métodos de resistência sísmica tradicionais. Em ações sísmicas recentes, muito embora alguns dos edifícios não tenham colapsado, verifica-se que muito dificilmente poderiam ser reparados devido aos danos severos identificados, o que causa inevitavelmente enormes perdas económicas e um impacto social muito significativo. As questões referidas indicam que a melhoria da resiliência em estruturas e comunidades se torna essencial

## **3 CONTRAMEDIDAS**

### **3.1 Estratégia**

Atualmente, a prática e a investigação relacionada com estratégias de resiliência de edifícios e obras de engenharia civil progrediram até certo ponto, no entanto ainda há desafios a ultrapassar [16]. Em diferentes formas, várias estratégias estão relativamente consolidadas em normas e diretrizes; algumas são implementados em certos casos; e algumas ainda estão em fase de desenvolvimento [16].

Para diferentes tipos de riscos de desastres, diversos sistemas são de amplo espectro, visando vários tipos de riscos de desastres, enquanto outros se concentram num único tipo. Pensando no futuro e na sua segurança, algumas estratégias relacionadas com o clima consideram o impacto das mudanças climáticas nos edifícios e nas obras de engenharia civil.

Na Tabela 1 são apresentadas fontes típicas das estratégias propostas de acordo com a dimensão dos eventos extremos naturais (Climáticos - C, Sísmicos - S) e sua formas (Sistema - Sist, Caso - Cas, Investigação - Inv), de acordo com a ISO 22845.

**Tabela 1. Recursos típicos para estratégias de resiliência**

Recurso	Riscos / Ações		Formato		
	C	S	Sist	Cas	Inv
Community Resilience Planning Guide for Buildings and Infrastructure Systems - Volume 1	x	x	x		
CRBCPI	x		x		
RELi	x	x	x		
LEED IPpc98/IPpc99/IPpc100	x	x	x		
BREEAM Adaption o climate change	x		x		
DGNB criteria "Local environment"	x	x	x		
Climate Resilience Design Guidelines	x		x		
Durability and Climate Change	x				x
Inundation Mapping	x				x
RDI	x	x		x	x
Boston's Spaulding Rehabilitation Center designed with rising sea level in mind	x			x	
Cognitive infrastructure - a modern concept for resilience performance under extreme events	x	x			x
Strict building codes helped Anchorage withstand quake		x		x	
Earthquake Disaster Simulation of Civil Infrastructures: From Tall Buildings to Urban Areas		x			x

### 3.2 Medições

A medição da resiliência de edifícios e obras de engenharia civil tem avançado até certo ponto. As características dos dados recolhidos são semelhantes às das estratégias. Alguns deles estão relativamente consolidados e se originaram normas, ferramentas de classificação, etc., e outros ainda estão em fase de desenvolvimento. Uns são para vários tipos de riscos de desastre, enquanto outros são para um único tipo. Como os limites entre estratégias e medidas de resiliência por vezes não são claros, os respetivos recursos recolhidos podem conter os dois tipos de informação.

Na Tabela 2 estão resumidas medidas de resiliência típicas de acordo com a categoria de desastres de eventos extremos naturais (Climáticos - C, Sísmicos - S), de acordo com a ISO 22845.

**Tabela 2. Recursos típicos para medições de resiliência**

Recurso	Riscos/Ações	
	C	S
USRC Building Rating System	x	x
B-READY	x	x
FORTIFIED Commercial	x	
The Resilient City		x
Seismic Performance Assessment of Buildings		x
Standard for Seismic Resilience Assessment of Buildings		x
REDi		x

## 4 SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE RESILIÊNCIA

### 4.1 Estruturação

O resultado da revisão da literatura [16] foi que a resiliência de ativos construídos face a riscos naturais pode ser estruturada em cinco dimensões: ambiental, económica, organizacional, social e técnica. Estas dimensões estão alinhadas com: i) os pilares essenciais para o desenvolvimento económico, social e ambientalmente sustentável definidos pela ONU na ECO-92 Agenda XXI (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento); ii) as quatro dimensões técnicas, organizacionais, sociais e económicas [3]; e iii) as dimensões mencionadas em vários outros documentos selecionados (variando de 3 a 10 dimensões), tendo em vista que foram utilizadas terminologias diferentes para descrever a mesma característica e a necessidade de evitar a sobreposição de conceitos [16].

O sistema de classificação de resiliência para edifícios proposto procura ir ao encontro da norma ISO/TR 22845 focando-se nos desastres naturais cuja exposição nacional é elevada ou média, adaptado de [4]: Sismos, inundações (urbanas, rio, mar), incêndios e tsunamis. O modelo proposto tem uma estrutura hierárquica com três camadas (dimensões, indicadores e parâmetros) [4] seguindo os seguintes princípios: i) Minimizar a redução de desempenho; ii) Minimizar o tempo de recuperação após evento e iii) Maximizar a capacidade de recuperação.

A definição de indicadores e parâmetros visa avaliar a resiliência e facilitar os procedimentos de comunicação e consulta. Os parâmetros subdividem os indicadores e, por sua vez, cada conjunto de indicadores expressa de forma mais detalhada cada uma das dimensões acima mencionadas. Sua seleção foi comprovada por meio de revisão de literatura, tendo em vista que [16]: i) os parâmetros selecionados são possíveis de medir; ii) há informações disponíveis para sua quantificação e iii) é desejável evitar sobreposições ou repetição de métricas. Uma lista inicial de mais de 200 indicadores foi revista e reduzida para 16 indicadores, que foram subdivididos em 75 parâmetros que melhor se adequam ao propósito do sistema de classificação pretendido. Os principais motores do processo de revisão foram a eliminação de repetições de indicadores e daqueles que expressam uma perspectiva ao nível das preocupações urbanas e comunitárias, mas que não melhoram necessariamente a resiliência ao nível dos ativos construídos. Os critérios de avaliação definidos para cada parâmetro foram inicialmente estabelecidos com base nos limiares de diferentes métricas. Espera-se que o processo de revisão e calibração dos indicadores, parâmetros e critérios de avaliação seja iterativo. Seguindo a ISO 31000, este processo deve ser monitorado quanto à influência de julgamentos ou opiniões, falta de dados e dificuldade de quantificação [5].

O modelo proposto que organiza um sistema de classificação proposto baseia-se em sistemas de classificação de resiliência existentes [4,6-8] e sistemas de classificação de sustentabilidade [9-12] que estão razoavelmente amadurecidos. É adotado um método de classificação semiquantitativo. Desta forma é possível graduar níveis progressivos de desempenho para cada indicador garantindo: i) linguagem acessível, quer em termos como em conceitos, que permite a compreensão por indivíduos que trabalham ou são qualificados na área de gestão de instalações e ativos construídos relacionados, ii) critérios aplicáveis a edifícios com diferentes tipos de uso e iii) identificação do nível de atenção necessário para as análises de indicadores e dimensões [5]. Seguindo [9], a escala adotada observável atende às recomendações da ISO 11863 [11] por considerar 5 níveis diferentes expressos em números inteiros de um dígito em uma escala de 1,3,5,7 e 9, em que 1 corresponde ao pior desempenho e 9 ao melhor (Tabela 3).

**Tabela 3 – Método de pontuação**

<b>Pontuação</b>	<b>Calibração genérica</b>
9	Excecionalmente exigente
[7,9[	Claramente mais alto do que o normal, mas não excecionalmente exigente
[5,7[	Típico, médio ou normal

[3,5[	Claramente inferior ao normal, mas aceitável em algumas situações devidamente justificadas
[1,3[	Excepcionalmente menos do que o normal, mas aceitável em situações excecionais devidamente justificadas

Por razões de simplicidade, a ponderação de cada parâmetro é considerada de igual importância. Isto permite a identificação do desempenho geral de um edifício e o desempenho dos seus aspetos individuais. Para uma interpretação mais clara da pontuação final, a pontuação numérica pode ser transposta em classes de resiliência de F a A ++ (Figura 1) permitindo que a diferenciação dos níveis de resiliência seja facilmente compreendida e intuitiva [16].

Classe	Pontuação média
A++	[8,9]
A+	[7,8[
A	[6,7[
B	[5,6[
C	[4,5[
D	[3,4[
E	[2,3[
F	[1,2[

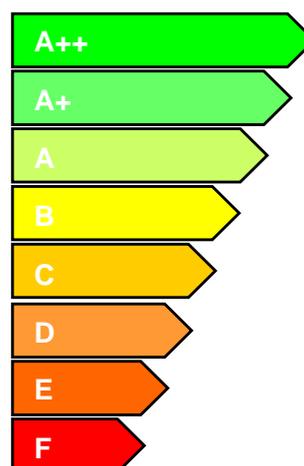


Figura 1 - Escala de avaliação proposta

## 4.2 Proposta

O modelo proposto possui 5 dimensões (ambiental, económica, organizacional, social, técnica), 16 indicadores e 75 parâmetros [11].

A dimensão *Ambiental* (D1) inclui 4 indicadores (I1 - Sismo; I2 - Tsunami e efeito de maré; I3 - Inundação; I4 - Incêndio) e 25 parâmetros (P1- Zonamento sísmico - tipo 1 EC8; P2 - Zonamento sísmico - tipo 2 EC8; P3 - Vulnerabilidade sísmica dos solos PDM; P4 - Inclinação do terreno; P5 - Tipo de solo EC8; P6 - Distância a falésias; P7 - Altitude do terreno; P8 - Distância à costa; P9 - Distância ao rio; P10 - Barreiras naturais na envolvente; P11 - Barreiras feitas pelo homem na envolvente; P12 - Objetos móveis; P13 - Filas edificadas entre a costa e o edifício; P14 - Suscetibilidade ao efeito de

maré direto PDM; P15 - Localização relativa; P16 - Distância ao rio; P17 - Barreiras naturais na envolvente; P18 - Barreiras feitas pelo homem na envolvente; P19 - Vulnerabilidade às inundações PDM; P20 - Distância à vegetação; P21 - Densidade da vegetação; P22 - Estado de manutenção da vegetação; P23 - Tipo de vegetação; P24 - Edifícios adjacentes; P25 - Proximidade zona industrial). Esta dimensão busca fomentar uma ampla compreensão das questões ambientais, com foco na vulnerabilidade da área para desastres naturais das categorias superior e média adaptadas [4]. Os parâmetros foram calibrados para o caso de Portugal, fornecendo uma visão geral das ameaças potenciais bem como a determinação das características intrínsecas da área de estudo, tais como altitude, distância ao mar e rio, declive, etc., que aumentam a propensão ao determinado risco. A avaliação relacionada com desastres naturais deve ser realizada para o presente e futuro, considerando que as mudanças climáticas modificam a frequência e intensidade de desastres.

A dimensão *Económica* inclui 2 indicadores (I1 – Seguro; I2 - Implicações financeiras e estratégicas) e 3 parâmetros (P1 - Seguro contra desastres naturais; P2 - Plano financeiro; P3 - Avaliação económica do tempo de inatividade). Os aspetos económicos são cruciais para tornar uma edificação resiliente e podem afetar bastante a qualidade do edifício, principalmente durante e após sofrer os impactos de um desastre natural [12]. Estudos mostram que uma boa gestão econômica e disponibilidade financeira consistente melhoram a resposta aos desastres naturais, e o período de recuperação é reduzido. Esta dimensão está relacionada com a capacidade monetária do proprietário face às perturbações impostas, incluindo despesas com reparações, perdas de bens e perdas monetárias com atividades temporariamente encerradas.

A dimensão *Organizacional* inclui 2 indicadores (I1 - Organização interna; I2 - Organização externa) e 10 parâmetros (P1 - Plano continuidade de negócios; P2 - Análise gestão de riscos; P3 - Plano de recuperação pós desastre; P4 – Rotina; P5 - Planos e exercícios pós desastre; P6 - Aprendizagem e atualização; P7 - Dados de eventos destrutivos; P8 – Responsável; P9 - Conformidade com o cenário regulatório existente; P10 - Normas externas de construção resiliente). A capacidade organizacional de edifícios está relacionada à capacidade de gestão em situações de emergência, ou seja, tomada de decisão pelo proprietário em relação à identificação, monitorização e gestão de risco. Esta dimensão centra-se no pré-desastre, promovendo ações preventivas que reduzam os impactos dos desastres naturais, garantindo um bom desempenho do edifício, minimizando as consequências nefastas e criando o mínimo transtorno para os utilizadores [13]. Tópicos fora do alcance do proprietário também foram considerados, como a conformidade com o cenário regulatório existente e o uso de outras normas de resiliência. Estes indicadores garantem a segurança da construção e contribuem para a preparação dos edifícios face aos obstáculos existentes, auxiliando na identificação e priorização problemas.

A dimensão *Social* inclui 2 indicadores (I1 - Infraestruturas de emergência; I2 - Responsabilidade Social) e 7 parâmetros (P1 - Acesso a esquadras; P2 - Acesso a postos de bombeiros; P3 - Acesso a infraestrutura de emergência; P4 - Acesso a hospitais e centros de saúde; P5 - Ocupantes; P6 - Divulgação; P7 - Vulnerabilidade social). A dimensão social procura relacionar o edifício com a sociedade e comunidade envolvente, que estão intrinsecamente relacionadas, especialmente em tempos de stress, cuja resposta individual é difícil de identificar e parametrizar, mas é importante considerar. Estudos em comunidades resilientes mostram que cidades atentas e sensíveis aos indivíduos estão mais bem preparadas para desastres, reduzindo suas consequências, [14-15], o

mesmo pode ser dito para edifícios. Por este motivo, fatores como a vulnerabilidade social do edifício que corresponde ao número de idosos, crianças e deficientes foram considerados. Além disso, pretende-se enfatizar o papel dos cidadãos na resposta a desastres e a proximidade do edifício às infraestruturas da comunidade, como bombeiros, polícia estações, hospitais, etc.

A dimensão *técnica* inclui 6 indicadores (I1 - Conservação; I2 - Acessibilidade; I3 - Segurança sísmica do edifício; I4 - Segurança do edifício contra incêndios; I5 - Segurança do edifício contra inundações; I6 - Segurança do edifício contra tsunamis) e 29 parâmetros (P46 - Ano de construção; P47 - Sistema estrutural; P48 - Estado de conservação; P49 - Densidade de edifícios; P50 - Rotas alternativas; P51 - Características da rua; P52 - Irregularidade em planta; P53 - Irregularidade em altura; P54 - Interação com edifícios adjacentes; P55 - Desnível lajes; P56 - Junta de dilatação; P57 - Afastamento entre vãos sobrepostos; P58 - Instalações gás; P59 - Sistemas de controlo e evacuação de fumo; P60 - Meio de combate intrínsecos; P61 - Instalações elétricas; P62 - Compartimentação corta-fogo; P63 - Equipa de segurança; P64 - Hidrantes exteriores; P65 - Sinalização e iluminação de emergência; P66 - Extintores; P67 - Detecção e alarme de incêndio; P68 - Caminhos de fuga; P69 - Barreiras; P70 - Sistemas de bombagem contra inundações; P71 - Exposição das paredes; P72 - Número de pisos (inundações); P73 - Número de pisos (tsunami); P74 - Orientação; P75 - Hidrodinâmica do piso térreo). Esta dimensão concentra-se nas características técnicas e físicas do edifício e da sua envolvente, que são cruciais para garantir a resistência aos desastres naturais e minimizar os danos causados [13, 16]. Esta dimensão deriva de abordagens técnicas e relaciona-se à componente de engenharia de um edifício, que inclui segurança estrutural, mecânica, elétrica e hidráulica e a avaliação das vulnerabilidades físicas do edifício em face dos desastres naturais identificados acima. As estratégias de redundância e robustez do edifício estão incluídas nesta dimensão, como melhorias além do código de construção ou instalação de sistemas de proteção contra desastres naturais [12]. Características intrínsecas da construção como idade, número de andares, irregularidades, qualidade de construção, atual condição e estado de conservação são consideradas nesta dimensão. As características da envolvente também devem ser analisadas, especialmente por causa de seu impacto sobre recuperação pós-desastre [13] como a acessibilidade do edifício que depende de vários aspetos, como a existência de rotas alternativas, densidade do edifício e características das ruas. Encontra-se atualmente em desenvolvimento a aplicação deste modelo proposto a um caso de estudo real que será objeto de futuras publicações.

## 5 CONCLUSOES

O trabalho apresentado contribui com uma discussão sobre formas de medir a resiliência de ativos construídos, nomeadamente com base num sistema de classificação de resiliência composto por 5 dimensões, 16 indicadores e 75 parâmetros. O sistema de classificação proposto cobre não apenas as qualidades intrínsecas do edifício, mas também sua interdependência com a comunidade, arredores e utilizadores em contexto pós-desastre. O sistema de classificação de resiliência proposto permite que diferentes partes interessadas identifiquem com eficiência e rapidez quais os aspetos que devem ser melhorados nos ativos construídos para que seja possível estabelecerem-se prioridades de investimento com vista a aumentar a sua resiliência face a eventos extremos. Esta informação pode ser útil para todas as partes interessadas envolvidas, ou seja, proprietário, gestores de ativos,

seguradoras e entidades municipais, permitindo uma melhor perceção da importante contribuição dos ativos construídos para a construção de comunidades resilientes. No entanto, ainda se torna necessário o desenvolvimento de trabalho complementar no sentido de implementar a avaliação proposta em número e diversidade representativos das tipologias de ativos construídos, bem como estender o âmbito do sistema de classificação multivariável proposto no que diz respeito a outros tipos de riscos (por exemplo riscos induzidos pelo Homem) e à identificação de contramedidas e sua classificação.

## REFERÊNCIAS

- [1] Sarhosis, V.; Dais, D.; Smyrou, E. *et al.* (2019) Evaluation of modelling strategies for estimating cumulative damage on Groningen masonry buildings due to recursive induced earthquakes. *Bull Earthquake Eng* 17, pp. 4689-4710. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-00549-1>
- [2] Bernard, J.; Westergaard, H. (2011). Concrete durability in marine environments. *Proc. of 9<sup>th</sup> Int. Conference on Durability*, 7, pp. 215-223.
- [3] Michel Bruneau, Stephanie E. Chang, Ronald T. Eguchi, George C. Lee, Thomas D. O'Rourke, Andrei M. Reinhorn, Masanobu Shinozuka, Kathleen Tierney, William A. Wallace, Detlof von Winterfeldt (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. <https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- [4] European civil protection and humanitarian aid operations (2019). Peer review – report Portugal 2019. European Union Civil Protection.
- [5] NP ISO 31000 (2018). Gestão do risco – linhas de orientação. Lisboa: IPQ.
- [6] Burroughs, S. (2017). Development of a Tool for Assessing Commercial Building Resilience. University of Canberra, ACT 2601 Australia. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.263>.
- [7] <https://www.dnv.com/services/b-ready-106852>.
- [8] (2017). Voluntary resilience standards. Meister Consultants Group, Inc.
- [9] Almeida, N. (2011). Modelo de gestão técnica de edifícios baseada no desempenho e no risco. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- [10] ISO 11863 (2011). Buildings and building-related facilities, Functional and user requirements and performance, Tools for assessment and comparison.
- [11] Duarte, M., Almeida, N., Falcão Silva, M.J.. (2021) Resilience rating system for buildings and civil engineering works, 15WCEAM, agosto, Brasil.).
- [12] Cerè, G.; Rezgui, Y.; Zhao, W. (2019). Urban-scale framework for assessing the resilience of buildings informed by a delphi expert consultation. *Int. J. Disaster Risk Reduction*, vol. 36, P.101079. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101079>.

- [13] Atrachali, M.; Ghafory-ashtiany, M.; Amini-hosseini, K. (2019). Toward quantification of seismic resilience in Iran: Developing an integrated indicator system. *Int. J. Disaster Risk Reduction*, vol. 39, p. 101231. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101231>.
- [14] Cutter, S.; Boruff, B.; Shirley, W. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, vol. 84(2).
- [15] Cutter, S., Mitchell, J., Scott, M. (2000). Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 90(4), pp. 713-737.
- [16] Duarte, M. (2021). de Sistema de classificação de resiliência para edifícios perante riscos naturais. Dissertação de mestrado em engenharia civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.