



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

RESILIÊNCIA EVOLUTIVA NO SETOR HABITACIONAL: UMA PROPOSTA DE ESTRUTURA CONCEITUAL¹

BIGOLIN, Morgane (1); CAVALLI, Juliana Giazzon (2); SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto (3)

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, morgane.b@gmail.com

(2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, julianagiazzon@gmail.com

(3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, lcarlos66@gmail.com

RESUMO

A resiliência está se estabelecendo como uma das principais agendas urbanas do século XXI. Houve um aumento no número de estudos sobre cidades resilientes em todo o mundo. O objetivo é criar iniciativas que permitam aos tomadores de decisão lidar com os riscos naturais que os centros urbanos contemporâneos enfrentam, causados principalmente pelas mudanças climáticas. O setor habitacional, no entanto, ainda não adotou um conceito holístico de resiliência. As estratégias de projeto baseadas na abordagem de previsão e controle de riscos geralmente não reduzem efetivamente os danos. Com base em revisão da literatura, este trabalho discute como aplicar a resiliência evolutiva desenvolvida para sistemas socioecológicos no setor habitacional. Ao aplicar a teoria da resiliência, esta investigação visa examinar a aplicabilidade da abordagem de resiliência evolutiva e desenvolver uma estrutura alternativa que possa ser usada no setor habitacional. As contribuições deste trabalho são particularmente importante na maneira como o projeto, a inspeção, manutenção e conservação de edificações são estruturadas e gerenciadas em regiões propensas a desastres.

Palavras-chave: resiliência evolutiva, edificação evolutiva, riscos naturais.

ABSTRACT

Resilience is establishing itself as one of the top urban agendas in the XXI century. There has been an increase in the number of studies looking into questions about resilient cities around the world. The aim is to build initiatives focusing on enabling decision makers to tackle many natural hazards that contemporary urban centres face, mainly caused by climate change. The construction sector, however, has yet to embrace a holistic concept of resilience. The strategies based on prediction and control approach often does not effectively reduce disasters risks. Based on the literature review, this work discusses how to apply it to buildings, a critical and key feature of urban infrastructure, extending the view of buildings as a complex socio-ecological system. The idea was to develop a framework to assess house building resilience to natural hazards considering aspects of performance-based approach and user's empowerment. By applying the resilience theory, this investigation aims to examine the applicability of the evolutionary resilient approach and develop an alternative framework that might be used in the housing sector. This could be particularly important in how building design

^{1 1} BIGOLIN1, Morgane1; CAVALLI2, Juliana Giazzon2; SILVA FILHO3, Luiz Carlos Pinto3. Resiliência evolutiva no setor habitacional: uma proposta de estrutura conceitual. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

inspection, maintenance and conservation is structured and managed in disaster prone regions.

Keywords: *evolutionary resilience. Evolvable building. Natural hazards.*

1 INTRODUÇÃO

A urbanização, o aumento da população e cidades em crescimento são desafios para o funcionamento de todos os ecossistemas. À medida que mais pessoas habitam as cidades, é necessário desenvolver mais locais de trabalho, serviços e locais de moradias. As dificuldades do setor habitacional são um desafio premente, principalmente nos países em desenvolvimento (TAM, 2011). No entanto, também é nos países desenvolvidos, em que a infraestrutura atual foi construída sem prever as dificuldades causadas pelas mudanças climáticas (CHAMPAGNE, AKTAS, 2016). É provável que essas questões não resolvidas do rápido declínio da infraestrutura devido às mudanças climáticas venham à vanguarda em um futuro próximo. Assim, torna-se imperativo fornecer desempenho adequado e acessível, eficiência energética e habitações sustentáveis. Em teoria, essas habitações já existem, no entanto, com a ameaça das mudanças climáticas e o aumento da incerteza sobre o futuro do ambiente da construção (MWASHA, WILLIAMS E IWARO, 2011), novas preocupações começam a aparecer, e o termo resiliência se torna um conceito central em políticas e práticas em muitos países. (DAVOUDI, BROOKS E MEHMOOD, 2013).

Resiliência se tornou um conceito importante em várias disciplinas e, por causa desse viés multifuncional, permaneceu um conceito difuso (DAVOUDI, BROOKS E MEHMOOD, 2013). Atualmente, está se tornando um paradigma essencial no contexto de como os desastres afetam a sociedade (COETZEE, NIEKERK E RAJU, 2016). Vários documentos de políticas, como o Marco de Sendai para Redução de Riscos de Desastres 2015-2030, destacam a importância da resiliência nas comunidades. No entanto, apesar das discussões acadêmicas, políticas e profissionais, ainda existem conflitos e controvérsias sobre o termo resiliência (LIZARRALDE *et al.*, 2015). No entanto, os princípios de resiliência desenvolvidos para o ambiente construído não abrangem todo o conceito que caracteriza a abordagem, e possuem foco principalmente em resistência e robustez. Além disso, os princípios presentes na literatura de resiliência do ambiente construído ainda são teóricos e não apresentam implementação prática (HASSLER, KOHLER, 2014; HOLLNAGEL, 2014). À luz dessa situação, este trabalho tem como objetivo apresentar uma estrutura alternativa de resiliência para a edificação, levando em consideração a abordagem da resiliência evolutiva. A ideia foi propor um quadro teórico baseado em revisão de literatura e entrevistas semiestruturadas com especialistas para adaptar os fundamentos conceituais da abordagem da resiliência evolutiva ao setor habitacional.

Primeiramente, é apresentada uma revisão de literatura que discute as interpretações da resiliência e as razões pelas quais a resiliência evolutiva foi escolhida como arcabouço teórico. Finalmente, no presente estudo, é explorado como a estrutura de resiliência evolutiva em quatro dimensões desenvolvida por Davoudi *et al.* (2013) pode ser aplicado ao projeto, inspeção, manutenção e conservação de habitações e fornecem alguns exemplos de como essas dimensões podem ser estruturadas para avaliar a resiliência de uma edificação. Acredita-se que o sucesso do uso da resiliência evolutiva contemplará, em grande medida, uma visão holística das edificações em situações de riscos ambientais, concentrando-se não apenas na durabilidade e resistência, mas também nas demais dimensões da

resiliência, propostas neste trabalho.

2 INTERPRETAÇÕES DO CONCEITO

Nas últimas décadas o conceito de resiliência foi continuamente foco de muitos estudos e relatórios governamentais que discutem as implicações das mudanças climáticas. No entanto, o uso intensivo do termo vem criando divergências e mal-entendidos. A palavra resiliência como termo científico foi usada pela primeira vez em 1625, por Sir Francis Bacon no compêndio de história natural (*Sylva Sylvarum*) para explicar a força dos ecos (ALEXANDER, 2013). Posteriormente, o conceito foi utilizado em diversas esferas, como mecânica, psicologia e ecologia (Hollnagel, 2014), até recentemente, em estudos sociais, urbanísticos e de sustentabilidade. Nos últimos anos, várias disciplinas adotaram o termo, como sistemas ecológico, social, sociotécnico, organizacional e socioecológico, introduzindo várias novas definições, usos e adaptações transdisciplinares (Hassler, Kohler, 2014). Nos sistemas socioecológicos, três abordagens principais lidam com o conceito de resiliência: resiliência de engenharia, resiliência ecológica e resiliência evolutiva (Davoudi *et al.*, 2012). Essas três definições apresentam contrastes sobre como abordar o estado de equilíbrio.

Em Engenharia, resiliência é a capacidade de retornar ao estado de equilíbrio após uma perturbação (GUNDERSON, 2000). Portanto, na engenharia de resiliência, a definição "concentra-se na estabilidade em um estado estacionário presumido e enfatiza a resistência a uma perturbação e a velocidade de retorno ao ponto de equilíbrio" (BERKES, FOLKE 1998, p. 12). Esse conceito de resiliência consiste em quatro propriedades: robustez; redundância; agilidade e rapidez (BRUNEAU *et al.*, 2003). A resiliência aqui é, portanto, a capacidade de "retornar ao estado estacionário após uma perturbação" (HOLLNAGEL, 2014). Holling (1973) aplicou o termo resiliência em ecossistemas contrastando resiliência ecológica com estabilidade e sugere que "Resiliência [...] é uma medida da capacidade desses sistemas de absorver mudanças [...] e ainda persistirem". Essa definição é importante pois desafia o paradigma ecológico do equilíbrio (LIAO, 2012) e introduz a ideia do multi-equilíbrio, rejeitando o equilíbrio único (DAVOUDI *et al.*, 2013). Na abordagem ecológica, a resiliência é o resultado de tolerância e reorganização contrastando com a engenharia, cuja interpretação está relacionada à resistência e recuperação (LIAO, 2012).

Recentemente, a ideia de equilíbrio múltiplo aparece na literatura relacionada a sistemas socioecológicos. Essa abordagem tem sido chamada de resiliência evolutiva (Davoudi *et al.*, 2012), em contraste com a engenharia e ecológica, pois não aceita a ideia de equilíbrio estável. Em vez disso, essa abordagem interpreta a resiliência dos sistemas socioecológicos como a capacidade de mudar, a auto-organização, a capacidade de aprender e se adaptar em resposta ao estresse (CARPENTER *et al.*, 2001). Davoudi *et al.* (2013) também sugeriram que, para um sistema socioecológico, o componente de preparação deve ser adicionado, uma vez que se espera que o ser humano possa ter algum background que permita interferir e mudar o cenário. Esse aspecto sugere, portanto, que um sistema socioecológico pode ser mais ou menos resiliente, dependendo das capacidades de persistência, adaptabilidade, transformabilidade e preparação. Como resultado, para um sistema social, a resiliência dependerá da capacidade de aprendizado em ser persistente, flexível e inovador (DAVOUDI *et al.*, 2013).

3 TEORIA NA PRÁTICA: COMO TORNAR AS HABITAÇÕES MAIS RESILIENTES

Transformar a teoria em prática implica medir a resiliência da edificação a riscos naturais. Como a resiliência não é diretamente observável e fácil de medir, ela deve ser inferida por meio de substitutos, embora não seja possível representar com apenas um (CARPENTER *et al.*, 2005). Nessa perspectiva, foram desenvolvidos substitutos baseados na compreensão da resiliência evolutiva nas dimensões definidas em Davoudi *et al.* (2013). A aplicação dos conceitos de resiliência evolutiva ao edifício é problemática devido à necessidade de entender a resiliência evolutiva aplicada a sistemas complexos, porém rígidos. Para isso, um edifício não pode ser visto como um objeto isolado, mas requer uma compreensão das ações humanas e da influência ambiental (riscos naturais). O edifício é assumido não apenas como um sistema técnico, mas também como um sistema socioecológico. Contrastando, a edificação com a visão euclidiana dos objetos em relação a três dimensões ortogonais, a descrição da rede de objetos e espaços sustenta a ideia de uma rede de relações cuja estabilidade torna um objeto de trabalho adequado. Essa visão reflete o ponto de vista clássico da teoria ator-rede (ANT), cujos objetos não existem "em si mesmos", mas são o efeito de redes relacionais (Law, 2002).

Neste artigo, será apresentada uma estrutura conceitual de resiliência evolutiva para edificações, baseada na literatura acadêmica e profissional além dos limites das disciplinas de arquitetura e engenharia. Adicionalmente, investigou-se a abordagem prática das dimensões da resiliência evolutiva por meio de 19 entrevistas semiestruturadas realizadas com especialistas dos domínios técnico, social e ecológico. Nesta pesquisa em particular, o desenvolvimento de uma estrutura que pudesse encapsular um corpo de conhecimento comum e multidisciplinar pareceu ser uma alternativa muito atraente, pois a teoria a ser desenvolvida poderia ser amplamente utilizada no setor da construção. Como o conceito de resiliência de edificação não é difundido ou conhecido, as entrevistas foram baseadas nas habilidades, buscando assim entender como uma edificação poderia responder a cada uma delas. Assim, com base em Davoudi *et al.*, 2013, a estrutura incluindo Persistência, Preparação, Adaptabilidade e Transformabilidade como componentes, a estrutura atual foi construída. Assim, neste artigo, edificações resilientes são aquelas capazes de manter o desempenho reconfigurando dinamicamente e holisticamente a uma trajetória mais desejável, enquanto enfrentam uma relação imprevisível e desequilibrada com o meio ambiente. Ela deriva de manter uma rede estável por meio da **capacidade de permanência, adaptabilidade, reconfigurabilidade e capacidade de aprendizado**. A seguir, cada uma das habilidades propostas é discutida em mais detalhes incorporando os resultados das análises das entrevistas.

3.1 Capacidade de permanência: dimensão persistência

A primeira dimensão da resiliência evolutiva é a persistência - sendo robusta, resistindo a distúrbios. É a propriedade física de suportar uma perturbação sem degradação funcional (BRUNEAU *et al.*, 2003). Persistência indica permanência, e considera que alguns elementos persistirão após estresse. Nas edificações, a capacidade de permanência é fundamental e está relacionada à continuidade, resistência e atendimento ao desempenho frente aos eventos naturais, incluindo incertezas causadas pelas mudanças climáticas. A capacidade de permanência impulsiona quando "o sistema permanece funcional, possivelmente em um estado degradado, apesar de algumas falhas" (SIDDIQI, DE WECK, 2008 p.1). Esta capacidade na edificação começa com a durabilidade das condições padrão e a resistência a eventos extremos e, para manter essas características, a manutenção

e a conservação do edifício são fundamentais. Essa capacidade é alcançada através do uso do princípio da precaução para a seleção de materiais e manutenção preventiva sistemática. A capacidade de permanência é a mais conhecida entre os projetistas e existem vários regulamentos, normas, ensaios e especificações para lidar com os riscos naturais extremos. No entanto, existem três desafios nessa dimensão: o projeto completamente baseado em desempenho, projeto baseado nas previsões futuras e projeto para manutenção. O objetivo aqui é entender e prever as condições futuras para projetar resiliência como um requisito para manter o desempenho.

3.2 Adaptabilidade: ser flexível

A segunda dimensão - Adaptabilidade - é a capacidade de o sistema absorver os distúrbios. Visa ajustar as respostas a tensões externas e permitir o desenvolvimento (FOLKE *et al.*, 2010). Essa dimensão tem duas características principais: flexibilidade e agilidade (DAVOUDI *et al.*, 2016). Nesta investigação, concluiu-se que essa capacidade é alcançada através da existência de sistemas alternativos que permitem a escolha de forma eficiente entre alternativas. Indica a agilidade com a qual o sistema pode se adaptar a um novo requisito e novas circunstâncias em tempo real. O conceito de design flexível pode ser usado para obter adaptabilidade. Sistemas flexíveis podem ser definidos como sistemas projetados para manter o desempenho através de adaptações em tempo real na configuração, quando as condições ou requisitos operacionais mudarem de maneira previsível ou imprevisível (OLEWNIK *et al.*, 2004). O sistema adaptativo é fundamental na abordagem evolutiva da construção resiliente uma vez que, o sistema não flexível e robusto normalmente não pode responder a condições inesperadas e variáveis. Assim, enquanto sistemas robustos de construção tentam neutralizar os impactos externos, sistemas adaptáveis e flexíveis usam as mudanças no ambiente intencionalmente para criar condições internas melhores e mais seguras. Tecnologias inteligentes e recursos de múltiplas habilidades podem ajudar a abordar essa capacidade. Edifícios inteligentes podem ser definidos como "ajustam o desempenho a partir de sua ocupação e do meio ambiente" (Wong; Li e Wang, 2005). A ideia é o desenvolvimento de dispositivos que possam ser adaptáveis e dinâmicos, de forma a manter as condições internas e os requisitos de desempenho em uma condição de mudança ou estresse extremo. Essas tecnologias são amplamente desenvolvidas para controle solar, como, por exemplo, os estudos sobre conforto térmico e eficiência energética (JOHNSEN, WINTHER, 2015; LOONEN *et al.*, 2013; SHAIKH *et al.*, 2013). No entanto, menor número de tecnologias são desenvolvidas para outros eventos. A dimensão da adaptabilidade ainda não foi completamente explorada e há várias oportunidades para o desenvolvimento de novos recursos e tecnologias.

3.3 Reconfigurabilidade: dimensão da transformação

A terceira dimensão - Transformação - diz respeito à inovação. Nos sistemas socioecológicos, a transformação é a capacidade de criar um novo sistema (WALKER *et al.*, 2004) e implica uma trajetória positiva que inclui inovação e conhecimento (DAVOUDI *et al.*, 2016). É uma medida que um sistema precisa incorporar quando a adaptação não é mais suficiente e uma reconfiguração é necessária. Com Reconfigurabilidade o "sistema muda facilmente com o tempo, removendo, substituindo e adicionando novos elementos e funções" (Siddiqi, De Weck, 2008). Para obter essa capacidade, a adição, substituição ou remoção dos componentes do sistema predial deve ser facilitado, permitindo a correção, para

umentar o desempenho ou a expansão ou redução horizontal e/ou vertical. Essa habilidade deve ser decidida *a priori*, e a equipe de design deve trabalhar nos detalhes para pensar em como isso ocorrerá rapidamente. A reconfigurabilidade também deve ser configurável para um estado em que algum nível de funcionalidade e desempenho possa ser mantido. Por exemplo, a separação entre sistemas permite que um seja mais forte enquanto outros apresentam falhas, como no caso da separação entre o sistema estrutural e a vedação do edifício. As abordagens que podem ser adotadas em edifícios são os conceitos de plug and play e a arquitetura modular. A falta de flexibilidade nos projetos habitacionais convencionais não permite a transformação. A atitude predominante nesses casos é a demolição do todo ou de partes do edifício. Essa dimensão, como observado nas entrevistas, será um desafio particular para a indústria brasileira, que trabalha principalmente com sistemas construtivos monolíticos.

3.4 Aprendizagem: dimensão de preparação

Finalmente, a quarta dimensão - a preparação - está relacionada à "capacidade de aprendizado". Essa dimensão foi introduzida por Davoudi *et al.* (2013) e sugere a preparação e intencionalidade da atividade humana. Está relacionado à capacidade de aprendizado e une as três outras dimensões: persistência, adaptabilidade e transformação. Essa ideia sugere que um sistema pode ser mais ou menos resiliente, dependendo da capacidade de aprendizado (preparação) para aumentar outras habilidades. Essa habilidade visa ser o DNA do edifício. É o conjunto de informações coletadas, cujo objetivo é promover a aprendizagem. Ela é possível através da entrada, armazenamento, classificação e saída de informações, que são comunicadas com eficiência entre todas as partes interessadas. Duas questões-chave foram identificadas nas entrevistas sobre essa habilidade. A primeira questão estava relacionada à qualidade das informações e a segunda, como essas informações podem ser gerenciadas e comunicadas. As perguntas sobre essa capacidade são: quais são as informações relevantes devem ser fornecidas? Como essas informações podem ser entregues às pessoas relevantes? Foi discutido nas entrevistas que apenas os manuais de usuários não são eficazes. É necessário fornecer conhecimento técnico aos usuários de uma maneira que eles possam entender e aprender. Portanto, as informações devem ser produzidas em um formato que possa ser armazenado e acessado facilmente. Para resolver esse problema, várias abordagens podem ser adotadas como diretrizes técnicas, manuais e treinamentos com linguagem simples. A capacidade de aprendizado, também depende principalmente da capacidade de produzir, capturar e armazenar as informações e os conhecimentos em um sistema integrado ao qual cada parte interessada pode ter fácil acesso e aprender com essas informações. Atualmente, uma abordagem que pode facilitar a capacidade de aprendizado ou o gerenciamento de informações na indústria da construção é o Modelagem de Informações da Construção (BIM). Os benefícios da implementação do processo BIM foram amplamente aceitos nas fases de projeto e construção, como um método abrangente para geração, gerenciamento e análise de informações (Sacks e Pikas, 2013) mas também pode ser utilizado durante todo o ciclo de vida da edificação.

4 CONCLUSÕES

A resiliência das cidades, infraestruturas e edifícios tornou-se cada vez mais importante, com evidências crescentes da intensidade de eventos naturais extremos causados pelas mudanças climáticas. Com crescente popularidade, o termo

resiliência vindo sendo utilizado de forma transdisciplinar com várias definições diferentes; no entanto, também está se tornando um termo confuso e incompreendido. Este artigo apresentou uma discussão, aplicando a abordagem da resiliência evolutiva com quatro habilidades: Permanência, Adaptabilidade, Reconfigurabilidade e Aprendizagem. As habilidades foram utilizadas para a discussão nas entrevistas buscando entender como a habitação poderia responder a cada uma delas. As análises das entrevistas e da revisão de literatura sugerem que, para que uma edificação seja resiliente, é necessário adotar uma visão holística e inovadora de pensar seu projeto e manutenção. Sugere-se a integração do BIM para gerenciar informações e aumentar a capacidade de aprendizado das partes interessadas para controlar e manter todos os parâmetros de desempenho necessários, aumentar os recursos tecnológicos para adaptação e facilitar a transformação por meio de elementos modulares e desmontáveis. A capacidade de aprendizado é um conceito fundamental e indispensável para o compartilhamento de responsabilidades, pois pode ajudar os usuários a perceber os riscos. Novos materiais, sistemas de comunicações e ativos digitais precisam ser parte das inovações que moldarão o futuro do setor de construção. Assim, considera-se que, como resultado, para uma habitação, a resiliência depende da capacidade de aprendizado da rede (construção mais usuários) para persistir, ser capaz de se adaptar, ser reconfigurável e, para finalmente, ser inovadora. Alguns desafios importantes devem ser enfrentados no futuro para avaliações da resiliência de edificações. Primeiramente, é necessário determinar o peso relativo ou a importância das quatro habilidades. Em segundo lugar, é necessário entender como as estratégias podem ser colocadas em práticas aplicadas. Por fim, essas estratégias devem ser acompanhadas de avaliações no mundo real, a fim de validá-las e ser um ponto de partida útil para discutir regras de projetos e talvez normas e certificações de edificações resilientes.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Coordenação Brasileira de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na bolsa processo 002-16-0 e no Convênio 01.11.0025.00_FINEP HAB.

REFERÊNCIAS

- Alexander, D. E. (2013). Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 2707–2716. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2707-2013>
- Berkes, F., Folke, C., (1998). *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*, vol. 1. pp. 13–20.
- Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Winterfeldt, D. Von. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733–752. <https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- Carpenter, S. R., Westley, F., Turner, M. G. (2005). Surrogates for resilience of social-ecological systems. *Ecosystems*, 8(8), 941–944. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0170-y>
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), 765–781. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- Champagne, C. L., Aktas, C. B. (2016). Assessing the Resilience of LEED Certified Green Buildings. *Procedia Engineering*, 145, 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.095>
- Coetzee, C., Niekerk, D. Van, Raju, E. (2016). Emergent system behaviour as a tool for understanding disaster resilience: The case of Southern African subsistence agriculture. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 16, 115–122. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.02.001>

- Davoudi, S., Brooks, E., Mehmood, A. (2013). Evolutionary resilience and strategies for climate adaptation. *Planning Practice and Research*, 28(3), 307–322.
- Davoudi, S., Zaucha, J., Brooks, E. (2016). Evolutionary Resilience and Complex Lagoon Systems. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 12(4), 711–718. <https://doi.org/10.1002/ieam.1823>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20. <https://doi.org/10.1038/nnano.2011.191>
- Gunderson, L. H. (2000). Ecological Resilience — in Theory and Application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 425–439.
- Hassler, U., Kohler, N. (2014). Resilience in the built environment. *Building Research & Information*, 42(March 2015), 119–129. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.873593>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of ecological Systems. *Annual Review of Ecological and Systematics*, 4, 1–23.
- Hollnagel, E. (2014). Resilience engineering and the built environment. *Building Research & Information*, 42(2), 221–228. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.862607>
- Johnsen, K., Winther, F. V. (2015). Dynamic Facades, the Smart Way of Meeting the Energy Requirements. *Energy Procedia*, 78, 1568–1573. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.210>
- Law, J. (2002). Objects and Spaces. *Theory, Culture & Society*, 19(5–6), 91–105. <https://doi.org/10.1177/026327602761899165>
- Liao, K. (2012). A Theory on Urban Resilience to Floods. *Ecology and Society*, 17(4).
- Lizarralde, G., Chmutina, K., Boshier, L., Dainty, A. (2015). Sustainability and resilience in the built environment: The challenges of establishing a turquoise agenda in the UK. *Sustainable Cities and Society*, 15, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.004>
- Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, D., Hensen, J. L. M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 483–493. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016>
- Mwasha, A., Williams, R. G., Iwaro, J. (2011). Modeling the performance of residential building envelope: The role of sustainable energy performance indicators. *Energy and Buildings*, 43(9), 2108–2117. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.013>
- Olewnik, A., Brauen, T., Ferguson, S., Lewis, K. (2004). A Framework for Flexible Systems and Its Implementation in Multiattribute Decision Making. *Journal of Mechanical Design*, 126(3), 412–419. <https://doi.org/10.1115/1.1701874>
- Sacks, R., Pikas, E. (2013). Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. I: Industry Requirements, State of the Art, and Gap Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000759](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000759).
- Siddiqi, A., de Weck, O. L. (2008). Modeling Methods and Conceptual Design Principles for Reconfigurable Systems. *Journal of Mechanical Design*, 130(10). <https://doi.org/10.1115/1.2965598>
- Shaikh, P. H., Nor, N. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I. (2013). Intelligent Optimized Control System for Energy and Comfort Management in Efficient and Sustainable Buildings. *Procedia Technology*, 11, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.167>
- Tam, V. W. Y. (2011). Cost effectiveness of using low cost housing technologies in construction. *Procedia Engineering*, 14, 156–160. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.018>
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social – ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.258101>
- Wong, J. K. W., Li, H., Wang, S. W. (2005). Intelligent building research: A review. *Automation in Construction*, 14(1), 143–159. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.06.001>