

**ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA:  
Fundamentos, Aplicações e Tendências**

CONSELHO EDITORIAL  
SÉRIE LETRA CAPITAL ACADÊMICA

Beatriz Anselmo Olinto (Unicentro-PR)  
Carlos Roberto dos Anjos Candeiro (UFTM)  
Claudio Cezar Henriques (UERJ)  
João Medeiros Filho (UCL)  
Leonardo Santana da Silva (UFRJ)  
Lina Boff (PUC-RIO)  
Luciana Marino do Nascimento (UFRJ)  
Maria Luiza Bustamante Pereira de Sá (UERJ)  
Michela Rosa di Candia (UFRJ)  
Olavo Luppi Silva (UFABC)  
Orlando Alves dos Santos Junior (UFRJ)  
Pierre Alves Costa (Unicentro-PR)  
Rafael Soares Gonçalves (PUC-RIO)  
Robert Segal (UFRJ)  
Roberto Acízelo Quelhas de Souza (UERJ)  
Sandro Ornellas (UFBA)  
Sergio Azevedo (UENF)  
Sérgio Tadeu Gonçalves Muniz (UTFPR)

*Karoline Pinheiro Frankenfeld*  
*Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos*  
ORGANIZADORES

**ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA:  
Fundamentos, Aplicações e Tendências**

LETRCAPITAL

Copyright © Karoline Pinheiro Frankenfeld e  
Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos, 2023

*Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei nº 9.610, de 19/02/1998.  
Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida ou transmitida, sejam quais forem os  
meios empregados, sem a autorização prévia e expressa do autor.*

EDITOR João Baptista Pinto  
CAPA Jenyfer Bonfim  
PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO Luiz Guimarães  
REVISÃO Rita Luppi

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA FONTE  
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

---

---

LETRA CAPITAL EDITORA  
Tels.: (21) 3553-2236/2215-3781  
[www.letrecapital.com.br](http://www.letrecapital.com.br)

## DEDICATÓRIA

Dedico esse livro a minha mãe  
Tamar Gomes Pinheiro Frankenfeld,  
que infelizmente partiu antes de o ver finalizado.

Também dedico a todos  
os que pensam que o trabalho deve ser  
um lugar digno para o trabalhador  
e não uma ameaça à vida.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao programa DEAMB (Doutorado em Engenharia Ambiental) da UERJ que me acolheu e aceitou no programa de pós-doutoramento – esse livro é fruto dessa interação com essa Universidade tão importante na minha vida.

Agradeço aos professores do programa e aos estudantes das disciplinas de Engenharia de Resiliência, em especial a Alex da Silva Santos, Rafael Barros Mothé, Dayana Martins Nunes e Tuani Souza Ladeira que participaram ativamente das discussões das disciplinas, gerando material integrante deste livro.

Agradeço ao meu querido amigo e orientador Ubirajara Aluizio Mattos por sua forma amável de olhar o mundo e por ter sempre uma palavra de conforto nos momentos em que mais preciso ouvi-las. Agradeço também a outra pessoa fundamental na minha vida, Claudia Maria de Holanda Rocha, que insistiu muito para a conclusão desse projeto.





# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	11
PARTE 1- FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA .....	13
Capítulo 1. Um novo paradigma da Engenharia de Segurança do Trabalho .....	15
Capítulo 2. Resiliência e Segurança do Trabalho – conceitos e definições.....	37
Capítulo 3. Indicadores estatísticos de acidentes de trabalho .....	41
Capítulo 4. O trabalhador e sua interferência nos sistemas produtivos.....	47
Capítulo 5. Erro humano e confiabilidade humana .....	53
Capítulo 6. Relação entre erros e acidentes.....	57
Capítulo 7. Armadilhas geradoras de erros.....	61
Capítulo 8. Trabalho pensado e trabalho executado .....	67
Capítulo 9. Sistemas resilientes e suas defesas.....	75
Capítulo 10. Aprendendo com os erros .....	83
Capítulo 11. Método <i>Bowtie</i> .....	89
PARTE 2- APLICAÇÕES DOS CONCEITOS DE RESILIÊNCIA.....	95
Estudo de Caso 1. Atividades de movimentação de carga.....	97
Estudo de Caso 2. A resiliência em laboratórios de ensino: uma aplicação.....	111
Estudo de Caso 3. A resiliência em sistemas produtivos uberizados.....	123
Estudo de Caso 4. A Resiliência e os ODS da Agenda 2030 da ONU .....	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	141
OS ORGANIZADORES .....	148
OS AUTORES .....	149



## APRESENTAÇÃO

A elaboração desta obra se deu como parte do meu projeto de pós-doutoramento, desenvolvido em parceria com o professor Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Percebemos que o tema “engenharia de resiliência” ainda pode ser mais explorado no Brasil e que grande parte da bibliografia existente está em outro idioma, o que tornou a publicação de um livro sobre o assunto, em idioma local, oportuno, necessário e interessante.

Tomamos como base os grandes autores sobre engenharia de resiliência e dividimos o livro em duas partes. Uma dedicada aos fundamentos relativos à engenharia de resiliência e outra, a estudos de caso e discussões atuais.

O livro aborda vários conceitos de engenharia de resiliência. Começamos tratando sobre como, em um mundo de riscos e segurança, na medicina e na vida em geral, sempre se diz que é melhor prevenir do que remediar (HOLLNAGEL, 2009) e que, na verdade, isso quer dizer que é melhor prevenir algo ruim do que ter que lidar com as consequências depois. Trazemos para a discussão a afirmação de Hollnagel (2009) que diz que a prevenção perfeita é impossível e algo sempre pode dar errado; além da tese do sociólogo Charles Perrow, que na sua obra *The ETTO* observa que os sistemas produtivos ficaram tão complexos que os acidentes deveriam ser considerados eventos normais. Este mesmo autor, no seu livro *Normal Accidents*, publicado em 1984, observa que os sistemas se tornaram tão complexos que a interação não antecipada de múltiplas falhas irá gerar resultados não desejados, acidentes e desastres.

Na verdade, o que percebemos é que algumas organizações parecem capazes de gerenciar os riscos com mais sucesso do que outras. Essa capacidade levou à criação da escola de pensamento chamada “Organizações com Alta Confiabilidade”. A ideia de prevenir algo ruim de acontecer ao invés de lidar com as consequências parece obviamente algo vantajoso, mas para prevenir precisamos entender o porquê dos acontecimentos.

O livro discute o que é, como funciona e como se mantêm a engenharia de resiliência, bem como o erro humano e suas influências nos sistemas produtivos, mostrando que o erro é inevitável. Abordará também a importância das defesas dos sistemas e como elas atuam em um sistema resiliente, além das falhas mais frequentes que as organizações cometem durante um processo de investigação e, finalizando, estudos de caso que mostram a aplicação dos conceitos da engenharia de resiliência em diferentes tipos de organizações.

Esperamos que este livro ajude estudantes e profissionais de Segurança do Trabalho a ter um novo olhar para os sistemas em que os trabalhadores estão inseridos e que essa nova visão contribua para mantê-los seguros.

**PARTE 1**  
FUNDAMENTOS DA  
ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA



## UM NOVO PARADIGMA DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

A Engenharia de Segurança do Trabalho (EST) é uma especialização da engenharia<sup>1</sup> voltada para a prevenção de acidentes de trabalho e doenças ocupacionais, tendo como objetivo eliminar ou reduzir fatores de riscos que possam gerá-los, no ambiente de trabalho, e ampliá-los para o meio ambiente, transformando-os em acidentes ampliados<sup>2</sup>. Para prevenir os referidos eventos é preciso conhecer as suas causas, seus mecanismos de funcionamento e seus impactos nas saúdes das populações e ambiental. Essas informações permitirão conceber soluções que possam ser implementadas de forma a tornar a situação de trabalho estudada mais segura e saudável para o trabalhador e, como consequência, mais produtiva e rentável para a empresa, além de evitar catástrofes e colocar em risco a vida de comunidades próximas ao empreendimento.

Conhecer as suas causas, seu funcionamento e seus impactos implica em observar o trabalhador realizando as suas atividades, investigando nelas, dentre outras características, os seus objetivos de como produzir produtos e/ou prestar serviços; como essas atividades se realizam; quais recursos tecnológicos são utilizados para a sua realização (materiais, normas/regras); o tempo de duração e o ambiente onde elas ocorrem.

---

<sup>1</sup> O Conselho Federal de Educação, por meio do Parecer CFE nº 19/1987, fixou o currículo básico do curso de especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Ver também a definição no site <https://www.britannica.com/technology/safety-engineering>.

<sup>2</sup> Para uma definição desse tipo de acidente, derivação de *accident major*, ver MACHADO *et al.*. Perspectivas para uma análise interdisciplinar e participativa de acidentes (AIPA) no contexto da indústria de processo. In: FREITAS; MACHADO; PORTO (Orgs.). **Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

O paradigma marxista<sup>3</sup> trouxe grandes contribuições para a EST, tanto no seu enfoque (ao se preocupar com a saúde e segurança do trabalhador e não apenas com o retorno financeiro para a empresa) quanto no seu método científico de investigação das condições de trabalho<sup>4</sup>, referenciado pelos conceitos de “processo de trabalho” e “organização do trabalho”. Como conceito epistemológico, paradigmas podem ser definidos como “realizações científicas que geram modelos que, por período mais ou menos longo e de modo mais ou menos explícito, orientam o desenvolvimento posterior das pesquisas exclusivamente na busca da solução para os problemas por elas suscitados” (KUHN, 1978). Podemos, portanto, considerar o paradigma como um princípio, teoria ou conhecimento obtido a partir de uma pesquisa em dado campo científico que servirá como referência para futuras pesquisas<sup>5</sup>.

A EST, assim como outras especialidades e áreas do conhecimento científico e tecnológico, tem se apropriado de diversos paradigmas ao longo da sua evolução, como os paradigmas cartesiano, holístico e da complexidade<sup>6</sup>. Neste livro será abordado um novo paradigma que pode trazer grandes avanços para a

---

<sup>3</sup> O conceito marxista de processo de trabalho entende que a atividade humana é materializada ou objetivada em valores de uso. “O processo de trabalho, como o apresentamos em seus elementos simples e abstratos, é atividade orientada a um fim para produzir valores de uso, apropriação do natural para satisfazer a necessidades humanas.” (MARX, 1985a, p. 153).

<sup>4</sup> As condições de trabalho, para Wisner, é tudo que engloba e influencia o próprio trabalho, como o ambiente físico, o biológico, o químico e psíquico; as condições de higiene e segurança; as características ergonômicas do posto de trabalho e a organização do trabalho, podendo esta ser definida como a forma de conceber os conteúdos das tarefas, bem como sua divisão entre os trabalhadores (WISNER, 1989).

<sup>5</sup> Para mais sobre a ideia de paradigma, ver <https://www.significados.com.br/paradigma/>

<sup>6</sup> Seguindo o **paradigma cartesiano**, para conhecer o todo é necessário dividi-lo nas várias partes que o integram e estudar cada uma dessas partes individualmente. No **paradigma holístico**, os fenômenos têm que ser contemplados na sua existência global para serem entendidos. A definição do **paradigma da complexidade**, ou pensamento complexo, sofre alterações dependendo da área de conhecimento que for aplicado. A teoria da complexidade é também conhecida como desafio da complexidade ou pensamento da complexidade. Tem como objetivo relacionar várias disciplinas e formas de ciência; no entanto, sem misturá-las. O paradigma da complexidade flui para várias áreas da sociedade e inclui a **incerteza** como uma abertura de **novas possibilidades** e não como algo que trava o processo de pensamento.



EST, orientando o desenvolvimento de estudos e pesquisas no campo desta especialidade – **A engenharia de resiliência.**

## ORIGEM E EVOLUÇÃO DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

A História sempre foi uma ferramenta científica que auxilia o entendimento de uma situação no presente. Para a engenharia de segurança do trabalho esse fato não é diferente, pois ao longo da sua existência, enquanto especialidade da engenharia, vem percorrendo um longo caminho com a sua origem na formação e atuação nos serviços de Segurança e Saúde do Trabalhador em organizações públicas e privadas.

Atualmente é de grande interesse, por exemplo, estudar as relações produção-consumo-ambiente e saúde<sup>7</sup>, não ficando, portanto, restrito ao ambiente de trabalho. E o seu cenário de ações se expande para outras áreas, com participações em discussões e projetos científicos, e negociações intersetoriais.

### Um breve histórico:

Os acidentes de trabalho e as doenças ocupacionais, embora tenham origem na Antiguidade, seu estudo pela EST somente ganhou importância na sociedade após a Revolução Industrial, com o surgimento da segurança do trabalho nas organizações europeias (MATTOS, 2019). Ela ganhou importância porque naquela época havia necessidade de se regulamentar as condições de trabalho, por meio da promulgação de leis trabalhistas, e com isso prevenir a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais em crescimento. Muitas empresas cometiam abusos que colocavam em risco a saúde e a vida dos trabalhadores e trabalhadoras<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> Para mais sobre essas relações, ver <https://www.britannica.com/technology/safety-engineering>

<sup>8</sup> O alemão F. Engels (1820-1895) escreve em 1844 sobre as condições de trabalho da classe operária inglesa (*The Conditions of the Working Class in England*), depois de ter vivido em Manchester entre 1842 e 1844. K. Marx (1818-1883), filósofo alemão, que viveu muitos anos na Inglaterra, dedicou vários capítulos de *Das Kapital* ou **O Capital** (1ª vol., 1867 2ª e 3ª vols. editados por F. Engels e publicados postumamente, em 1885 e 1894, respectivamente) à exploração do trabalho das mulheres e das crianças, à jornada de trabalho, à legislação fabril inglesa etc.