



## APRENDENDO DO JEITO MAIS DIFÍCIL: AS LIÇÕES APRENDIDAS COM OS DESASTRES

**Isabel Cristina dos Santos**

Doutora em Engenharia pela Universidade de São Paulo, Brasil. Professora da Universidade Municipal de São Caetano do Sul, Brasil.

E-mail: [isa.santos.sjc@gmail.com](mailto:isa.santos.sjc@gmail.com)

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo descrever as lições aprendidas com alguns dos maiores acidentes em diferentes subáreas da Engenharia, como Aeronáutica, Civil e Nuclear. Baseia-se em uma pesquisa exploratória de natureza qualitativa, de caráter histórico-documental, desenvolvida com dados coletados em relatórios oficiais, documentos, materiais e registros fotográficos de domínio público e documentários. Os resultados apontaram lições aprendidas com eventos trágicos, ressaltando a urgência de revisão de procedimentos, materiais e projetos que colaboraram para as ocorrências das catástrofes. Observou-se que a investigação das causas dos acidentes constituiu um laboratório vivo que resultou em novas descobertas e criou padrões de gerenciamento de riscos com impactos na gestão e segurança dos projetos. Além disso, foram novos campos de conhecimento foram criados, a partir dos quais novas técnicas e também novas recomendações, desde o uso de materiais até novos protocolos de atendimento às vítimas e seus familiares, foram formalizadas. A principal contribuição deste trabalho é ressaltar a urgência do aprendizado com catástrofes no sentido de mitigar, em uma perspectiva multidisciplinar, o risco de ocorrência de tragédias futura.

**Palavras-chave:** Gestão de Conhecimento. Inovação Tecnológica. Lições Aprendidas com Catástrofes. Gestão de Risco.

### LEARNING THE HARDEST WAY: THE LESSONS LEARNED FROM CATASTROPHES

#### Abstract

*This working paper aims to describe the lessons learned from some of the biggest accidents in different sub-areas of Engineering, such as Aeronautics, Civil and Nuclear. This is based on an exploratory research of qualitative nature, of historical-documentary character, developed with data collected in official reports, documents, materials and public domain photographic records, and documentaries. Results pointed out learned lessons gathered with tragic events, stressing out the urgency of reviewing procedures, materials and projects that cooperated to the catastrophes occurrences. It was observed that the investigation on the causes became a live laboratory that resulted in new discoveries and created patterns to manage risks with impacts on the projects management and safety. Besides, new field of knowledge were created from which new techniques were developed also new recommendations on the materials usage up to new attendance protocols for victims and their families. The main contribution of this working paper is to stress out the urgency of learning with catastrophes regarding to mitigate, in a multidisciplinary perspective, the risk of future tragedies occurrence.*

**Keywords:** Knowledge Management. Technological Innovation. Lessons Learned from Catastrophes. Risk Management.

## 1 INTRODUÇÃO

Sentimentos contraditórios podem surgir quando medidas de melhoria de processos ou de materiais derivam de uma tragédia. Mas, é fato, que os momentos de culminância do conhecimento se dão frente a grandes embates. Assim, não aproveitar o aprendizado gerado por situações extremas é, no mínimo, um grande desperdício. É preciso aprender também com os fracassos e com falhas que tornam cruciais o funcionamento de determinados artefatos tecnológicos, muito às vezes, acima da capacidade humana de contorná-los em urgência e resultados desejados.

A indústria aeroespacial, por exemplo, vem aprendendo muito sobre aeronavegabilidade e segurança de voo, desde o primeiro voo comercial, realizado em 1910. E o volume de conhecimento novo é diretamente proporcional ao volume alcançado pela tragédia, impactando sobre as funções aeroviárias, segurança de bordo, materiais compostos e outros.

A Engenharia Civil, também, apresentou razoável evolução nos sistemas de segurança e sobre a resistência dos materiais, a partir das experiências negativas com determinadas obras. E esse duro aprendizado obtido com tragédias acontecidas tem um grande compromisso: que elas não mais ocorram.

Algumas organizações, mais do que outras, as denominadas Organizações de Alta Confiabilidade – ou *High Reliability Organizations* – HRO, são especialmente mais cobradas por superação de falhas detectadas e, não raro, são compelidas à melhoria contínua muito mais por força da atividade e da proteção de vidas, do que propriamente por questão de competitividade. Como é o caso dos hospitais.

Assim, tendo em vista a importância desse tipo de aprendizado, este trabalho tem por objetivo analisar alguns dos maiores acidentes, em diferentes subáreas das Engenharias. As subáreas foram escolhidas em razão do pragmatismo do processo de análise de erros. Ao final, espera-se que a seguinte pergunta de pesquisa seja respondida: quais foram alguns dos aprendizados obtidos a partir de grandes tragédias?

O presente artigo está organizado da seguinte forma: a primeira seção trata da Introdução ao tema da pesquisa, ressaltando contexto, objetivo e problema de pesquisa. A segunda parte apresenta os Fundamentos Teóricos nos quais o trabalho de pesquisa está embasado. Na terceira, descreve-se o método de pesquisa e os materiais utilizados na coleta de dados. Na quarta seção os resultados obtidos são apresentados e, na quinta e última seção, debate-se as conclusões obtidas.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Parte fundamental da sobrevivência humana na Terra tem sido atribuída ao domínio de certas áreas do conhecimento. A descoberta do fogo, na Era Paleolítica, por exemplo, é tida como o primeiro marco tecnológico e ecológico (BOYDEN *et al.*, 1981) e, também, um marco civilizatório, pois permitiu ao homem aumentar a durabilidade das caças, melhorar a qualidade do alimento antes comido in natura e, como decorrência, aumentar a sua longevidade (LEVI-STRAUSS, 2004). O fogo além de gerar aquecimento, ajudou o homem primitivo na sua caminhada em busca de novas terras, iluminando as trilhas com tochas, permitindo-lhe decidir sobre onde se instalar, mantendo-se aquecido e o ambiente iluminado, mais seguro, para si e para o seu bando, constituindo as primeiras aldeias, em cujas fogueiras a organização social e a comunicação também eram criadas (ALVES; SANTOS, 2016).

A descoberta do fogo abriu o conhecimento para novos domínios como a domesticação de animais para trabalho e alimento, o domínio da agricultura e as técnicas de irrigação, responsáveis pela fixação do homem primitivo aos territórios. A combinação entre o

fogo e os metais, bronze e ferro, e o domínio das técnicas de fundição que se seguiram, foi também um marco tecnológico de grande importância na produção das primeiras ferramentas e armas, para caça e defesa. “O homem, buscando a solução dos problemas e respostas para as adversidades que enfrenta, desencadeou um processo crescente de desenvolvimento de tecnologia” (CARTONI, 2009, p.11).

Assim, a história humana é caracterizada por descobertas e a busca do conhecimento científico tem mobilizado filósofos e estudiosos desde a Antiguidade e, antes dela, pelo homem primitivo, trazendo saltos qualitativos e, na pós-modernidade, saltos quânticos e a tentativa de mitigação dos efeitos nocivos do grande desenvolvimento industrial que decorreu da culminância de saberes sobre a produção de máquinas e equipamentos. Que se destaque que a Revolução Industrial foi fundamentalmente alavancada por um boom tecnológico e precedida por uma Revolução Científica, registrada como um fenômeno do século XVII, cuja construção, porém, remete ao conhecimento acumulado ao longo da história do homem.

## 2.1 O conhecimento científico e a egrégora pró-tecnologia

A história é marcada por pontos de culminância tecnológica e científica, ao longo dos quais novos artefatos se viabilizam. Nikolai Kondratieff (economista russo, 1892 – 1938) identificou crises subsequentes aos períodos de prosperidade econômica, na União Soviética, em ciclos de 50 a 60 anos. Schumpeter (1935), ao analisar os ciclos de mudança econômica de Kondratieff, conhecidos como *K-waves*, observou que eles eram resultados de uma mudança revolucionária no padrão da atividade industrial. Nelson e Winter (1982) consolidaram a visão, destacando o desafio da mudança evolucionária frente às correntes tradicionais do crescimento econômico, adicionando progresso tecnológico e a competição como forças econômicas irreversíveis.

Freeman e Soete (1997) fortaleceram o debate sobre os ciclos, associando a eles mudanças de ruptura nos padrões na Educação, Ciência e Tecnologia, o que gerou novos campos do conhecimento, além da evolução nos sistemas de transporte e comunicação, aos quais devem ser adicionados os sistemas de informação, e os novos recursos e fontes de energia para uso industrial. Os autores, especialmente Freeman, contribuíram sobremaneira na constituição da corrente neo-Schumpeteriana ao iluminar a relevância do papel das trajetórias da inovação no desenvolvimento econômico com a formação de novas indústrias e mercados, e, também, para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Há um postulado mais recente acerca da quarta fase da Revolução Industrial, baseada na automação industrial, no padrão indústria 4.0 (LASI; FETTKE; KEMPER; FELD; HOFFMANN, 2014; MORRAR; ARMAN; MOUSA, 2017; SCHWAB, 2019) que avança apoiada sobre as novas tecnologias de informação e comunicação, e recursos inovadores disponíveis no campo da Ciência de Dados, que inclui a Internet das Coisas, Computação em Nuvem, entre outros achados significativos (POZDNYAKOVA, GOLIKOV, PETERS, MOROZOVA, 2019).

O Quadro 1 oferece um resumo das ondas da mudança tecnológica proposta por Freeman e Soete (1997), com acréscimos descritos por Schwab (2019).

**Quadro 1 – Ondas da Mudança Tecnológica**

	<b>Ondas</b>	<b>C&amp;T e Educação</b>	<b>Transporte e Comunicação</b>	<b>Energia Industrial</b>	<b>Materiais/ Tecnologias industriais</b>
I	1ª fase da Revolução Industrial (1780 - 1830)	Aprender fazendo, Sociedade Científica	Canais fluviais, estradas de terra	Moinho de água	Ferro e Carvão
II	2ª fase da Revolução Industrial (1830 - 1880)	Engenharia Mecânica e Civil	Estradas de ferro e telégrafo	Vapor	Aço Bateria
III	3ª fase da Revolução Industrial (1880 - 1930)	P&D Industrial, Química Laboratórios Nacionais	Ferrovias em aço; carros; aviões, telefone	Eletricidade	Produtos Químicos Plástico
IV	Produção em Massa Fordismo (1930 - 1980)	P&D Industrial amplo. Educação em massa	Rodovias, Rádios, computadores	Petróleo Energia nuclear	Nylon Semicondutores Fibra óptica Transistores Satélites Arpanet Rede online de computadores
V	Era da Microeletrônica (1980 em diante)	Redes de Dados, Rede Global de P&D, Treinamento contínuo	Redes de Telecom em multimídia	Petróleo e gás	Telefones móveis Microcomputadores Softwares Rede mundial de computadores
VI	Tecnologias ambientais e de Saúde	Biotecnologia, Genética, Nanotecnologia	Telemática e teletrabalho	Energia Renovável	Robótica industrial
VII*	4ª fase da Revolução Industrial (1990 em diante)	Ciência de Dados, estatística computacional, Internet das Coisas	Carros elétricos, veículos autônomos, Tecnologias Digitais	Energia Renovável	Tecnologias Digitais

Legenda: (\*) A 7ª onda é um debate que vem se fortalecendo desde a criação da Rede Mundial  
 Fonte: Adaptado de Freeman e Soete (1997) e de Schwab (2019)

Mas o que justifica trazer para o presente artigo o tema da evolução tecnológica e da mudança econômica é a indelével marca do conhecimento científico que os ciclos proporcionam, não apenas o fortalecimento de domínios do saber, mas, um processo amplo de geração de novos negócios e de empregos de qualidade, enquanto novos sistemas de aprendizagem são criados e postos em uso para a consolidação de novos modelos de produção, de melhoria de processos, serviços, mercados e gestão.

Evidências na obra de Freeman e Soete (1997) apoiam a visão da prosperidade ou bem-estar social, obtida nas economias sustentadas por sucessivos avanços tecnológicos,

como força indutora de uma sociedade com maior liberdade de escolha e, talvez, menos desigual.

Assim, o progresso alcança essas sociedades não apenas com produtos atraentes, mas com conteúdo tecnológico agregado, reconstruindo os padrões de relacionamento entre o humano e o cibernético, reproduzido em ondas que repercutem sobre o estilo de vida e consumo. E, em muitos casos, a tecnologia vem buscando um relativo equilíbrio com o ambiente e a sociedade. Produtos com selo verde, eficiência energética, embalagens biodegradáveis são alguns exemplos de como o conhecimento avança, no pós-modernismo, para formar uma egrégora que inclua o homem no centro das soluções tecnológicas. O planeta clama por isso.

Além dos impactos da tecnologia sobre o *modus vivendi*, os desastres têm gerado novos campos de estudos. No caso específico de Mariana e Brumadinho, houve avanços nos estudos sobre Direito dos Desastres e da responsabilização por danos materiais e morais (LEITE E MALTEZ, 2019). Os autores descrevem a classificação dos desastres feita pela Política Nacional de Defesa Civil, como sendo, quanto a origem: naturais, humanos ou mistos. Neste trabalho, são debatidos somente os desastres humanos ou mistos. No primeiro caso, os desastres são decorrentes de ações humanas ou omissões. Os desastres do tipo misto ocorrem quando

[...] as ações e/ou omissões humanas contribuem para intensificar, complicar ou agravar os desastres naturais. Além disso, também se caracterizam quando intercorrências de fenômenos adversos naturais, atuando sobre condições ambientais degradadas pelo ser humano, provocam desastres (LEITE; MALTEZ, 2019, p.3).

Leite e Maltez (2019, p.4) acrescentam à categoria desastres tecnológicos, “além do rompimento de barragens”, outros eventos desastrosos como vazamento de óleo, derrames químicos, desabamentos de estruturas, explosões, radiações e outros. Nessas ocorrências, no mundo, “no período de 1971 até 2019, foram contabilizados em sua base de dados 8.317 desastres tecnológicos, com 319.530 mortes, 409.850 feridos”, além das perdas materiais e outros danos. Essa definição também é adotada pela A Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS), órgão vinculado à Organização Mundial da Saúde.

A OPAS também destaca que o desastre tecnológico “produz um distúrbio massivo no sistema dos serviços de saúde, produzindo tão grande e imediata ameaça à saúde pública que o país afetado necessita de assistência externa para enfrentar a situação” (OPAS, s/p. s/d). Esse tipo de apoio tem sido documentado em desastres naturais, à exemplo do terremoto e do subsequente tsunami ocorridos no Oceano Índico, para citar um exemplo, em 26 de dezembro de 2004, que mobilizou ajuda de várias nações em resposta humanitária.

A frequência com que ocorrem desastres naturais, ou não, e das ações solidárias que respondem com ajuda financeira, arrecadação e distribuição de bens de consumo, tem estruturado um novo setor de operações denominado de Logística Humanitária, que se assemelha a um processo de gestão de cadeia de suprimentos, geralmente coordenado por entidades internacionais de assistência, como a Organização das Nações Unidas (VILLAR; SANTOS; BURGARELLI, 2012).

No caso mencionado, a estimativa inicial é que os prejuízos alcançariam 14 bilhões de dólares americanos e a reconstrução prevista nos países e áreas atingidas, incluindo o atendimento das vítimas, consumiria em torno de 5 anos de trabalho, segundo o avaliou o economista Gerhard Berz, especialista em estimativas de custo de desastres naturais, em entrevista ao Uol Notícias (29/12/2004, 16h41).

É importante destacar que os desastres tecnológicos são menos extensos em número de mortes e danos do que os desastres naturais, nestes incluídos furações, tsunamis, terremotos e tornados que, entre 1971 até 2019, provocaram mais de 3,6 milhões de mortos, 7,7 milhões de feridos e danos materiais em torno de US\$ 3,4 bilhões. Contudo, o aprendizado obtido com desastres naturais tem levado a evoluções em sistemas de monitoramento tecnológico, nos campos da Climatologia, Meteorologia e Sismologia, além de influenciar sobremaneira os projetos de construção civil e da metalurgia, para citar alguns campos de conhecimento.

## 2.2 Lições aprendidas e as tragédias

Existem muitas formas de aprendizado, mas poucas alcançarão tanto efeito quanto a aprendizado obtido com as experiências vividas. Na prática, essas vivências decorrentes, geralmente, de situações do cotidiano, seja no espaço privado ou seja no espaço social, a partir de ocorrências no exercício de uma atividade de trabalho ou de circunstâncias nas quais os indivíduos estão envolvidos, formal ou sensorialmente.

Corporativamente, o conhecimento obtido da experiência impõe uma transferência de saber de uma pessoa para outra, ou para um grupo, ou para a organização, e o desafio é formalizar o conhecimento e compartilhá-lo, reduzindo os tempos envolvidos com as operações e nos projetos (SANTOS, 2016). E, reconhecidamente, o conhecimento vivencial é de difícil captura. E nem sempre ele decorre de erros de quem o experimenta.

Um caso mundialmente conhecido, e debatido, é o da Apollo 13. Neste caso, o conhecimento em questão é tanto científico quanto tecnológico. Um resumo da experiência é descrito a seguir:

O lançamento da Apollo 13 ocorreu em 11 de abril de 1970, e já começou causando sustos. O motor central desligou 2 minutos antes do programado, devido a enormes oscilações pogo (...perigoso efeito de combustão espontânea). Uma investigação realizada depois do incidente revelou que o motor estava a 1 ciclo de uma falha catastrófica. Contudo, mesmo com esse desligamento, os 4 motores externos queimaram por mais tempo como uma forma de compensação, e o veículo alcançou uma órbita de espera muito próxima da planejada. [...] Cerca de 6,5 minutos depois do fim da transmissão televisiva e com quase 56 horas de missão, o inesperado aconteceu. Um tanque de oxigênio que havia sido danificado durante um teste explodiu, destruindo o módulo de serviço que fornecia os sistemas críticos de energia e suporte à vida para o módulo de comando da Apollo 13. A explosão não só descartou qualquer chance de atingir o pouso na Lua, mas também ameaçou deixar os astronautas perdidos no espaço. Em um instante, a prioridade da missão passou rapidamente (de) ser a de ampliar o conhecimento sobre o satélite natural da Terra, para trazer a tripulação com segurança para casa (DEL CIELO, 2020, s/p).

Com todas as chances de fracasso garantidas, a equipe em terra tratou de buscar soluções que nunca haviam sido sequer testadas, baseadas nos domínios da Engenharia, Física, Química e Biologia, para transformar um foguete para a Lua em um “bote salva-vidas”. Em depoimento, Lowell, um dos astronautas a bordo, comentou que “ainda tínhamos uma célula de combustível boa, que estava fornecendo energia o bastante para voltarmos para a Terra. Porém, o oxigênio necessário para alimentá-la estava sendo expelido da nossa aeronave” (DEL CIELO, 2020, s/p).

Contra todas as probabilidades, o módulo lunar abrigou os astronautas. E os recursos disponíveis naquela pequena cápsula, transformada em um laboratório de sobrevivência, trouxeram de volta não apenas os viajantes, mas também permitiu explorar, em situação crítica, recursos necessários para agregar mais segurança aos voos espaciais que se seguiriam à experiência da Apollo 13.

A conquista do espaço conta uma história repleta de insucessos que culminaram nas capacidades atuais, inclusive as preditivas, a partir do conhecimento acumulado ao longo dos esforços empreendidos, equiparando os insucessos a um caminho dependente, que permitiu alcançar melhorias contínuas nas tecnologias, nos materiais e processos que a geraram. E, a cada evento, oferece oportunidade de saltos qualitativos tão significativos, e mais fáceis de serem implementados, quanto os eventos que os justificaram (BERNARDI, 2012).

A relação entre o aprendizado tecnológico com base na análise de erros e a melhoria contínua oferece externalidades positivas que facilitam a produção e o uso do recurso tecnológico, ao longo do tempo. Contudo, há circunstâncias em que o custo do erro repercute em dimensões muito acima do hábito de consumo de produtos, configurando-se em tragédias que exigem prontidão de resposta para que não se repitam. O caso do ônibus espacial Challenger é emblemática.

Em 1986, a primeira missão espacial com um civil a bordo resultou num desastre que chocou os técnicos e paralisou o programa espacial americano, arregimentou toda a imprensa e causou grande desconforto na sociedade. Imediatamente após a explosão, os fragmentos foram coletados e intensivamente analisados. As evidências apontaram que a causa principal do acidente deveu-se a dois anéis de borracha que selavam a articulação entre os dois segmentos inferiores do propulsor de foguete. Os anéis congelaram durante a frente fria que passou pela Flórida às vésperas do lançamento e mudou o comportamento conhecido do material, gerando perda do isolamento e abriu um caminho para o gás de escape quente escapar de dentro do propulsor, provocando a explosão (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, Mar 17, 2020).

Nos anos que se seguiram ao desastre da Challenger, a Agência Nacional de Aeronáutica e Espaço – NASA dedicou-se a redesenhar o programa dos ônibus espaciais e a garantir a segurança dos investimentos em tecnologia, dos astronautas, e, sobretudo, recuperar a credibilidade científica da instituição.

Os dois exemplos apresentados nesta seção se prestam a cadenciar o processo descritivo aos quais os casos de estudo serão submetidos. Na próxima seção, são delineados os procedimentos metodológicos nos quais se baseiam o presente trabalho.

### **3 METODOLOGIA**

Para o presente estudo, optou-se por uma abordagem qualitativa, com enfoque exploratório e de caráter histórico-documental, que tem como objeto o fenômeno do aprendizado tecnológico decorrente da análise de tragédias ocorridas em setores intensivos em conhecimento. Os acidentes estudados têm um recorte temporal e cultural delimitados, referindo-se aos artefatos tecnológicos produzidos ou construídos, sobretudo, com aplicação de conhecimento desenvolvido no campo das Ciências Naturais e Engenharias.

A escolha dos casos abordados seguiu, primeiramente, o critério de impacto social, tendo em conta o número de mortes e perdas materiais ocorridas. O segundo critério foi a publicidade, ou seja, a disponibilidade das informações detalhadas sobre os acidentes. O terceiro critério foi a descrição das ações corretivas adotadas em caráter preventivo como medida de proteção contra a ocorrência de novos acidentes, às quais integram a trajetória de evolução no conhecimento sobre os projetos, materiais e artefatos envolvidos.

Para tanto, definiu-se pelo estudo de acidentes ocorridos em três áreas de conhecimento: Aviação Civil, Construção Civil e Usina Nuclear. Por tratar-se de uma pesquisa em evolução, para a finalidade de atendimento ao congresso, far-se-á a descrição de um caso em cada área.

A coleta de dados valeu-se de documentos oficiais das agências de investigação, tornados públicos; depoimentos prestados por profissionais e especialistas envolvidos na

investigação e na equipe técnica inquirida e por testemunhas dos acidentes, incluindo sobreviventes, quando for o caso. E documentários e cobertura jornalística da época. A análise dos dados obtidos foi feita mediante análise de conteúdo e foi expressa em diagramas e outros recursos disponíveis, como softwares livres.

## **4 RESULTADOS**

Neste tópico são apresentados os três casos de estudo escolhidos para compor o painel de lições aprendidas. A escolha dos casos deveu-se à repercussão dos casos e o número de fatalidades envolvidas, além da disponibilidade de dados para a etapa de coleta e análise.

### **4.1 Aviação Civil: Pan Am Flight 1736 E KLM Flight 4805**

O acidente ocorreu no dia 27 de março de 1977, quando dois aviões Boeing 747 colidiram na pista do Aeroporto Los Rodeos, em Tenerife. As razões apontadas para o acidente foram relatadas como erro do piloto, incursão de pista, forte nevoeiro, limitações e falhas em comunicação.

A primeira aeronave era da empresa aérea Pan Am, e o voo de número 1736 era operado no equipamento Boeing 747-121, com 380 passageiros e 16 tripulantes, com total de 396 pessoas. A segunda aeronave era o Boeing 747-206B, da KLM, com 234 passageiros e 14 tripulantes, com total de 248 pessoas. Um total de 583 pessoas foram mortas no acidente (WEICK, 1990; GREGG, et al, 1995; BRUGGINK, 2000).

#### **4.1.1 As condições perfeitas para o desastre**

O aeroporto originalmente previsto para a aterrissagem e decolagem dos dois aviões era o Las Palmas, nas Ilhas Canárias. Porém, devido a um ato terrorista que causou uma explosão no saguão do aeroporto, teve as suas operações fechadas. E todos os voos foram redirecionados para o aeroporto mais próximo, a 70 km, que era o de Tenerife, também nas Ilhas Canárias, mas que tinha uma infraestrutura menor para o volume inesperado que operações que se seguiriam.

Com o redirecionamento, houve uma sobrecarga na operação e muitos aviões tiveram que esperar em filas para desembarque ou decolagem nos pontos de espera na taxiway para acesso à pista, reduzindo a dirigibilidade das naves e as áreas que poderiam servir de escape. Outra dificuldade foi causada por uma inversão nas condições meteorológicas e um nevoeiro que alcançou a pista, baixando a visibilidade para 300 metros, quando o regulamento impunha que a visibilidade fosse de 700 metros para decolagem. Isso explica a incursão do jato da KLM na pista e não na taxiway, como recomendara a Torre de Controle.

Para recuperar o tempo perdido no taxiamento e completar o voo até a Holanda, segundo a previsão original, o comandante da KLM ordenou o reabastecimento com 55 mil litros de combustível, o que aumentou consideravelmente o peso da aeronave, dificultando a manobra de desvio para fora da pista.

A comunicação entre Torre de Controle, que tinha baixíssima visibilidade da pista, e a cabine de comando, feita por rádio, com retorno oneway, gerou sobreposição de sinais emitidos de ambos os pontos, resultando em perda de conteúdo e ambiguidade. Além disso, a fraseologia usada pelo comandante não foi típica, gerando interpretação equivocada. Pela análise das gravações, observou-se que também a fala do operador da Torre de Controle parecia ambígua.

Também a comunicação entre os membros da cabine parecia irregular. Houve diversas tentativas de intervenção do copiloto, uma delas quando, além de estar na pista errada, o

comandante moveu os manetes para posição de decolagem, sem que a Torre tivesse autorizado o início desse processo. Ao ouvir o copiloto, o comandante ordenou que ele se dirigisse à Torre, mas com a sobreposição das falas, somente o termo OK, pode ser distinguido.

#### 4.1.2 Lições Aprendidas com o Desastre de Tenerife

O Desastre de Tenerife é ainda o maior da história da aviação civil, em número de fatalidades, 583 pessoas. Mas, a lógica de trabalho na aviação civil é a de correção de erros e a gestão de riscos. Assim, dadas as conclusões da investigação sobre os fatores que causaram ou contribuíram para a ocorrência dessa tragédia, sobretudo no que repercute à segurança da operação em solo e sobre os fatores humanos, foram geradas as seguintes principais mudanças na indústria; em nível global:

**Quadro 2 – Lições Aprendidas com o Desastre de Tenerife**

Disfunções observadas	Mudanças Implementadas
Procedimentos na cabine de comando e poder decisório exclusivo do comandante	Adoção de <i>Crew Resource Management</i> (CRM), para quebrar barreiras hierárquicas na comunicação entre membros da cabine de comando, e destes com a tripulação.
Comunicação ambígua	Adoção de fraseologia-padrão, visando reduzir ambiguidades.
Estudo de Fatores Humanos	Criação de modelos preditivos de erros; Criação do Regulamento das Tripulações com obrigatoriedade de cumprir o descanso programado.
Sobrecarga de combustível	Regulamentação sobre a quantidade de combustível aceitável.
Incursões equivocadas na pista	Criação de sistema automatizado de iluminação de solo.
Baixa visibilidade	Criação de radar de solo para detecção de movimento de aeronaves na pista.

Fonte: McCreary *et al.* (1998); Souza (2017)

E, não menos importante, o Desastre de Tenerife ainda repercute como um case de fracasso nos programas de treinamento da Aviação Civil, e é uma peça importante nos casos de estudo da Medicina Legal e odontologia forense.

#### 4.2 Construção Civil: Desastre da Barragem de St. Francis (Los Angeles)

No dia 12 de março de 1928, mais de 12,5 bilhões de litros de água inundaram a região de Santa Clarita Valley, com o rompimento de um reservatório de água, algumas horas depois de ter sido inspecionada por um engenheiro. A onda de água percorreu 87 km indo na direção do Oceano Pacífico e, no caminho, destruiu mais de mil casas, dez pontes, estradas, campos, e causou mais de 500 mortes, gerando perdas da ordem de USD 10 a 25 milhões. Esse acidente é considerado uma das maiores falhas de engenharia civil americana do século XX (BEGNUDELLI, SANDERS, 2007).

O reservatório foi construído entre os anos de 1924 e 1926. E as causas do seu rompimento foram atribuídas a falhas na fundação, incluindo os locais de inserção dos principais pilares, a oeste e a leste da obra. Este último foi construído sobre pedras e talco mineral, o que lhe deu uma textura gordurosa. Basicamente, o conglomerado molhado expandindo-se sob o pilar ocidental e a porção gordurosa do pilar leste, deslizou, fragilizando a estrutura e causando diversas rachaduras entre os pilares (BEGNUDELLI, SANDERS, 2007).

#### 4.2.1 Análise das Causas do Rompimento da Barragem de Saint Francis – LA.

O rompimento do reservatório provocou a criação de diversos painéis de especialistas com engenheiros e geólogos para investigar as causas do desastre. Ao final de uma semana de análise, o Condado de Los Angeles, conclui que o rompimento se deveu a duas causas: um erro de avaliação da Engenharia que elaborou e executou o projeto e um erro fundamental da política de segurança pública (JACKSON; HUNDLEY JR., 2004).

No aspecto legal, o Estatuto das Represas de 1917, no qual o projeto foi fundamentado, era focalizado em aquedutos e não obrigava o escritório de Engenharia a contratar uma revisão externa substantiva do projeto e das instalações da obra, como a contratação de parecer técnico autônomo, privando a oportunidade de reconhecimento das debilidades relacionadas ao solo, por exemplo.

#### 4.2.2 Causas da Tragédia e Lições Aprendidas

Na ótica da Engenharia Civil, foram apontadas as falhas técnicas relatadas a seguir (JACKSON e HUNDLEY JR., 2004, p. 27). Inadequação da Fundação: No pilar leste, a situação crítica se desenvolveu mais rapidamente, pois ali o solo rochoso é atravessado por minúsculas fissuras, nas quais a pressão da água causaria o rompimento.

- Porção instável do terreno: O pilar leste foi construído sobre uma antiga falha de deslizamento na encosta.
- Elevação e Colapso da Porção Instável: Ao encharcar, a porção do velho deslizamento da encosta gerou um movimento com grande força hidrostática sob a base da barragem, rompendo-a.
- Desenho de Projeto Inadequado: Desconsiderou a configuração da encosta, apoiando a represa no seu lado mais inseguro.

O Quadro 3 resume os principais aprendizados obtidos:

**Quadro 3 – Causas Identificadas, Lições Aprendidas e Ações**

Disfunções observadas	Mudanças Implementadas
Falhas legais	Centralização do controle das barragens no Departamento de Obras Públicas, com a supervisão feita pela Divisão de Segurança de Barragens, responsável inclusive pelo nível de água na represa.  Criação de mecanismos regulatórios específicos para barragens.  Redefinição da Política de Água em Los Angeles, tornando a Agência de Águas o órgão municipal mais poderoso dos Estados Unidos
Falhas técnicas da Engenharia Civil	Reconhecimento da importância crítica em recorrer a análise de geólogos em mais de uma fonte especializada quando da elaboração de projetos de barragens.  Incorporação de conceitos de estresse de materiais (concreto) e da pressão hidrostática, nas obras de barragens.  Instalação de rejunte nas infiltrações ao longo de toda a base da estrutura.  Publicação, em meados da década de 1940, do uso de elevações para alívio de pressão em barragens terrestres.

Fonte: Jackson e Hundley Jr. (2004, p. 47), Rogers (1995).

Apesar das mudanças nos sistemas regulatórios, o colapso da barragem de Saint Francis não gerou avanços inovadores na tecnologia de barragens. Mesmo após o desastre, projetos semelhantes, baseados no concreto de gravidade, continuaram a ser reproduzidos, mesmo sendo que o projeto tenha sido considerado uma estrutura ultrapassada e confirmada pela tragédia ocorrida (JACKSON e HUNDLEY JR., 2004, p. 47).

Um estudo sobre a segurança das barragens apontou a década de 1960 como aquela de maior número de acidentes, ou seja, 21% dos até então registrados. Em 1975, por exemplo, uma barragem na China, na região de Banqiao, Shimantan e outras 60 cidades ao redor, construída no final da década de 1950, colapsou e provocou a morte de mais de 230 mil pessoas. O estudo aponta que somente com construções a partir da década de 1990 houve considerável redução dos acidentes com barragens (ZUFFO, 2005).

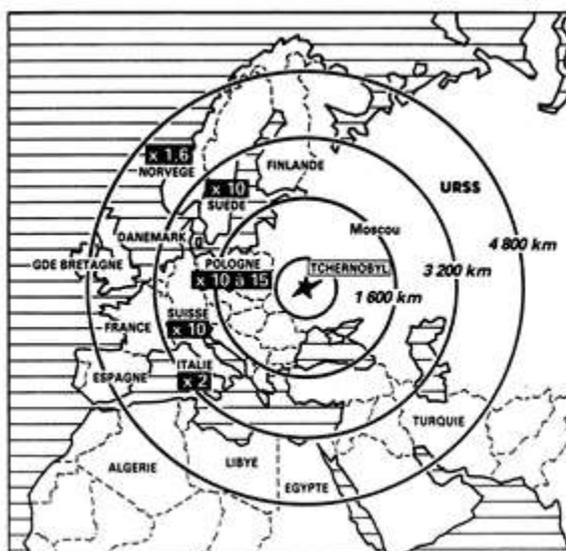
#### **4.3 Usina Nuclear: Usina de Chernobyl (Ucrânia)**

Este é o mais famoso desastre da Engenharia Nuclear. Ocorreu em 26 de abril de 1986, quando um dos reatores da usina explodiu, matando um número incerto de pessoas, chegando a centenas, e devastou os arredores da planta industrial. Mais de 300.000 de moradores foram deslocados da região, que emite radiação até os dias atuais.

O Complexo Energético de Chernobyl foi construído a 130 quilômetros de Kiev, na Ucrânia e a 20 quilômetros de Belarus e era formado por 4 unidades de geração de energia, duas delas construídas entre 1970 e 1977; e a terceira e quarta unidades inauguradas em 1983. Mais dois reatores estavam em construção na época do acidente. No Complexo, havia um lago artificial de 22 km<sup>2</sup> e a sua água era usada para resfriamento dos reatores. A cerca de 3km dos reatores, estava a recém-formada cidade de Pripjat, que abrigava mais de 49 mil habitantes, a grande parte formada por trabalhadores da Usina. Mas, num raio de 30 km da planta industrial, a população total era entre 115.000 a 135.000, quando o acidente aconteceu (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2020).

Apesar da criticidade do acidente, a União Soviética somente veio a público informar sobre o acidente 2 dias após o ocorrido, quando a radiação foi percebida na Suécia, a mais de mil quilômetros distante de Chernobyl. A Figura 4 oferece os círculos de radiação a partir do epicentro (Microsoft News, 2017).

Figura 4 – Mapa do alcance da radiação nuclear de Chernobyl



© STF/AFP/Getty Images  
 Fonte: Microsoft News (2017)

O desastre de Chernobyl foi o pior da história, tendo alcançado o nível 7, o maior da escala, e segue como sendo aquele que provocou o maior número de mortes e prejuízos financeiros. Para efeito de comparação em intensidade de radiação, o desastre na Usina Nuclear de Fukushima, Japão, causado pelo tsunami, em 2011, também alcançou o nível 7.

O desastre de Chernobyl foi objeto de estudo de vários estudos científicos, em diferentes áreas do conhecimento, como Engenharia, Química; Medicina, Psiquiatria, Psicologia, Economia e Meio-ambiente, para citar as áreas mais frequentes no debate sobre Chernobyl. E, em cada uma delas, Chernobyl representou um conjunto relevante de lições aprendidas.

#### 4.3.1 Uma Sucessão de Erros e um Final pré-Apocalíptico

Na véspera do desastre estava programado um teste de resfriamento rápido do reator, caso houvesse risco de um acidente iminente. Mas, um adiamento de última hora pode ter sido a causa central da explosão. Isso porque os operadores já haviam reduzido o nível de resfriamento de emergência do reator. O teste foi confirmado às 23 horas, justamente na mudança de turno das equipes responsáveis que, ao notarem a baixa produção do reator 4, desativaram os comandos de energia, esperando recuperar a potência do reator que, em dez minutos sinalizava problemas com o sistema de resfriamento. A partir desse ponto, e sem informação sobre a redução do sistema de resfriamento, a situação caminha rapidamente para o estágio crítico que resultou na explosão do reator (MICROSOFT NEWS, 2020).

O incêndio que se seguiu matou rapidamente 30 pessoas entre operadores e bombeiros. Na sequência, mais três pessoas ficaram feridas e duas delas morrem. Outras 237 pessoas foram diagnosticadas com Síndrome de Radiação Aguda (SRA), das quais 28 faleceram em razão da SRA, algumas semanas depois do desastre e muitas pessoas, algumas das quais eram crianças na época do ocorrido, morreram de câncer, doença ainda hoje associada à radiação dos moradores nos círculos de alcance, vide Figura 4, especialmente relacionados aos cânceres de tireoide e mama (OGRODNIK et al, 2013), e leucemia (MAHONEY et al., 2004).

#### 4.3.2 Lições Aprendidas com o Desastre de Chernobyl

Os efeitos do desastre de Chernobyl receberam maior atenção dos setores da área da Saúde, ainda que a falha tenha sido atribuída à Engenharia e ao Controle. Por essa razão, as lições obtidas com o desastre, sumarizadas no Quadro 5, concentram-se nessa área.

**Quadro 5 – Aprendizado com o Desastre de Chernobyl**

Disfunções observadas*	Necessidades identificadas e lições aprendidas*
Dificuldade de elaborar diagnósticos dos efeitos da radiação em humanos	<b>Formação das bases para um trabalho colaborativo e multidisciplinar.</b>
Má documentação dos atendimentos às mulheres expostas à radiação.	Adoção de critérios estatísticos universalmente aceitos.
Sobre aspectos neurológicos das novas gerações	A exposição de grávidas aos agentes químicos e tóxicos pode causar doenças e incapacidades nos nascituros e afetar o sistema reprodutivo, mas especialmente afetará os fetos.
Sobre a saúde mental da população exposta à radiação	Doenças mentais como um desafio para a Saúde Pública, como estresse pós-traumático, ansiedade, raiva, sensação de abandono, estigmatização, desconfiança nas autoridades e depressão pelo medo de desenvolvimento de cânceres.
Falhas na Comunicação	Empregados e o Governo devem comunicar-se com sociedade sobre as ocorrências e os riscos.
Falhas na Infraestrutura	Centros de monitoramento da radiação devem ser criados.
Subnotificação de Sintomas de Doenças Mentais	Os médicos devem ter atenção redobrada com pacientes que foram expostos à radiação, muitos dos quais somatizam os sintomas, ludibriando o diagnóstico.
Falhas no Diagnóstico de Doenças Mentais	A formação médica deve capacitá-los para reconhecer os efeitos físicos e mentais da exposição à radiação.
Suporte do Governo / Saúde Pública	O governo deve apoiar, tanto quanto os médicos, a construção da resiliência para recuperação dos desastres.
**Rachaduras nas instalações da antiga Usina de Chernobyl e risco de nova radiação	Pela extensão do risco, um Consórcio Internacional financiará uma obra para lacrar o que restou da edificação da usina.

Nota: \* tradução da autora, \*\* texto original em português.

Fonte: Cordero (1993), Mahoney *et al.* (2004), Bromet (2011), Ogrodnik *et al.* (2013), \*\*Gomes (2016)

Observa-se que os acidentes possibilitaram acelerar a curva de aprendizado sobre projetos, materiais e artefatos, reduzindo potencialmente as ocorrências. Porém, o dinamismo no desenvolvimento de novos conhecimentos, responsável pela substituição dos materiais e equipamentos, por melhoria contínua ou inovação, impõe a renovação dos procedimentos de segurança em projetos, testes de resistências de materiais e, sobretudo, demanda também a análise de riscos, em caráter multidisciplinar.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na indústria aeronáutica, nenhuma vida é perdida em vão. E, há desde o seu nascedouro, um esforço contínuo de melhoria e inovação. O fato de ser uma indústria de características operacionais, geralmente, globais, os níveis de segurança são mais rigorosos, fazendo com que haja uma grande atenção ao funcionamento seguro e eficiente das aeronaves, que são testadas, homologadas e certificadas, antes de serem colocadas em uso.

As lições trazidas com cada incidente ou acidente, deve ser fonte de pesquisa para melhoria da segurança e qualidade e, ainda que a falha seja específica de uma determinada aeronave ou fabricante, repercutirá na indústria como um todo.

O mesmo acontece com a produção de energia de fonte nuclear. Há uma vigilância contínua por parte de agências internacionais, para evitar desvio de finalidade e que, sob o manto da eficiência energética, armas de destruição em massa sejam produzidas. A Organização das Nações Unidas faz esse papel de observatório e, quando necessário, também fiscaliza. No caso particular de Chernobyl, a cultura de ações intramuros, típicas do governo soviético, fez da Usina uma área de segurança e, por isso, indepassável, incluindo as informações operacionais. Mas, ainda que com reservas, o acidente na usina transbordou para o mundo o risco inerente às instalações nucleares e a necessidade de planos de contingência em situação de perigo eminente. A localização se destaca como um fator estratégico para minimização das fatalidades que, tragicamente, muitas vezes se manifestam muitos anos depois.

No caso do rompimento de barragens, foi possível detectar uma mudança no padrão até mesmo porque o caso apresentado é uma construção da década de 1920. Assim, com os novos materiais e mesmo com os sistemas de segurança criados desde então, seria de se prever que, após o acidente, barragens mais seguras seriam construídas. Especialmente, levando em consideração a disponibilidade de conhecimento científico sobre solos. A ocorrência trágica da Barragem de Saint Francis, contudo, não foi suficiente para repercutir sobre obras com a mesma finalidade, pois a regulamentação é local. Assim, é de se esperar que em países mais suscetíveis a desvios de conduta, por fragilidade na regulamentação ou dos órgãos de fiscalização, casos como o de Mariana, ocorrido em 2015, e Brumadinho, acontecido em 2019, se repitam.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, D. F., SANTOS, A.S. A iluminação pública e sua função nos centros urbanos. **5º GAMPI Plural, UNIVILLE**, Joinville, SC, fev. 2016, v.2, n. 4, 2015.
- BEGNUDELLI, L.; SANDERS, B. F. S. Simulation of the St. Francis Dam-Break Flood. **Journal of Engineering Mechanics**, v.133, n. 11, pp. 1200-1212, 2007.
- BERNARDI, B.B. O conceito de dependência da trajetória (path dependence): definições e controvérsias teóricas. **Perspectivas**, São Paulo, v. 41, p. 137-167, Jan./jun. 2012.
- BOYDEN, S.; MILLAR, S.; NEWCOMBE, K.; O'NEIL, B. The ecology of a cities and its people. Canberra: Australian National University Press, 1981.
- BROMET, E. J. Lessons learned from radiation disasters. **World Psychiatry**, v.10, n. 2, pp. 83-84, 2011.
- BRUGGINK, G.M. Remembering Tenerife. Notas de treinamento. **Air Line Pilot**, August 2000. Disponível em: <http://www.aerohabitat.org/airmanshiponline/marzo2003/10-Tenerife%20by%20Bruggink.pdf> . Acesso em 09 de julho de 2020.
- CARTONI, D. M. Ciência e Conhecimento Científico. **Anuário da Produção Acadêmica Docente**, v. III, n. 5, Ano 2009, p 9-34.

CORDERO, J. F. The Epidemiology of Disasters and Adverse Reproductive Outcomes: Lessons learned. **Environmental Health Perspectives Supplements**, v.101, Suppl. 2, pp. 131-136, 1993.

DEL CIELO, G. **Apollo 13**: 50 anos da missão que deixou a terra sem fôlego. *Ciência*, ed. 14 de abril de 2020. Disponível em: <https://www.megacurioso.com.br/ciencia/114132-apollo-13-50-anos-da-missao-que-deixou-a-terra-sem-folego.htm> . Acesso em 09 jul. 2020.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA (eds.). **Challenger disaster**. United States history [1986]. Emily Rodriguez. Disponível em: <https://www.britannica.com/event/Challenger-disaster> . Acesso em 09 de julho de 2020.

GOMES, F.J. **Chernobyl**: o maior acidente de engenharia da humanidade. Palestra ministrada em 13 de setembro de 2016, na 39ª Semana de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora – MG.

GREGG, W; MEDLEY, I; FOWLER-DIXON, R; CURRAN, P; LOUGHREY, G; BELL, P; LEE, A; HARRISON, G. Psychological Consequences of the Kegworth Air Disaster. **British Journal of Psychiatry**, v.167, pp. 812-817, 1995.

JACKSON, D.C.; HUNDLEY JR, N. Privilege and Responsibility. William Mulholland and the St. Francis Dam Disaster. **California History**, v. 82, n. 3, pp. 8-47, 2004.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.G., FELD, T.; HOFFMANN. 4.0 Industry. *Business & Information Systems Engineering*, v.6, pp. 239-242, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>.

LEITE, F.P.A.; MALTEZ, R.T. O regime jurídico ambiental da tríplice responsabilidade civil, administrativa e penal no âmbito do Direito Ambiental a partir de desastres tecnológicos na modalidade rompimento de barragem. **Revista Fac. Dir. UFG**, v. 43, p. 01-23, 2019. Disponível em <https://www.revistas.ufg.br/revfd/article/view/59995/35154> . Acesso em 20 dez 2020.

LÉVI-STRAUSS, C. O cru e o cozido. **Mitológicas**. São Paulo: Cosac & Naify, 2004.

MAHONEY, M.C., MOYSICH, K.B., MCCARTHY, P.L. McDONALD, R., STEPANENKO, V.F., DAY, R.W., MICHALEK, A.M. The Chernobyl childhood leukemia study: background & lessons learned. **Environ.Health**, v.3, n.12, 2004. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-3-12>.

MCCREARY, J.; POLLARD, M.; STEVENSON, K.; WILSON, M.B. Human Factors: Tenerife Revisited. **Journal of Air Transportation Worldwide**, v. 3, n.1, 1998, p. 23-32.

MICROSOFT NEWS. Chernobyl: o desastre e suas consequências. Ed. 11 de Dezembro de 2017. Disponível em: <https://www.msn.com/pt-br/noticias/fotos/chernobyl-30-anos-do-desastre-e-suas-consequencias/ar-BBsf0eB> . Acesso em 10 de julho de 2020.

MORRAR, R.; ARMAN, H.; MOUSA, S. The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective. **Technology Innovation Management Review**, v.7, n.11. Nov. 2017.

OGRODNIK, A.; HUDON, T.W.; NADKARNI, P.M.; CHANDAWARKAR, R. Radiation Exposure and Breast Cancer: Lessons from Chernobyl. **Connecticut Medicine**, v.77, n. 4, pp. 227-234, 2013.

POZDNYAKOVA U.A., GOLIKOV V.V., PETERS I.A., MOROZOVA I.A. Genesis of the Revolutionary Transition to Industry 4.0. In: Popkova E., Ragulina Y., Bogoviz A. (eds) **Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century. Studies in Systems, Decision and Control**, v.169. Springer, Cham. 2019.

ROGERS, J. D. A Man, A Dam and A Disaster: Mulholland and the St. Francis Dam. **Southern California Quarterly**, v.77, n.1-2, pp.1–109, 1995. DOI: <https://doi.org/10.2307/41171757> .

SANTOS, P.G.P.P. **Lições Aprendidas (Lessons Learned) no Exército Português**. Dissertação (Mestrado) em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria, na Academia Militar, Lisboa, Portugal, 2016.

SCHUMPETER, J. A. The analysis of economic change. *The Review of Economic Statistics*, v.17, n. 4, pp.2-10, 1935.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial** [livro eletrônico]. Trad. Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2019.

SOUZA, L. **O maior acidente aéreo de todos os tempos: Tenerife**. Episódio 156, documentário exibido em 2 de abril de 2017. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=t3FLv5nZtjg>. Acesso em 9 de julho de 2020.

UOL. Jornal Eletrônico. Notícias. Caderno Internacional. **Além dos milhares de mortos, perda financeira com tsunami pode chegar a US\$ 14 bilhões**. Ed. 29/12/2004, 16:41. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/uolnews/internacional/bbc/2004/12/29/ult2624u36.jhtm>. Acesso em 08 de jan. 2021.

VILLAR, C.B.; SANTOS, E. A.; BURGARELLI, E. C. Logística Humanitária: Conceitos, Relacionamentos e Oportunidades. XXXVI Encontro da ANPAD, Rio de Janeiro, 22 a 26 de setembro de 2012. **Anais** [...]. Rio de Janeiro, 2012.

WEICK, K.E. The vulnerable system: an analysis of the Tenerife Air Disaster. *Journal of Management*, v. 16, n. 3, pp. 571-593. DOI: <https://doi.org/10.1177/014920639001600304>.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. **Chernobyl Accident 1986**. Disponível em: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx>. Acesso em 10 de jul. 2020.

ZUFFO, M.S.R. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2005.

---

Recebido em/Received: 25/01/2021 | Aprovado em/Approved: 22/02/2021

---