RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

Os grandes acidentes da indústria química começam em falhas pequenas que deixaram de ser investigadas

Major accidents in the chemical process industry begin with small failures that were never investigated

Los grandes accidentes de la industria química comienzan con pequeñas fallas que dejaron de ser investigadas

Adriano Silva da Cruz Santos

Engenheiro Químico pelo Centro Universitário Jorge Amado (UNIJORGE). Técnico em Operação de Processos pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Departamento Regional da Bahia. Membro do American Institute of Chemical Engineers (AIChE).

RESUMO

Os acidentes maiores na indústria química, petroquímica e energética raramente decorrem de uma causa isolada e súbita. A literatura sobre segurança de processos demonstra que esses eventos costumam ser precedidos por desvios operacionais, falhas de equipamentos e quase acidentes que estavam disponíveis para análise, mas que não foram investigados com profundidade suficiente. Este artigo tem como objetivo discutir de que forma a investigação sistemática de incidentes, a análise de causa raiz, os estudos de perigo e operabilidade (HAZOP) e a cultura de segurança se articulam na capacidade das organizações de aprender antes da ocorrência de eventos catastróficos. A pesquisa adota abordagem qualitativa, com revisão narrativa da literatura científica e análise documental de relatórios públicos de investigação dos acidentes de Flixborough, Piper Alpha, Columbia, Texas City e Buncefield. Os resultados indicam que indicadores centrados em lesões ocupacionais tendem a ocultar o risco de processo, que a normalização do desvio corrói progressivamente as margens de segurança e que métodos de análise de causa raiz baseados em cadeias lineares produzem recomendações frágeis. Conclui-se que a prevenção de acidentes maiores depende da integração entre o tratamento de precursores, a revalidação dos estudos de perigo com base na experiência operacional e um ambiente organizacional em que o relato de falhas seja valorizado.

Palavras-chave: Segurança de processos; Análise de causa raiz; HAZOP; Quase acidentes; Cultura de segurança.

ABSTRACT

Major accidents in the chemical, petrochemical and energy industries seldom result from a single, sudden cause. The process safety literature shows that such events are usually preceded by operational deviations, equipment failures and near misses that were available for analysis but were not investigated in sufficient depth. This article discusses how systematic incident investigation, root cause analysis, hazard and operability (HAZOP) studies and safety culture combine to determine an organization's ability to learn before a catastrophic event occurs. The research follows a qualitative approach, based on a narrative review of the scientific literature and a documentary analysis of public investigation reports on the Flixborough, Piper Alpha, Columbia, Texas City and Buncefield accidents. The findings indicate that indicators centered on occupational injuries tend to conceal process risk, that the normalization of deviance progressively erodes safety margins and that root cause analysis methods based on linear chains produce weak recommendations. The study concludes that the prevention of major accidents depends on integrating the treatment of precursors, the revalidation of hazard studies based on operating experience and an organizational environment in which the reporting of failures is valued.

Keywords: Process safety; Root cause analysis; HAZOP; Near misses; Safety culture.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes maiores da indústria de processos químicos costumam ser lembrados pelo instante em que se tornam visíveis, seja a explosão, o incêndio ou a nuvem tóxica que atinge trabalhadores e comunidades vizinhas. A literatura especializada mostra, contudo, que esse instante é apenas o desfecho de uma trajetória longa, composta por desvios operacionais, falhas de equipamentos, alarmes desconsiderados e decisões gerenciais que, observadas isoladamente, pareciam toleráveis. Turner (1978) denominou esse intervalo de período de incubação, fase em que eventos discrepantes se acumulam sem serem percebidos ou corretamente interpretados pela organização. As investigações oficiais conduzidas após os desastres de Flixborough, Piper Alpha, Texas City e Buncefield chegaram a conclusões convergentes, ao identificar sinais precursores que estavam disponíveis antes da tragédia, mas que não receberam tratamento compatível com a gravidade do risco que anunciavam.

Este artigo parte dessa constatação para discutir o papel da investigação sistemática de falhas, incidentes e quase acidentes na prevenção de acidentes maiores nos setores químico, petroquímico e energético. O problema que orienta o estudo refere-se às razões pelas quais organizações tecnicamente sofisticadas, dotadas de procedimentos formais, sistemas de gestão certificados e indicadores de desempenho, continuam a falhar na tarefa de reconhecer e corrigir os precursores de eventos catastróficos. O objetivo geral consiste em analisar, com base na literatura científica e em relatórios públicos de investigação, como os modelos de causalidade de acidentes, as técnicas de análise de causa raiz, os estudos de perigo e operabilidade e a cultura de segurança se articulam na capacidade organizacional de aprender antes que o dano se materialize.

A relevância do tema decorre do fato de que os principais referenciais regulatórios e normativos do setor, como a norma de gestão de segurança de processos da Occupational Safety and Health Administration (ESTADOS UNIDOS, 1992) e as diretrizes do Center for Chemical Process Safety (2007), já atribuem à investigação de incidentes uma função central. A existência de requisitos formais, porém, não garante que a investigação produza aprendizagem efetiva. O texto está organizado em sete seções de desenvolvimento, que tratam da distinção entre segurança de processos e segurança ocupacional, da evolução dos modelos de acidente, do significado dos quase acidentes, da normalização do desvio, dos limites da análise de causa raiz, da contribuição do HAZOP e do papel da cultura de segurança, seguidas da conclusão.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

2 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, e combina dois procedimentos técnicos complementares, a revisão narrativa da literatura e a análise documental. A revisão narrativa foi escolhida por permitir a discussão crítica de um campo conceitualmente heterogêneo, no qual convivem contribuições da engenharia química, da engenharia de confiabilidade, da psicologia cognitiva e da sociologia das organizações. Diferentemente da revisão sistemática, esse tipo de revisão não pretende esgotar a produção científica sobre o tema nem quantificar efeitos, mas sim reunir as obras mais influentes e confrontar seus argumentos à luz de um problema definido, o que se mostra adequado ao propósito de relacionar teorias de causalidade de acidentes com práticas de investigação adotadas na indústria.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciELO, com o uso de descritores em inglês e em português, entre eles process safety, accident investigation, root cause analysis, near miss, HAZOP, safety culture, normalization of deviance, segurança de processos e análise de acidentes. Foram priorizados artigos publicados em periódicos revisados por pares de reconhecida relevância na área, como Safety Science, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Journal of Hazardous Materials e Risk Analysis. Obras seminais foram incluídas independentemente da data de publicação, dada a sua influência persistente sobre o campo, assim como guias técnicos e normas elaborados por entidades reconhecidas, entre elas o Center for Chemical Process Safety, o American Petroleum Institute e a International Electrotechnical Commission.

A análise documental concentrou-se em relatórios oficiais de investigação de acidentes maiores, elaborados por comissões independentes ou por órgãos governamentais e disponíveis publicamente. Foram examinados os relatórios sobre Flixborough (PARKER et al., 1975), Piper Alpha (CULLEN, 1990), a perda do ônibus espacial Columbia (COLUMBIA ACCIDENT INVESTIGATION BOARD, 2003), a refinaria de Texas City (ESTADOS UNIDOS, 2007) e o terminal de armazenamento de Buncefield (MAJOR INCIDENT INVESTIGATION BOARD, 2008), além do relatório do painel independente presidido por Baker et al. (2007). O caso Columbia, embora externo à indústria química, foi incluído porque sua comissão de investigação desenvolveu uma análise organizacional amplamente citada na literatura de segurança de processos. Esses documentos foram utilizados como casos ilustrativos, e não como amostra estatística.

O material reunido foi submetido a leitura analítica e organizado em categorias temáticas definidas a partir do próprio corpus, a saber, a distinção entre segurança de processos e segurança ocupacional,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

os modelos explicativos de acidentes, o tratamento de precursores e quase acidentes, a normalização do desvio e a aprendizagem organizacional, os métodos de análise de causa raiz, os estudos de perigo e operabilidade e a cultura de segurança. Reconhece-se como limitação o caráter não exaustivo da revisão narrativa e a predominância de casos ocorridos em países de língua inglesa, cuja documentação pública é mais extensa. Essas limitações não comprometem o objetivo do estudo, que é de natureza interpretativa, mas indicam a conveniência de pesquisas empíricas futuras em contextos industriais distintos.

3 SEGURANÇA DE PROCESSOS E SEGURANÇA OCUPACIONAL, UMA DISTINÇÃO NECESSÁRIA

A segurança de processos ocupa-se da prevenção de liberações não planejadas de substâncias perigosas ou de energia capazes de provocar incêndios, explosões e exposições tóxicas, eventos de baixa frequência e consequências potencialmente catastróficas. O Center for Chemical Process Safety (2007) a define como um campo disciplinar orientado à integridade dos sistemas que contêm e controlam materiais perigosos, o que envolve projeto, operação, manutenção e gestão de mudanças. A segurança ocupacional, por sua vez, concentra-se em lesões individuais decorrentes de quedas, cortes, esforços e contato com partes móveis, eventos mais frequentes e de consequências geralmente restritas à pessoa envolvida. Hopkins (2009) argumenta que a confusão entre esses dois domínios constitui uma das fontes mais persistentes de falsa sensação de segurança nas organizações de alto risco.

O acidente ocorrido em 23 de março de 2005 na refinaria de Texas City, nos Estados Unidos, tornou-se a referência mais conhecida desse problema. Durante a partida de uma unidade de isomerização, a torre separadora de rafinado foi sobrecarregada de hidrocarbonetos, o líquido escoou para um tambor de purga com descarga para a atmosfera e a nuvem inflamável resultante encontrou uma fonte de ignição, provocando quinze mortes e cerca de 180 feridos (ESTADOS UNIDOS, 2007). O painel independente presidido por Baker et al. (2007) concluiu que a empresa avaliava seu desempenho em segurança principalmente por meio de taxas de lesões registráveis, as quais apresentavam resultados favoráveis, enquanto o risco associado aos processos permanecia sem medição adequada e sem atenção correspondente da alta liderança.

A análise do Chemical Safety and Hazard Investigation Board revelou que o tambor de purga envolvido no acidente já havia registrado episódios anteriores de liberação de hidrocarbonetos, dos quais apenas uma fração foi formalmente investigada, e que partidas anormais da mesma unidade

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

também não haviam sido objeto de análise (ESTADOS UNIDOS, 2007). Hopkins (2008) dedicou um estudo inteiro ao caso e o intitulou, de modo significativo, como uma falha em aprender. Para o autor, a organização dispunha de informações suficientes para antecipar o cenário, mas sua estrutura de incentivos, seus indicadores e sua forma de distribuir atenção gerencial privilegiavam aquilo que era facilmente contável, em detrimento dos sinais de deterioração das barreiras de contenção de inventários perigosos.

A resposta regulatória a acidentes dessa natureza consolidou-se nos Estados Unidos com a norma 29 CFR 1910.119, que estabelece requisitos de gestão de segurança de processos para instalações que manipulam produtos químicos altamente perigosos (ESTADOS UNIDOS, 1992). Entre seus elementos estão a análise de perigos de processo, a gestão de mudanças, a integridade mecânica e a investigação de incidentes, com a exigência expressa de investigar não apenas os eventos que resultaram em liberação catastrófica, mas também aqueles que poderiam razoavelmente tê-la provocado. O modelo de segurança de processos baseada em risco proposto pelo Center for Chemical Process Safety (2007) aprofundou essa lógica ao organizar vinte elementos em quatro pilares, um dos quais dedicado especificamente a aprender com a experiência.

A mensuração do desempenho em segurança de processos ganhou estrutura própria com a prática recomendada API RP 754, que distribui os indicadores em quatro níveis, desde eventos de perda de contenção com consequências mais graves, nos níveis 1 e 2, até desafios aos sistemas de proteção e indicadores de disciplina operacional, nos níveis 3 e 4 (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2016). Os níveis 3 e 4 dessa classificação têm caráter antecedente e buscam capturar a deterioração das barreiras antes que ela se converta em liberação. Hopkins (2009) observa que o valor desses indicadores não reside na distinção abstrata entre medidas antecedentes e consequentes, mas na sua capacidade de refletir o estado real dos controles críticos de cada instalação. Sem investigação consistente dos eventos de menor gravidade, nenhum sistema de indicadores consegue cumprir essa função.

4 DA SEQUÊNCIA LINEAR AO SISTEMA, A EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE ACIDENTE

A forma como uma organização investiga um acidente depende do modelo de causalidade que adota, ainda que de modo implícito. O primeiro modelo de grande difusão foi apresentado por Heinrich (1931), que descreveu o acidente como uma sequência de fatores encadeados à maneira de peças de dominó, na qual a remoção de um elemento interromperia a progressão do evento. O autor também

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

sustentou que a grande maioria dos acidentes teria como causa atos inseguros dos trabalhadores, proposição que influenciou por décadas a prática prevencionista. Manuele (2011) examinou criticamente essas premissas e demonstrou que elas carecem de sustentação empírica verificável, além de conduzirem a investigações voltadas à identificação de culpados. Almeida (2006) descreve trajetória semelhante no Brasil, onde o paradigma centrado no erro do trabalhador predominou por longo tempo na análise de acidentes.

Uma inflexão importante ocorreu com a obra de Turner (1978), que analisou dezenas de relatórios de desastres britânicos e concluiu que esses eventos não eram fruto do acaso nem de falhas técnicas isoladas, mas de processos sociais e organizacionais. O conceito de período de incubação descreve a fase em que pequenos eventos discrepantes, contrários às crenças e normas aceitas sobre o perigo, acumulam-se sem que a organização os perceba ou consiga interpretá-los adequadamente. Essa perspectiva desloca o foco da análise do momento do acidente para o intervalo que o antecede, no qual informações relevantes circulam de forma fragmentada, são ignoradas por estarem fora dos quadros de referência dominantes ou são desconsideradas por conflitarem com metas de produção.

Reason (1990, 1997) consolidou esse deslocamento ao distinguir falhas ativas, cometidas por quem atua diretamente sobre o sistema e cujos efeitos são imediatos, de condições latentes, originadas em decisões de projeto, de gestão, de alocação de recursos e de organização do trabalho, que podem permanecer adormecidas por longos períodos. O chamado modelo do queijo suíço representa as defesas de um sistema como camadas sucessivas, cada uma com falhas transitórias ou permanentes, e o acidente como o alinhamento momentâneo dessas falhas. Para o autor, o acidente organizacional resulta menos da ação individual na linha de frente e mais da combinação entre condições latentes acumuladas e circunstâncias locais desencadeadoras, o que redireciona o objeto da investigação para os sistemas de gestão.

Perrow (1984) acrescentou uma leitura estrutural ao propor que sistemas caracterizados por complexidade interativa e acoplamento rígido, condição frequente em plantas de processamento químico, estão sujeitos a acidentes que ele denominou normais, no sentido de que interações imprevistas entre falhas são inerentes à arquitetura desses sistemas. Rasmussen (1997), por outro lado, descreveu o comportamento organizacional como uma deriva gradual em direção aos limites do desempenho aceitável, impulsionada simultaneamente por pressões de eficiência econômica e pela busca de redução do esforço de trabalho. Nessa formulação, as margens de segurança não são violadas de uma vez, mas consumidas progressivamente por adaptações locais que parecem racionais para quem as adota em cada momento.

Os modelos sistêmicos aprofundaram essa visão. Leveson (2004, 2011) propôs tratar a segurança

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

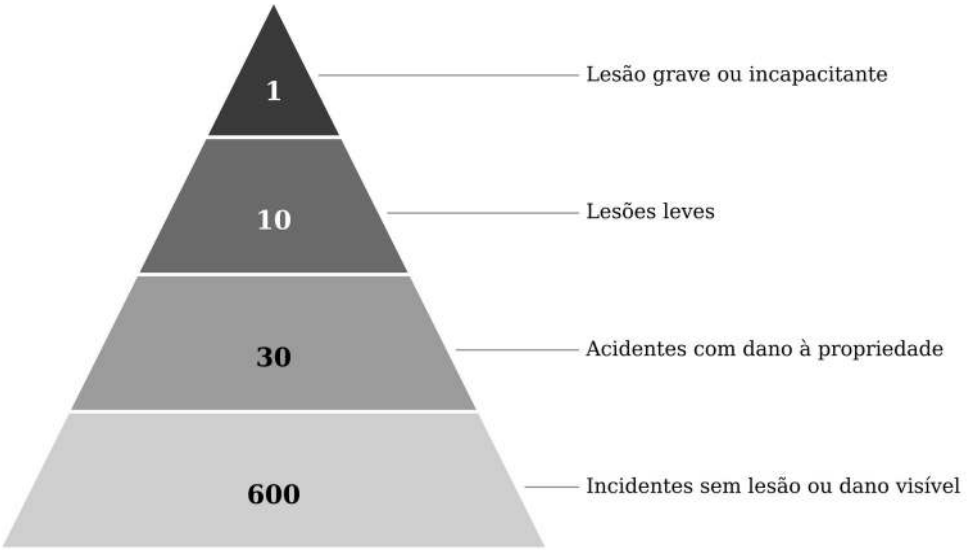
Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

como um problema de controle, no qual acidentes decorrem de restrições de segurança inadequadamente impostas ao longo de uma estrutura hierárquica que vai da regulação governamental até o processo físico, e não apenas de falhas de componentes. Hollnagel (2004) desenvolveu uma tipologia de barreiras e, posteriormente, defendeu que a gestão da segurança considere também a variabilidade de desempenho que permite que as operações funcionem bem na maior parte do tempo (HOLLNAGEL, 2014). A consequência prática dessas contribuições é que a investigação não pode se restringir à identificação de um evento iniciador, pois precisa reconstruir as condições organizacionais que tornaram aquele evento possível e provável.

5 SINAIS FRACOS E QUASE ACIDENTES, A BASE INVISÍVEL DA PIRÂMIDE

A relação entre eventos de diferentes gravidades foi objeto de algumas das proposições mais conhecidas da área. Heinrich (1931) apresentou uma proporção segundo a qual, para cada acidente com lesão grave, ocorreriam 29 acidentes com lesões leves e 300 ocorrências sem lesão. Décadas depois, Bird e Germain (1985) divulgaram uma proporção revisada, obtida a partir da análise de cerca de 1,7 milhão de relatos de acidentes provenientes de aproximadamente 300 empresas, na qual cada lesão grave ou incapacitante corresponderia a 10 lesões leves, 30 acidentes com dano à propriedade e 600 incidentes sem lesão ou dano visível. A Figura 1 representa essa proporção na forma de pirâmide, configuração que se tornou um dos instrumentos didáticos mais reproduzidos na formação de profissionais de segurança.

Figura 1 – Proporção entre eventos de diferentes gravidades segundo Bird e Germain



Fonte: elaborado pelo autor com base em Bird e Germain (1985).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

A leitura mais produtiva da pirâmide não está nos valores exatos, que variam conforme o setor, o período e os critérios de registro, mas na constatação de que os eventos sem consequência são muito mais numerosos que os eventos com dano. Esse volume representa uma oportunidade de aprendizagem a custo reduzido, pois permite estudar a falha das barreiras sem que haja vítimas. Phimister et al. (2003) investigaram programas de gestão de quase acidentes na indústria química e propuseram um modelo em sete etapas, que compreende identificação, divulgação, distribuição, análise de causas diretas, identificação de soluções, disseminação e resolução. Os autores observaram que muitas organizações perdem a maior parte do valor desses eventos já nas primeiras etapas, porque deixam de reconhecê-los ou de relatá-los.

Jones, Kirchsteiger e Bjerke (1999) chegaram à conclusão convergente ao discutir a importância do relato de quase acidentes para a melhoria do desempenho em segurança em instalações sujeitas ao controle de riscos de acidentes maiores. Os autores defendem que a base de eventos sem consequência deve ser tratada como fonte primária de informação sobre a eficácia das salvaguardas, e não como registro secundário de ocorrências irrelevantes. Kletz (1993), em perspectiva semelhante, insistiu que a indústria química raramente enfrenta riscos inteiramente desconhecidos, uma vez que a maior parte dos acidentes graves repete cenários já ocorridos em outras plantas, em outras empresas ou na própria instalação, em escala menor e sem desfecho trágico.

A pirâmide, entretanto, presta-se a interpretações equivocadas quando aplicada indistintamente à segurança de processos. A redução do número de lesões leves não implica, necessariamente, a redução da probabilidade de explosões ou de liberações tóxicas, porque esses eventos seguem trajetórias causais diferentes. Hopkins (2009) e Manuele (2011) alertam que a busca por indicadores ocupacionais favoráveis pode desviar recursos e atenção dos mecanismos que efetivamente produzem os acidentes maiores. O caso de Texas City ilustra essa dissociação, pois a refinaria exibia taxas de lesões consideradas satisfatórias no período em que acumulava falhas de instrumentação, atrasos em estudos de sistemas de alívio e liberações não investigadas (BAKER et al., 2007).

A implicação prática é que os precursores relevantes para a segurança de processos precisam compartilhar o mesmo percurso causal dos eventos catastróficos que se deseja evitar. Pequenas perdas de contenção, acionamentos de dispositivos de alívio, intertravamentos colocados em desvio, alarmes recorrentes tratados como incômodos e operações fora dos limites de projeto pertencem a essa categoria e devem ser classificados conforme a gravidade potencial, e não apenas conforme o resultado efetivamente observado. O Center for Chemical Process Safety (2003) recomenda que a decisão sobre a profundidade da investigação considere o que poderia ter acontecido em

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

circunstâncias ligeiramente diferentes. Esse critério, simples em sua formulação, exige julgamento técnico qualificado e disposição organizacional para dedicar recursos a eventos que não produziram danos.

6 NORMALIZAÇÃO DO DESVIO E A INCAPACIDADE ORGANIZACIONAL DE APRENDER

Vaughan (1996) cunhou a expressão normalização do desvio ao analisar a decisão de lançamento do ônibus espacial Challenger, em 1986. A autora demonstrou que a erosão dos anéis de vedação das juntas dos propulsores laterais havia sido observada em voos anteriores e que, a cada missão concluída sem perda do veículo, o desvio em relação ao desempenho previsto em projeto era reinterpretado como risco aceitável. Esse processo não decorreu de negligência individual nem de violação deliberada de normas, mas de uma sequência de decisões tecnicamente fundamentadas segundo os critérios então vigentes, tomadas por engenheiros e gestores competentes. O resultado foi a incorporação gradual da anomalia ao repertório de condições consideradas normais de operação.

A investigação da perda do ônibus espacial Columbia, em 2003, encontrou padrão semelhante. O desprendimento de espuma isolante do tanque externo durante o lançamento havia ocorrido em diversas missões anteriores e passou a ser tratado como questão de manutenção e de cronograma, e não como ameaça à integridade do veículo. A comissão de investigação concluiu que as causas organizacionais do acidente eram tão relevantes quanto a causa física e apontou a semelhança entre as falhas de cultura que contribuíram para as duas tragédias, recorrendo explicitamente ao conceito formulado por Vaughan (COLUMBIA ACCIDENT INVESTIGATION BOARD, 2003). O caso demonstra que a experiência de um acidente anterior não protege, por si só, uma organização contra a repetição do mesmo mecanismo.

Na indústria de armazenamento de combustíveis, o incidente de Buncefield, no Reino Unido, oferece exemplo particularmente instrutivo. Em 11 de dezembro de 2005, um tanque de gasolina transbordou durante o recebimento de produto por duto, formando uma extensa nuvem de vapor que explodiu e originou um dos maiores incêndios registrados na Europa em tempos de paz. A investigação constatou que o medidor automático de nível havia apresentado travamentos recorrentes nos meses anteriores e que a chave independente de nível alto, destinada a interromper o enchimento, encontrava-se inoperante (MAJOR INCIDENT INVESTIGATION BOARD, 2008). As falhas repetidas do instrumento foram tratadas como problema de manutenção rotineira, sem análise de suas implicações para a proteção contra transbordamento.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

Kletz (1993) sintetizou o fenômeno na afirmação de que as organizações não têm memória e de que os acidentes, por isso, se repetem. Segundo o autor, as lições extraídas de um evento grave tendem a se perder à medida que os profissionais envolvidos mudam de função, se aposentam ou deixam a empresa, e as razões que justificavam determinados procedimentos deixam de ser conhecidas por quem os executa. O desastre de Piper Alpha, em 1988, que causou 167 mortes no Mar do Norte, envolveu falhas no sistema de permissão de trabalho e na comunicação entre turnos, de modo que a informação sobre a retirada de uma válvula de segurança para manutenção não chegou à equipe que colocou a bomba correspondente em operação (CULLEN, 1990).

A literatura sobre aprendizagem a partir de incidentes procurou explicar por que a investigação nem sempre produz mudanças duradouras. Kjellén (2000) descreveu a prevenção como um sistema de retroalimentação da experiência, cuja eficácia depende da qualidade da coleta de dados, da análise e da implementação das medidas corretivas. Lindberg, Hansson e Rollenhagen (2010) propuseram um modelo em cadeia, composto pelas etapas de relato, seleção, investigação, disseminação e prevenção, e mostraram que a ruptura de qualquer elo compromete o conjunto. Drupsteen e Guldenmund (2014), ao revisar a literatura sobre o tema, concluíram que a aprendizagem só se completa quando há mudança efetiva em práticas, estruturas ou crenças organizacionais, o que vai muito além da produção de um relatório.

7 ANÁLISE DE CAUSA RAIZ, ALCANCE E LIMITES

A análise de causa raiz designa um conjunto de técnicas destinadas a identificar os fatores subjacentes de um evento indesejado, de modo que as ações corretivas atuem sobre as origens do problema e não apenas sobre seus sintomas imediatos. No contexto da segurança de processos, o Center for Chemical Process Safety (2003) orienta que a investigação avance das causas imediatas, geralmente associadas a falhas de equipamento ou de execução de tarefas, até as deficiências nos sistemas de gestão que permitiram sua ocorrência. A diretriz reconhece que incidentes complexos raramente possuem causa única e que a expressão causa raiz, no singular, pode induzir a simplificações indevidas. O objetivo declarado é produzir recomendações capazes de evitar não apenas a repetição do mesmo evento, mas também de eventos análogos.

Os métodos disponíveis variam consideravelmente em estrutura e profundidade. O diagrama de causa e efeito difundido por Ishikawa (1990) organiza possíveis causas em categorias e favorece a discussão em grupo, enquanto a técnica dos cinco porquês, associada por Ohno (1997) ao sistema de produção da Toyota, busca alcançar a origem do problema por meio de perguntas sucessivas. Sklet (2004)

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

comparou métodos de investigação mais elaborados, como a análise de barreiras, a análise de mudanças, a árvore de falhas, o diagrama de eventos e fatores causais, o método MORT e a técnica AcciMap, e mostrou que eles diferem quanto ao nível de análise, à capacidade de representar a dimensão temporal e à inclusão de fatores organizacionais e regulatórios.

A popularidade das técnicas mais simples contrasta com críticas consistentes quanto à sua capacidade explicativa. Card (2017) argumenta que os cinco porquês conduzem a uma única cadeia causal linear, tornam o resultado fortemente dependente do conhecimento e da perspectiva de quem conduz a análise, de modo que equipes diferentes podem chegar a causas distintas para o mesmo evento. Peerally et al. (2017), ao examinar a aplicação da análise de causa raiz em serviços de saúde, identificaram problemas recorrentes, como investigações de baixa qualidade, foco excessivo na identificação de uma causa singular, fragilidades na independência e na qualificação das equipes de investigação e predomínio de recomendações frágeis, tais como treinamentos adicionais, lembretes e revisões de procedimento, em detrimento de mudanças estruturais nos sistemas de trabalho.

Lundberg, Rollenhagen e Hollnagel (2009) analisaram oito manuais de investigação de acidentes e demonstraram que o modelo de causalidade subjacente a cada manual determina o que os investigadores procuram e, consequentemente, o que encontram, princípio que sintetizaram na expressão what you look for is what you find. Os autores acrescentam que aquilo que se encontra condiciona, por sua vez, aquilo que se corrige. Dekker (2014) contribui para essa discussão ao contrapor uma visão antiga do erro humano, que o trata como causa do acidente, a uma visão nova, que o entende como sintoma de problemas mais profundos do sistema. O autor também alerta para o viés retrospectivo, que leva o investigador a julgar decisões passadas com informações que não estavam disponíveis para quem as tomou.

Essas críticas não invalidam a análise de causa raiz, mas indicam as condições para que ela seja útil. Investigações de eventos com potencial de acidente maior requerem equipes multidisciplinares, independência em relação à área envolvida, uso de métodos capazes de representar múltiplos fatores contribuintes e explicitação do modelo de acidente adotado. Leveson (2011) propõe que a análise examine por que cada nível da estrutura de controle, desde a operação até a alta gestão e os órgãos reguladores, deixou de impor as restrições de segurança necessárias. Hollnagel (2004) acrescenta que as recomendações devem ser avaliadas segundo a natureza das barreiras que pretendem criar ou fortalecer, uma vez que barreiras físicas e funcionais tendem a ser mais robustas que barreiras simbólicas, como avisos e instruções escritas.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

8 HAZOP E A ANTECIPAÇÃO SISTEMÁTICA DE DESVIOS

Enquanto a investigação de incidentes trabalha sobre eventos já ocorridos, o estudo de perigo e operabilidade, conhecido pela sigla HAZOP, busca antecipar desvios antes que eles se manifestem. A técnica foi desenvolvida na Imperial Chemical Industries, no Reino Unido, durante a década de 1960, e teve sua primeira descrição amplamente divulgada em artigo de Lawley (1974). Kletz (1999) dedicou parte importante de sua obra à difusão do método, que consiste em dividir a instalação em nós de estudo e aplicar palavras-guia, como “nenhum”, “mais”, “menos”, “reverso” e “outro que não”, aos parâmetros de processo, a exemplo de vazão, pressão, temperatura e nível. Para cada desvio resultante, a equipe identifica causas, consequências, salvaguardas existentes e recomendações.

A norma IEC 61882 estabelece os princípios de aplicação do método, incluindo a composição da equipe, as atribuições do líder e do relator, a documentação de referência e o registro dos resultados (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2016). A eficácia do estudo depende de um grupo multidisciplinar que reúna conhecimento de projeto, operação, manutenção, instrumentação e segurança, conduzido por um facilitador com domínio da técnica e independência suficiente para questionar premissas. O Center for Chemical Process Safety (2008) situa o HAZOP entre os principais procedimentos de avaliação de perigos, ao lado de técnicas como o What If, a análise de modos de falha e efeitos e a árvore de falhas, e discute os critérios de escolha conforme a fase do ciclo de vida e a complexidade da instalação.

A importância da avaliação sistemática de perigos tornou-se evidente após o desastre de Flixborough, ocorrido em 1º de junho de 1974 no Reino Unido. Em uma planta de oxidação de ciclo-hexano, um dos reatores de uma série foi retirado de operação por apresentar trinca, e os reatores adjacentes foram interligados por uma tubulação provisória instalada sem projeto de engenharia nem avaliação dos esforços a que seria submetida. A falha dessa conexão liberou grande quantidade de ciclo-hexano, e a explosão da nuvem resultante causou 28 mortes e destruiu a instalação (PARKER et al., 1975). O tribunal de inquérito constatou que a modificação foi tratada como intervenção rotineira, sem que se reconhecesse a necessidade de avaliação de engenharia, e o caso tornou-se referência para a consolidação dos procedimentos de gestão de mudanças, segundo os quais alterações temporárias exigem o mesmo rigor de análise de perigos aplicado ao projeto original.

O método possui limitações reconhecidas na literatura. Dunjó et al. (2010), em revisão sobre o tema, apontaram o elevado consumo de tempo e de recursos e a forte dependência da experiência e da composição da equipe, além de descreverem as diversas adaptações desenvolvidas para ampliar seu alcance, inclusive com apoio computacional. Baybutt (2015) apresentou uma crítica detalhada ao

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

HAZOP, destacando, entre outros aspectos, que a estrutura baseada em desvios de parâmetros não garante a identificação de todos os cenários relevantes e que a qualidade do resultado depende fortemente da equipe e do facilitador. A essas limitações somam-se dificuldades práticas conhecidas, como a extensão das sessões, que tende a reduzir a atenção dos participantes e, por consequência, a abrangência da análise.

A integração entre o HAZOP e a investigação de incidentes constitui um ponto frequentemente negligenciado. A norma de gestão de segurança de processos norte-americana determina que as análises de perigos sejam atualizadas e revalidadas pelo menos a cada cinco anos (ESTADOS UNIDOS, 1992), e essa revalidação deveria incorporar sistematicamente os eventos ocorridos no período. Um incidente cujo cenário não constava do estudo revela uma lacuna na identificação de perigos, e uma salvaguarda creditada no estudo que falhou na operação revela uma premissa que precisa ser revista. Leveson (2011) propõe técnicas de análise de perigos fundamentadas em teoria de controle como complemento aos métodos tradicionais, especialmente em sistemas nos quais interações entre componentes e decisões humanas têm papel determinante.

9 CULTURA DE SEGURANÇA COMO CONDIÇÃO PARA INVESTIGAR E APRENDER

Nenhum método de investigação produz resultados se os eventos não forem relatados e se as conclusões não puderem ser discutidas abertamente. Essa constatação explica a centralidade que o conceito de cultura de segurança adquiriu a partir do final da década de 1980. Guldenmund (2000), em revisão extensa sobre o tema, identificou grande diversidade de definições e de abordagens metodológicas, mas também um núcleo comum, que associa a cultura de segurança aos valores, crenças e pressupostos compartilhados que orientam o comportamento em relação ao risco. Zohar (1980), em estudo pioneiro realizado em organizações industriais, introduziu o conceito de clima de segurança para designar as percepções compartilhadas pelos trabalhadores sobre a prioridade efetiva atribuída à segurança pela organização.

Reason (1997) propôs que uma cultura de segurança efetiva corresponde, essencialmente, a uma cultura informada, na qual os responsáveis pelo sistema conhecem os fatores humanos, técnicos e organizacionais que determinam sua segurança. Para alcançá-la, a organização precisa desenvolver uma cultura de relato, em que as pessoas se disponham a comunicar erros e quase acidentes, uma cultura justa, que distinga de modo claro os comportamentos aceitáveis dos inaceitáveis, uma cultura flexível, capaz de adaptar sua estrutura em situações de crise, e uma cultura de aprendizagem, apta a extrair conclusões corretas dos dados disponíveis e a implementar as mudanças necessárias. A cultura

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

justa ocupa posição central nesse arranjo, porque o receio de punição é uma das principais causas da subnotificação.

Westrum (2004) formulou uma tipologia baseada na forma como as organizações tratam a informação. Nas organizações patológicas, a informação é utilizada como instrumento de poder, os mensageiros de más notícias são desencorajados ou punidos e as falhas são ocultadas. Nas burocráticas, a informação segue canais formais, as responsabilidades são compartimentadas e as falhas geram respostas locais e limitadas. Nas generativas, por sua vez, a informação circula ativamente, os mensageiros são preparados e valorizados, as responsabilidades são compartilhadas e as falhas desencadeiam investigação e reforma. O autor argumenta que a qualidade do fluxo de informação é um indicador confiável da segurança de uma organização, justamente porque determina se os sinais de perigo chegam a quem pode agir sobre eles.

Hudson (2003) desenvolveu um modelo de maturidade que descreve a evolução da cultura de segurança em cinco estágios, denominados patológico, reativo, calculativo, proativo e generativo. Nos estágios iniciais, a segurança é vista como problema causado pelos trabalhadores e tratada após a ocorrência de acidentes. No estágio calculativo, predominam sistemas de gestão formalizados e grande volume de dados, sem que haja necessariamente compreensão do que eles significam. Nos estágios superiores, a organização passa a buscar ativamente os problemas antes que eles se manifestem e a tratar a segurança como parte integrante do negócio. O modelo tem sido utilizado como ferramenta de diagnóstico em indústrias de alto risco, e sua lógica coincide com a passagem de uma investigação reativa para uma gestão orientada por precursores.

O relatório do Chemical Safety and Hazard Investigation Board sobre Texas City atribuiu parte relevante do acidente a deficiências na cultura de segurança da organização, incluindo cortes de custos que afetaram manutenção e segurança e a falta de supervisão efetiva da alta liderança sobre o desempenho em segurança de processos (ESTADOS UNIDOS, 2007). Baker et al. (2007) recomendaram que a liderança da empresa assumisse papel direto na promoção de uma cultura de segurança de processos positiva e confiável. Hollnagel (2014) amplia essa discussão ao sugerir que a organização aprenda também com o funcionamento cotidiano bem-sucedido, e não apenas com as falhas, o que pressupõe proximidade entre gestores e a realidade operacional e reconhecimento do conhecimento prático das equipes de linha de frente.

10 CONCLUSÃO

A análise desenvolvida neste artigo permite afirmar que os acidentes maiores da indústria química,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

petroquímica e energética não surgem de forma súbita nem resultam de uma única falha. Os relatórios oficiais examinados e a literatura científica convergem na constatação de que esses eventos são precedidos por períodos prolongados de acumulação de desvios, durante os quais a informação necessária para a prevenção estava disponível, ainda que dispersa, fragmentada ou subestimada pelas estruturas responsáveis por interpretá-la.

A distinção entre segurança de processos e segurança ocupacional revelou-se ponto de partida indispensável para a discussão. Organizações que avaliam seu desempenho exclusivamente por taxas de lesões individuais podem apresentar resultados favoráveis enquanto as barreiras de contenção de inventários perigosos se deterioram. O caso de Texas City evidencia que indicadores inadequados não são apenas instrumentos imperfeitos de medição, pois também orientam a atenção gerencial e a alocação de recursos em direções que deixam o risco principal sem tratamento.

A evolução dos modelos de acidente, desde a sequência linear proposta por Heinrich até as abordagens sistêmicas de Rasmussen, Leveson e Hollnagel, mostra que a forma de compreender a causalidade condiciona diretamente a qualidade da investigação. Quando o modelo adotado privilegia o erro individual, a investigação tende a encerrar-se na identificação de um responsável e em recomendações de treinamento, sem alcançar as condições latentes que tornariam o mesmo erro provável em outras circunstâncias e com outras pessoas.

Os quase acidentes e os eventos de baixa consequência constituem a fonte mais abundante e menos onerosa de conhecimento sobre o estado das salvaguardas. Seu aproveitamento, contudo, depende de que sejam classificados pelo potencial de gravidade e de que pertençam ao mesmo percurso causal dos eventos catastróficos. A pirâmide de proporções, quando interpretada sem esse cuidado, pode induzir a crença equivocada de que a redução de pequenas lesões basta para prevenir explosões, incêndios e liberações tóxicas de grande porte.

A normalização do desvio aparece como um dos mecanismos mais insidiosos identificados na revisão. Os casos Challenger, Columbia e Buncefield demonstram que anomalias recorrentes, quando não produzem consequências imediatas, tendem a ser reinterpretadas como condições aceitáveis de operação. Esse processo ocorre por meio de decisões tecnicamente justificadas segundo os critérios vigentes, o que o torna difícil de perceber a partir do interior da própria organização e reforça a necessidade de mecanismos independentes de revisão e questionamento.

A análise de causa raiz mantém valor quando aplicada com rigor metodológico, equipes multidisciplinares, independência e explicitação do modelo de acidente adotado. As críticas dirigidas às técnicas mais simples, especialmente quanto à produção de cadeias causais únicas e de recomendações frágeis, indicam que a escolha do método deve ser proporcional ao potencial de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

gravidade do evento investigado. Investigações superficiais de eventos com potencial catastrófico desperdiçam justamente as oportunidades de aprendizagem mais valiosas.

O HAZOP permanece como uma das ferramentas mais consolidadas de antecipação de desvios no setor, mas sua eficácia depende da qualidade da equipe, da condução do estudo e, sobretudo, da sua atualização contínua com base na experiência operacional. A integração entre a investigação de incidentes e a revalidação dos estudos de perigo transforma eventos ocorridos em informação estruturada sobre lacunas na identificação de cenários e sobre salvaguardas cuja confiabilidade foi superestimada no projeto ou na operação.

Por fim, a revisão demonstra que métodos, normas e indicadores não produzem aprendizagem em ambientes nos quais o relato de falhas é desencorajado, a informação circula de forma restrita e a investigação se limita a atribuir culpa. A cultura de segurança, entendida como o conjunto de valores e práticas que determina o tratamento dado à informação sobre o risco, constitui a condição para que os demais instrumentos funcionem. Recomenda-se, para estudos futuros, a realização de pesquisas empíricas em plantas industriais de diferentes países, com o objetivo de avaliar como esses elementos se combinam na prática e quais arranjos organizacionais favorecem a passagem de uma gestão reativa para uma gestão efetivamente orientada por precursores.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. M. de. Trajetória da análise de acidentes: o paradigma tradicional e os primórdios da ampliação da análise. **Interface: Comunicação, Saúde, Educação**, Botucatu, v. 10, n. 19, p. 185-202, 2006.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP 754**: process safety performance indicators for the refining and petrochemical industries. 2. ed. Washington, DC: API, 2016.

BAKER, J. A. et al. **The report of the BP U.S. Refineries Independent Safety Review Panel**. [S. l.]: BP U.S. Refineries Independent Safety Review Panel, 2007.

BAYBUTT, P. A critique of the Hazard and Operability (HAZOP) study. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 33, p. 52-58, 2015.

BIRD, F. E.; GERMAIN, G. L. **Practical loss control leadership**. Loganville: International Loss Control Institute, 1985.

CARD, A. J. The problem with '5 whys'. **BMJ Quality & Safety**, v. 26, n. 8, p. 671-677, 2017.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Guidelines for investigating chemical process incidents**. 2. ed. New York: American Institute of Chemical Engineers, 2003.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Guidelines for risk based process safety**.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

Hoboken: Wiley, 2007.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Guidelines for hazard evaluation procedures**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2008.

COLUMBIA ACCIDENT INVESTIGATION BOARD. **Report**. Washington, DC: Government Printing Office, 2003. v. 1.

CULLEN, W. D. **The public inquiry into the Piper Alpha disaster**. London: HMSO, 1990.

DEKKER, S. **The field guide to understanding 'human error'**. 3. ed. Farnham: Ashgate, 2014.

DRUPSTEEN, L.; GULDENMUND, F. W. What is learning? A review of the safety literature to define learning from incidents, accidents and disasters. **Journal of Contingencies and Crisis Management**, v. 22, n. 2, p. 81-96, 2014.

DUNJÓ, J. et al. Hazard and operability (HAZOP) analysis: a literature review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 173, n. 1-3, p. 19-32, 2010.

ESTADOS UNIDOS. Occupational Safety and Health Administration. **29 CFR 1910.119**: process safety management of highly hazardous chemicals. Washington, DC: OSHA, 1992.

ESTADOS UNIDOS. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. **Investigation report**: refinery explosion and fire, BP Texas City, Texas, March 23, 2005. Report n. 2005-04-I-TX. Washington, DC: CSB, 2007.

GULDENMUND, F. W. The nature of safety culture: a review of theory and research. **Safety Science**, v. 34, n. 1-3, p. 215-257, 2000.

HEINRICH, H. W. **Industrial accident prevention**: a scientific approach. New York: McGraw-Hill, 1931.

HOLLNAGEL, E. **Barriers and accident prevention**. Aldershot: Ashgate, 2004.

HOLLNAGEL, E. **Safety-I and Safety-II**: the past and future of safety management. Farnham: Ashgate, 2014.

HOPKINS, A. **Failure to learn**: the BP Texas City refinery disaster. Sydney: CCH Australia, 2008.

HOPKINS, A. Thinking about process safety indicators. **Safety Science**, v. 47, n. 4, p. 460-465, 2009.

HUDSON, P. Applying the lessons of high risk industries to health care. **Quality and Safety in Health Care**, v. 12, supl. 1, p. i7-i12, 2003.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61882**: hazard and operability studies (HAZOP studies), application guide. 2. ed. Geneva: IEC, 2016.

ISHIKAWA, K. **Introduction to quality control**. Tokyo: 3A Corporation, 1990.

JONES, S.; KIRCHSTEIGER, C.; BJERKE, W. The importance of near miss reporting to further

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

improve safety performance. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 12, n. 1, p. 59-67, 1999.

KJELLÉN, U. **Prevention of accidents through experience feedback**. London: Taylor & Francis, 2000.

KLETZ, T. **Lessons from disaster**: how organizations have no memory and accidents recur. Rugby: Institution of Chemical Engineers, 1993.

KLETZ, T. **Hazop and hazan**: identifying and assessing process industry hazards. 4. ed. Rugby: Institution of Chemical Engineers, 1999.

LAWLEY, H. G. Operability studies and hazard analysis. **Chemical Engineering Progress**, v. 70, n. 4, p. 45-56, 1974.

LEVESON, N. A new accident model for engineering safer systems. **Safety Science**, v. 42, n. 4, p. 237-270, 2004.

LEVESON, N. G. **Engineering a safer world**: systems thinking applied to safety. Cambridge, MA: MIT Press, 2011.

LINDBERG, A.-K.; HANSSON, S. O.; ROLLENHAGEN, C. Learning from accidents: what more do we need to know? **Safety Science**, v. 48, n. 6, p. 714-721, 2010.

LUNDBERG, J.; ROLLENHAGEN, C.; HOLLNAGEL, E. What-You-Look-For-Is-What-You-Find: the consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. **Safety Science**, v. 47, n. 10, p. 1297-1311, 2009.

MAJOR INCIDENT INVESTIGATION BOARD. **The Buncefield incident 11 December 2005**: the final report of the Major Incident Investigation Board. [S. l.]: MIIB, 2008.

MANUELE, F. A. Reviewing Heinrich: dislodging two myths from the practice of safety. **Professional Safety**, v. 56, n. 10, p. 52-61, 2011.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PARKER, R. J. et al. **The Flixborough disaster**: report of the Court of Inquiry. London: HMSO, 1975.

PEERALLY, M. F. et al. The problem with root cause analysis. **BMJ Quality & Safety**, v. 26, n. 5, p. 417-422, 2017.

PERROW, C. **Normal accidents**: living with high-risk technologies. New York: Basic Books, 1984.

PHIMISTER, J. R. et al. Near-miss incident management in the chemical process industry. **Risk Analysis**, v. 23, n. 3, p. 445-459, 2003.

RASMUSSEN, J. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. **Safety Science**, v. 27, n. 2-3, p. 183-213, 1997.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 15/02/2026 | aceito: 20/02/2026 | publicação: 25/02/2026

REASON, J. **Human error**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

REASON, J. **Managing the risks of organizational accidents**. Aldershot: Ashgate, 1997.

SKLET, S. Comparison of some selected methods for accident investigation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 111, n. 1-3, p. 29-37, 2004.

TURNER, B. A. **Man-made disasters**. London: Wykeham Publications, 1978.

VAUGHAN, D. **The Challenger launch decision**: risky technology, culture, and deviance at NASA. Chicago: University of Chicago Press, 1996.

WESTRUM, R. A typology of organisational cultures. **Quality and Safety in Health Care**, v. 13, supl. 2, p. ii22-ii27, 2004.

ZOHAR, D. Safety climate in industrial organizations: theoretical and applied implications. **Journal of Applied Psychology**, v. 65, n. 1, p. 96-102, 1980.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.