

Relevância do Risco Na-Tech na Tradicional Avaliação Quantitativa de Risco

José Carlos de Moura Xavier, Wilson Cabral de Sousa Junior

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil

José Carlos de Moura Xavier

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Brasil

Resumo

Risco na-tech é aquele imposto por um empreendimento industrial a terceiro (população no seu entorno) em decorrência da possibilidade da ocorrência de evento [na-tech] envolvendo a perda de contenção de reservatório motivada por causas naturais. A tradicional avaliação quantitativa de risco (AQR) considera a possibilidade de ocorrência da perda de contenção motivada por falhas humana, de gestão ou de equipamentos. Causas naturais são comumente desconsideradas em decorrência das suas baixas frequências de ocorrência. Esta pesquisa investigou se o risco imposto por empreendimento industrial a terceiro é significativamente majorado se hipóteses na-tech forem adicionadas à tradicional AQR. Foi realizada para o litoral do estado de São Paulo no período de 1940-2015. A região é propensa à ocorrência de evento na-tech devido à presença de unidades industriais e histórico de escorregamentos e inundações. Sob a ótica do risco, a região é de interesse devido à elevada ocupação humana. Foram identificados 15 eventos na-tech, sendo dez associados a inundações. Caracterizaram-se por atingir equipamentos abertos e instalados ao nível do solo, caso das estações de tratamento de efluentes e galpões de armazenamento. Não houve relato de envolvimento de tanques atmosféricos ou pressurizados. Não houve menção a incêndio ou explosão. Não houve menção a pessoas atingidas pela dispersão atmosférica das substâncias ou a fatalidade humana. Considerando a ausência de hipótese crível e de fatalidades a ela atribuível e as métricas risco individual e risco social da AQR, o risco imposto ao ser humano por empreendimentos industriais localizados na região costeira do estado de São Paulo e que manipulam substâncias perigosas decorrente de eventos na-tech (risco na-tech) é negligenciável.

1. Introdução

Risco na-tech é aquele imposto por um empreendimento industrial a terceiro (população no seu entorno) em decorrência da possibilidade da ocorrência de evento [na-tech] envolvendo a perda de contenção de um reservatório motivada por inundação, escorregamento, terremoto ou raio, entre outras causas naturais [1, 2].

A literatura científica mostra que 1% a 5,5% dessas perdas de contenção decorrem de eventos naturais, caracterizando o evento na-tech [3 - 5].

A tradicional avaliação quantitativa de risco (AQR) considera a possibilidade de ocorrência de evento envolvendo a perda de contenção de um reservatório motivada por falha em equipamentos, falha humana ou falha de gestão. Causas naturais são comumente desconsideradas em decorrência da parcela pequena de eventos [6, 7].

Esta pesquisa investigou se o risco imposto por empreendimento industrial a terceiro é significativamente majorado se hipóteses na-tech forem adicionadas à tradicional AQR. Foi realizada para o

litoral do estado de São Paulo, região propensa à ocorrência de evento na-tech devido à presença de unidades industriais e histórico de escorregamentos e inundações. Sob a ótica do risco, a região é de interesse devido à elevada ocupação humana.

A base conceitual para a estimativa do risco na-tech é recente, embora a literatura científica mencione estudos que relatam ocorrências, prospectam bancos de dados e propõem modelos determinísticos e probabilísticos desde os anos 1980 [6].

A literatura científica dessa época é predominantemente norte-americana e voltada para eventos na-techs provenientes de terremotos. Os trabalhos de Shih [8] e Kiremidjian et al. [9] sobre modelos determinísticos e probabilísticos, respectivamente, para danos em instalações industriais decorrentes de terremotos exemplificam a pesquisa realizada à época.

A Europa sinalizou interesse pelo tema na década seguinte com o trabalho de Rasmussen [3], do Joint Research Centre (JRC), centro de pesquisa da União Europeia. O autor investigou a ocorrência de na-techs no continente a partir de pesquisa a bancos de dados de acidentes europeus e americano. O interesse se consolidou nos anos 2000 e será evidenciado nos próximos parágrafos.

Cruz et al. [10], ao investigarem o estado da arte no gerenciamento do risco na-tech durante encontro promovido pelo JRC em 2004, mostraram que dos artigos apresentados por representantes de seis países europeus e dos Estados Unidos da América cinco indicaram que o país não apresentava sistema específico de gerenciamento desse risco. Mostraram a ausência de legislação específica embora apontassem diversas iniciativas que indiretamente abrangiam o tema, caso da Diretiva Seveso II [11]. Os autores não mencionaram a presença de método para estimativa do risco na-tech.

O método surge a partir de 2007 nos trabalhos de Antonioni, Spadoni e Cozzani [12], Campedel [13] e Antonioni et al. [1]. Foi proposto para eventos na-tech (ou simplesmente na-techs daqui por diante) associados a terremotos [12], inundações [13] ou ambos [1]. Era alinhado à AQR tradicional, em que se formulam hipóteses acidentais, estimam-se as frequências e os danos dessas hipóteses e, por fim, estima-se o risco por meio dos indicadores risco individual e risco social. A frequência do na-tech era estimada a partir da frequência do evento natural e da probabilidade de dano do equipamento afeito a cada hipótese. O quadro 1 contém as etapas para desenvolver uma AQR onde as hipóteses acidentais são hipóteses na-tech [1].

Quadro 1 – Etapas do desenvolvimento de uma AQR para na-techs (adaptado e modificado de [1])

Nº	Etapas	Necessidade
1	Caracterização do evento externo	Parâmetros de frequência e de severidade
2	Identificação do equipamento alvo	Lista dos equipamentos alvo
3	Identificação dos estados de dano e hipóteses de referência	Árvores de eventos que definem estados de danos
4	Estimação da probabilidade de dano (dado um vetor impacto)	Modelos de dano de equipamentos
5	Avaliação de efeitos físicos da hipótese de referência	Modelos de análise de consequências
6	Identificação das combinações críveis de eventos	
7	Estimativa de frequências e de probabilidades para cada combinação	
8	Estimativa de efeitos físicos para cada combinação	
9	Estimativa de indicadores de risco	

Os anos 2010 consolidaram a estrutura lógica de incorporação de hipóteses acidentais decorrentes de na-techs na AQR tradicional. Essa estrutura, proposta por [1], foi testada por alguns dos autores citados nos parágrafos anteriores, sendo aplicada a na-techs decorrentes de terremotos, inundações e raios. Os modelos que representam o impacto e a frequência dos na-techs ainda são tema de interesse e aperfeiçoamento, como

veremos a seguir.

Como dito, a frequência do na-tech decorre da frequência do evento natural e da probabilidade de dano do equipamento afeito a cada hipótese. A frequência do na-tech devido à inundação está associada aos parâmetros altura máxima da lâmina d'água e velocidade máxima da água, que expressam a severidade da inundação [1, 14, 15]. Para terremotos e inundações, Santella, Steinberg e Aguirra [16] estimaram a probabilidade condicional de ocorrência de na-techs nos Estados Unidos da América a partir de registros em diferentes bases de dados. O método adotado relativiza o número de na-techs pelo número de instalações industriais presentes na região de interesse e pela intensidade do evento natural.

Tanques atmosféricos e pressurizados são os equipamentos que predominam nos na-techs [17]. Para tanques atmosféricos, o adernamento (buckling) é o principal modo de falha observado quando o tanque é submetido à pressão externa no seu costado. No caso dos tanques pressurizados, a resistência da conexão entre o tanque e o solo é determinante para a ocorrência de ruptura e perda de contenção em decorrência de uma inundação [14, 15]. Esses autores desenvolveram expressões matemáticas simples para estimar a capacidade de resistência dos tanques e a frequência de perda de contenção do tanque (f_{Loc}). A equação 1 mostra como estimar essa frequência.

$$f_{Loc} = \Psi f \quad (1)$$

onde f é a frequência de ocorrência de uma inundação com a intensidade caracterizada pelos parâmetros altura máxima da lâmina d'água e velocidade máxima da água. Ψ expressa a probabilidade de dano no tanque decorrente do balanço entre as forças de resistência e de deslocamento do tanque.

2. Descrição

Pode-se estimar o risco na-tech adotando-se o procedimento proposto na figura 1, o qual foi inspirado em [1, 18, p. 16].

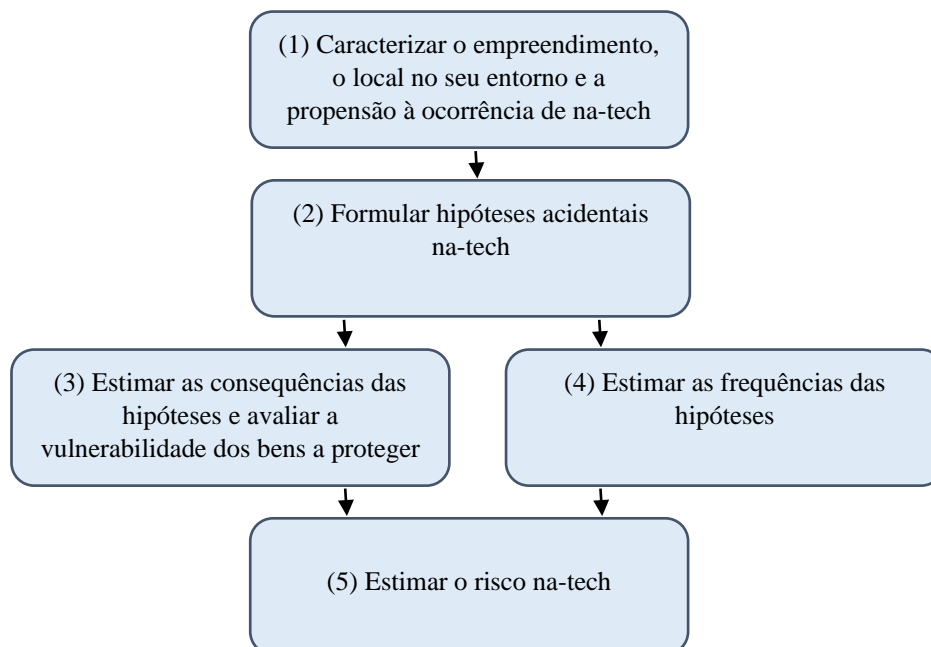


Figura 1 – Fluxograma das etapas para estimar o risco na-tech

Esta pesquisa debruçou-se sobre algumas das etapas deste procedimento, a saber: (3) estimar as consequências das hipóteses e avaliar a vulnerabilidade dos bens a proteger e (5) estimar o risco na-tech. As demais etapas foram abordadas em [7, 19], sendo brevemente lembradas a seguir.

A busca pela contribuição dos na-techs ao risco imposto ao ambiente, ser humano inclusive, por empreendimentos que manipulam substâncias perigosas foi estruturada em observações no período 1940-2015 na região costeira do estado de São Paulo. O período compreendeu o início da industrialização da região, a qual se caracteriza por eventos de precipitação elevada que motivaram inundações e escorregamentos, portanto propensa à ocorrência de na-techs.

Identificou-se quinze na-techs, dez deles em Cubatão e três em São Sebastião. Outros doze relatos sugerem na-techs, todos em Cubatão [19].

A predominância (10 em 15) em Cubatão aliada à quantidade e à diversidade de empresas, bem como às características geográficas e de ocupação humana, permitiu expressar a tendência de ocorrência de na-techs no período de interesse por meio de um índice quantitativo. Estimou-se uma frequência, relativizada ao número de empresas presentes no município [19]. O raciocínio subjacente à relativização decorre do interesse em comparar a frequência de Cubatão com outras estimadas para locais com presença maior ou menor de empresas. Essa lógica está evidente em [16, 5].

Outra forma de pensar o risco na-tech passou pela forte correlação entre a ocorrência de na-techs e a precipitação intensa nos dias que os precederam. Expressou-se a probabilidade de ocorrência dos na-techs condicionada a limiares de precipitação, com o intuito de utilizá-la, com algum cuidado, na AQR, em substituição à frequência de perda de contenção estimada pela equação 1 [7].

Para a consecução das etapas (3) e (5) da figura 1, a partir do quadro 3 presente em [19], construiu-se o quadro 2, o qual organiza os 15 na-techs de acordo com as substâncias vazadas, os equipamentos envolvidos e as suas causas imediatas.

3. Resultados e Discussão

Os na-techs do quadro 2 associados a inundações caracterizaram-se por atingir equipamentos abertos e instalados ao nível do solo, caso das estações de tratamento de efluentes e galpões de armazenamento. Não há relato de envolvimento de tanques atmosféricos ou pressurizados. Não há menção a incêndio ou explosão. Não há menção a pessoas atingidas pela dispersão atmosférica das substâncias. Não há menção a monitoramento dos corpos d'água nos dias subsequentes aos na-techs, embora seja razoável inferir algum dano à fauna próxima [19].

A ausência de fatalidade humana também foi apontada por [5] ao investigarem a ocorrência de na-techs na rede de dutos *on-shore* de transporte de líquidos perigosos dos Estados Unidos da América entre 1986-2012. O encontro é relevante, pois a métrica adotada na AQR para expressar risco tem como valores de referência (ou *end points*) concentrações de substâncias tóxicas, intensidade de radiação térmica ou intensidade de sobrepressão suficientes para causar fatalidade ao ser humano.

A constatação de que corpos d'água foram atingidos pelos vazamentos se alinha ao já apontado por [17], que em pesquisa a bancos de dados europeus e americano identificou a contaminação da água como o efeito mais registrado. Já [5] mostraram que 48% dos na-techs resultaram em lançamentos no solo, 28% em corpos d'água e 14% na atmosfera.

Hipóteses críveis são desejáveis em uma AQR, embora seja possível considerar aquelas que envolvem, por exemplo, a ruptura catastrófica de um tanque pressurizado, com frequência de 5.10^{-7}ano^{-1} [20, p. 3.3], baixa, mas estimada a partir de eventos observados. Para Cubatão, formular hipóteses envolvendo, por exemplo, vazamentos em tanques atmosféricos e tratá-las quantitativamente adotando o método de [14] confronta o pressuposto da hipótese crível, já que esse evento não foi observado nos 76 anos abrangidos pela pesquisa.

Decorre o devido cuidado nas conclusões por parte deste pesquisador. Ainda assim, chama a atenção a afirmação de parte da literatura citada nesta pesquisa que o risco decorrente de na-techs é significativo [15] e, em alguns casos, superior ao decorrente de causas internas de um empreendimento industrial [21, 22]. Bancos de dados de acidentes envolvendo a liberação de substâncias perigosas mostram que a percentagem de na-techs varia de 1 a 5,5% do total de ocorrências [3 - 5], com ausência [5] ou pequeno número de

Quadro 2 – Aspectos que caracterizam os na-techs

Identificador	Data	Substância vazada	Equipamento	Causa imediata
CUB 01	25.01.1985	Amônia	Duto	Movimento do solo
CUB 02	09.03.1988	Gás residual (<i>tailgas</i>)	Duto	Movimento do solo
CUB 03	05.02.1989	Amônia	Duto	Movimento do solo
CUB 04	16.01.1992	Resíduo oleoso	Estação de tratamento de efluentes	Inundação
CUB 05	08.02.1998	Resíduo oleoso	Estação de tratamento de efluentes	Inundação
CUB 06	11.01.1999	Não identificado	Galpão de armazenagem de sólidos (supostamente)	Inundação
CUB 07	15.01.2011	Resíduo oleoso	Estação de tratamento de efluentes	Inundação
CUB 08	22.02.2013	Resíduo oleoso	Estação de tratamento de efluentes (local 1)	Inundação
		Resíduo oleoso	Estação de tratamento de efluentes (local 2)	Inundação
		Cloro	Cilindro 900kg (local 3)	Movimento do solo
CUB 09	17.03.2013	Resíduo oleoso	Estação de tratamento de efluentes	Inundação
SSB 10	18.03.1974	Petróleo	Tanque de navio	Vento e correnteza
SSB 11	14.01.2010	Resíduo oleoso	Caixas de drenagem de filtros	Precipitação intensa
PGD 12	13.04.2007	Diesel	Tanques subterrâneos	Inundação
SAN 13	10.10.1991	Acrilonitrila	Tanque vertical atmosférico	Raio
		Hexano		
SSB 14	19.08.1976	Petróleo	Braços de descarga	Vento
CUB 15	01.02.1983	Ureia, sulfato (??)	Galpão de armazenagem de sólidos (supostamente)	Inundação

Considerando a métrica comum à AQR tradicional, onde os estimadores risco individual e risco social têm como valores de referência concentrações ou intensidades que levam à fatalidade humana, hipóteses na-tech não deveriam indicar número de fatalidades superior ao das hipóteses tradicionais, decorrentes de falhas internas do empreendimento.

Como menciona [24] em sua análise sobre o uso de AQR para quantificar segurança, há diversas abordagens na consecução do método que podem gerar resultados diferentes e de difícil reconhecimento, geralmente associadas ao uso de softwares para a estimação de impactos (ou consequências) e a estimação do risco. Isso faz com que o método, embora bastante utilizado e inserido em legislações de países, esteja longe de ser padronizado.

Não obstante a pequena ou negligenciável contribuição ao risco, a pesquisa mostrou que os na-techs atingiram predominantemente corpos d'água próximos às empresas. Para Cubatão, deve-se ampliar a estratégia de proteção dos empreendimentos industriais estabelecida a partir de 1986 com a criação da comissão especial para a restauração da Serra do Mar na região de Cubatão, que propôs nesse ano um plano de contingência para monitorar a quantidade de chuva e adotar medidas nas empresas potencialmente afetadas por deslizamentos [25].

Deslizamentos não são a principal causa de na-techs em Cubatão. Como mostra o quadro 2, seis dos

dez na-techs ocorridos no município decorreram exclusivamente de inundações e atingiram equipamentos abertos e instalados ao nível do solo.

Portanto, o gerenciamento público e o privado do parque industrial de Cubatão devem contemplar também a identificação de regiões propícias a inundações e observar a presença de equipamentos armazenando ou processando substâncias perigosas. Equipamentos instalados ao nível do solo e próximos a corpo d'água devem ser prioritariamente protegidos por barreiras físicas ou deslocados para locais apropriados.

As estimativas presentes em [7, 19] sobre frequências e os aspectos que caracterizaram os na-techs mostrados no quadro 2 são pertinentes a Cubatão e seu entorno. Contemplam as características geográficas, hidrológicas e de ocupação territorial locais. Estender as estimativas para outras regiões não é recomendável. Os métodos sim. Estes devem nortear outras estimativas, preferencialmente de âmbito local ou regional, de forma que reflitam as características próprias das regiões.

Aspectos metodológicos relativos à estimativa do risco na AQR também podem ser melhor examinados e, eventualmente, alterados, de forma a abranger os na-techs. Neste caso, as hipóteses acidentais avaliariam danos sobre outros bens ambientais que não o ser humano. De posse de critérios de tolerabilidade previamente estabelecidos e compatíveis com esses bens, pode-se tomar decisões. Essas podem ser por parte do empreendedor, ao escolher o local para o novo empreendimento, e podem ser por parte do órgão licenciador, que avaliará o projeto à luz de hipóteses na-tech.

4. Conclusão

Considerando a ausência de hipótese crível e de fatalidades a ela atribuível e as métricas risco individual e risco social da AQR, o risco imposto ao ser humano por empreendimentos industriais localizados na região costeira do estado de São Paulo e que manipulam substâncias perigosas decorrente de na-techs (risco na-tech) é negligenciável.

A conclusão é limitada (i) geograficamente à região costeira do estado de São Paulo e (ii) pela base de dados construída para esta pesquisa, proveniente predominantemente de notícias veiculadas na imprensa escrita. A sub-notificação e a identificação pouco clara sugere número maior de na-techs que os encontrados. A pesquisa identificou doze relatos sugestivos de na-tech.

Pode-se aperfeiçoar essa conclusão a partir do aumento dessa base, com registros de outras fontes. Entende-se que o empreendimento industrial envolvido no na-tech pode contribuir com informação exata acerca dos equipamentos envolvidos, das quantidades das substâncias liberadas para o ambiente, das medidas adotadas antes e depois do na-tech, do dano à vida humana e a outros bens ambientais, dos impactos econômicos e à imagem da empresa e, por fim, com lições aprendidas. A informação é relevante para entender a dinâmica do na-tech, a estimação do risco na-tech e a proposição de medidas de gerenciamento.

Outra fonte de informação são os registros do Órgão Ambiental local. É prevista em lei a autuação decorrente de emissão para o ambiente de substância perigosa, impondo-se penalidades de advertência ou de multa. Estas são comumente acompanhadas de exigências requerendo a apresentação de resultados de investigação do ocorrido. A recuperação desses registros contribuirá para o aperfeiçoamento da base, neste caso mostrando o na-tech sob a ótica do Órgão Ambiental.

O risco na-tech pode ser majorado por alterações do clima do planeta. O aumento da frequência e da intensidade dos fenômenos hidrometeorológicos está presente na literatura que aborda na-techs e sua influência na estimativa do risco na-tech para o litoral do estado de São Paulo deve ser investigada.

A despeito dos métodos para estimar o risco na-tech, entende-se pertinente adaptar os bancos de dados de registros de acidentes e desastres existentes no Brasil para registrar na-techs. Sobre uma estrutura já existente, pode-se ampliar a capacidade de identificá-los a partir dos registros de eventos provenientes de causa natural e com relato detalhado da evolução dos na-techs, buscando a ocorrência da perda de contenção de substância perigosa.

5. Referências

- [1] ANTONIONI, G. et al. "Development of a framework for the risk assessment of Na-tech accidental events". *Reliability Engineering and System Safety*, v.94, p. 1442, (2009).
- [2] KRAUSMANN, E; BARANZINI, D. "Natech risk reduction in the European Union". *Journal of Risk Research*, v.15, n.8, p. 1027, (2012).
- [3] RASMUSSEN, K. "Natural events and accidents with hazardous materials". *Journal of Hazardous Materials*, v.40, p. 43, (1995).
- [4] PETROVA, E. G. "Natural factors of technological accidents: the case of Russia". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v.11, p. 2227, (2011).
- [5] GIRGIN, S.; KRAUSMANN, E. "Historical analysis of U. S. onshore hazardous liquid pipeline accidents triggered by natural hazards". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v.40, p. 578, (2016).
- [6] XAVIER, J. C. de M. "Riscos de eventos na-tech sob mudanças climáticas na região costeira do estado de São Paulo". Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasil, (2017). Disponível em: <http://www.bdiita.bibl.ita.br/tesesdigitais/lista_resumo.php?num_tese=74078>. Acesso em: 18 set. 2021.
- [7] XAVIER, J. C. de M.; SOUSA JUNIOR, W. C. de "Probabilidade de evento na-tech condicionada a limiar de precipitação". *Congresso ABRISCO 2019*. ABRISCO (Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processo e Confiabilidade), Rio de Janeiro, Brasil, (2019).
- [8] SHIH, C-F. "Failure of liquid storage tanks due to earthquake excitation". EERL 81-04. Doctor of Philosophy Thesis. Pasadena: California Institute of Technology, (1981).
- [9] KIREMIDJIAN, A. et al. "Seismic to major industrial facilities". Report nº 72. Department of Civil and Environmental Engineering. California, USA: Stanford University, (1985).
- [10] CRUZ, A. M. et al. "State of the art in natech risk management (Natech: natural hazard triggering a technological disaster)". EUR 21292 EN. Italy: European Communities, (2004).
- [11] UNIÃO EUROPEIA. "Directiva 96/82/CE do Conselho de 9 de Dezembro de 1996 relativa ao controlo dos perigos associados a acidentes graves que envolvem substâncias perigosas. Estrasburgo, (1996). Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A31996L0082>>. Acesso em: 03 out. 2021.
- [12] ANTONIONI, G.; SPADONI, G.; COZZANI, V. "A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events". *Journal of Hazardous Materials*, v.147, p. 48, (2007).
- [13] CAMPEDEL, M. "Analysis of major industrial accidents triggered by natural events reported in the principal available chemical accident databases". EUR 23391 EN – 2008. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, (2008).
- [14] LANDUCCI, G. et al. "Release of hazardous substances in flood events: Damage model for atmospheric storage tanks". *Reliability Engineering and System Safety*, v.106, p. 200, (2012).
- [15] LANDUCCI, G. et al. "Damage models for storage and process equipment involved in flooding events". *Chemical Engineering Transactions*. v.31, p. 697, (2013).
- [16] SANTELLA, N.; STEINBERG, L. J.; AGUIRRA, G. A. "Empirical estimation of the conditional probability of natech events within the United States". *Risk Analysis*, v.31, n.6, p. 951, (2011).

- [17] COZZANI, V. et al. "Industrial accidents triggered by flood events: Analysis of past accidents". *Journal of Hazardous Materials*, v.175, p. 501, (2010).
- [18] CETESB. "Risco de acidente de origem tecnológica – método para decisão e termos de referência. Norma P4.261". 140p, São Paulo, (2014). Disponível em: <<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/normas/11/2013/11/P4261.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2021.
- [19] XAVIER, J. C. de M.; SOUSA JUNIOR, W. C. de "Na-techs no Litoral do Estado de São Paulo: Diagnóstico no Período 1940-2015". *Congresso ABRISCO 2017*. ABRISCO (Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processo e Confiabilidade), Rio de Janeiro, Brasil, (2017). Disponível em: <<https://modal.cetesb.sp.gov.br/portal/>>. Acesso em: 18 set. 2021.
- [20] UIJT de HAAG, P. A. M.; ALE, B. J. M. "Guidelines for quantitative risk assessment – 'Purple Book'.CPR 18E". 1999. Disponível em: <<http://content.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/documents/PGS3/PGS3-1999-v0.1-quantitative-risk-assessment.pdf>>. Acesso em: 19set. 2021.
- [21] COZZANI, V. et al. "Quantitative assessment of domino and NaTech scenarios in complex industrial areas". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 28, p. 10, (2014).
- [22] ANTONIONI, G. et al. "Quantitative assessment of risk due to NaTech scenarios caused by floods". *Reliability Engineering and System Safety*, v.142, p. 334, (2015).
- [23] SENGUL, H et al. "Analysis of hazardous material releases due to natural hazards in the United States". *Disasters*,v.36, n.4, p. 723, (2012).
- [24] BOOT, H. "Quantifying safety with a QRA: to agree on the results, the method should be explicit". *Chemical Engineering Transactions*, v.31, (2013).
- [25] COMISSÃO ESPECIAL PARA RESTAURAÇÃO DA SERRA DO MAR NA REGIÃO DE CUBATÃO. "Plano de Ações de Emergência 1985/1986: Relatório de Situação". São Paulo, (1986). Cópia impressa disponível na biblioteca da CETESB.