

Estudo de Caso do Evento Na-Tech em Cubatão, SP, 2013: Certezas e Incertezas

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

1. INTRODUÇÃO

A perda de contenção de reservatórios que armazenam substâncias químicas e radiológicas motivada pela ação de eventos naturais tem despertado o interesse científico e o de instituições governamentais responsáveis por políticas de redução de riscos, notadamente no âmbito da Comunidade Europeia, Japão e Estados Unidos da América [1-4].

Esse evento é conhecido na literatura científica por evento na-tech, do inglês *natural and technological*. Algumas publicações mais recentes [5,6] destacam sua origem no trabalho de Showalter & Myers [7,8], que o empregaram em pesquisa sobre a percepção das agências de gerenciamento de emergências dos 50 estados americanos quanto à relação entre desastres naturais e emergências tecnológicas. Ao longo do texto, discutindo os resultados da pesquisa, as autoras empregam o termo evento na-tech quando se referem à ocorrência de evento natural (terremotos, furacões, inundações, tornados) e o efeito secundário de liberação para o ambiente de substância química perigosa, inclusive de origem nuclear, fazendo clara distinção entre evento natural, evento tecnológico e evento na-tech.

O termo na-tech ganhou amplitude incorporando no seu ramo tecnológico (*technological*) abordagens sobre danos em linhas de energia elétrica, de aquecimento, de água potável, de água para combate a incêndio, ou ainda danos no transporte de massa (trens, metrô, aeronaves) [9]. Também ganhou amplitude conceitual ao ser utilizado no termo risco na-tech, que busca discutir o risco imposto ao ambiente, homem inclusive, decorrente de eventos na-tech [10]. O ramo natural (*natural*) traz relação direta com a região geográfica do planeta onde a pesquisa é realizada. Petrova [9], que discute a ocorrência de eventos na-tech na Rússia, cita avalanches de neve e congelamento do solo como causadores de ruptura em dutos, além de inundações, terremotos e furacões. Milazzo et al. [11] abordam os efeitos da cinza expelida por vulcões em indústrias localizadas no seu entorno, com foco em danos estruturais e mau funcionamento de tanques atmosféricos contendo substâncias inflamáveis.

São características do evento na-tech: (i) a possibilidade de ocorrência de múltiplos vazamentos decorrentes de um único evento iniciador [2,9], (ii) a ocorrência simultânea do vazamento com o evento natural, por exemplo, uma inundação, (iii) restrições às ações de emergência decorrentes de danos às linhas de energia elétrica ou de água de combate a incêndio, dificuldade de acesso das equipes de emergência ou mesmo competição por estas em decorrência de (ii) [2].

Cozzani et al. [12] apontam tanques atmosféricos e pressurizados como predominantemente envolvidos na perda de contenção, seguidos por tubulações. Entre as substâncias liberadas, predominam petróleo e seus derivados líquidos e gasosos.

Métodos quantitativos que permitem estabelecer relações entre indicadores de um evento natural e o dano a um equipamento estão presentes na literatura. Salzano et al. [13] e Antonioni et al. [14] propõem estimar a probabilidade de dano estrutural a equipamentos de aço associada ao parâmetro *peak ground acceleration* (PGA), medido quando da ocorrência de terremotos. Antonioni et al. [15] propõem modelos de danos para equipamentos envolvidos em eventos na-tech decorrentes de terremotos e de inundações. Para inundações, os autores propõem caracterizá-las a partir do tempo de retorno e de dois parâmetros que expressam a severidade da inundação: altura máxima da lâmina d'água (h_w) e velocidade máxima da água (v_w), que expressa a energia da inundação. Os estados de danos dos equipamentos estão associados aos parâmetros de severidade e à característica estrutural dos mesmos. A probabilidade de dano dos equipamentos é estimada a partir de um modelo simplificado, que considera os parâmetros de severidade citados.

Recentemente, Landucci et al. [16,17] propuseram método para estimar a probabilidade de adernamento de tanque atmosférico submetido aos esforços físicos de uma inundação. O método discute o equilíbrio de forças entre as forçantes que caracterizam a inundação, descritas por h_w e v_w , e as forças que tendem a manter o tanque na sua posição, quais sejam, aquelas associadas as suas massa e geometria e à quantidade de produto armazenado.

Em 22.02.2013, a chuva de 209mm (1,5h) ocorrida próxima das 16h e 272,2mm (24h) levou ao transbordamento do rio Cubatão, município de Cubatão, SP, em diversos locais, entre eles junto ao Terminal Pilões da Petrobras Transporte S. A. (Transpetro), destinado ao armazenamento de petróleo e derivados. O Terminal foi inundado, sendo atingidos o separador água-óleo (SAO), que transbordou, a casa de bombas e o pátio de resíduos, onde tambores com resíduos foram deslocados e lançados na rua interna próxima. Também houve o colapso dos diques das bacias dos tanques TQ-14011 e TQ-14023.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

Aplicar o método presente em Landucci et al. [16,17] para estimar a probabilidade de adernamento do tanque vertical atmosférico TQ-14011 do Terminal Pilões da Transpetro durante uma inundação.

3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

3.1 O método

Considera-se um tanque de teto cônico e base plana, diretamente fixado no solo e ancorado, atendendo a norma API 650 [18]. Durante uma inundação, as principais forças que atuam no tanque estão representadas na figura 1a. Em seguida, são desenvolvidas expressões simples para avaliar a sua capacidade de resistência a uma carga externa decorrente da inundação.

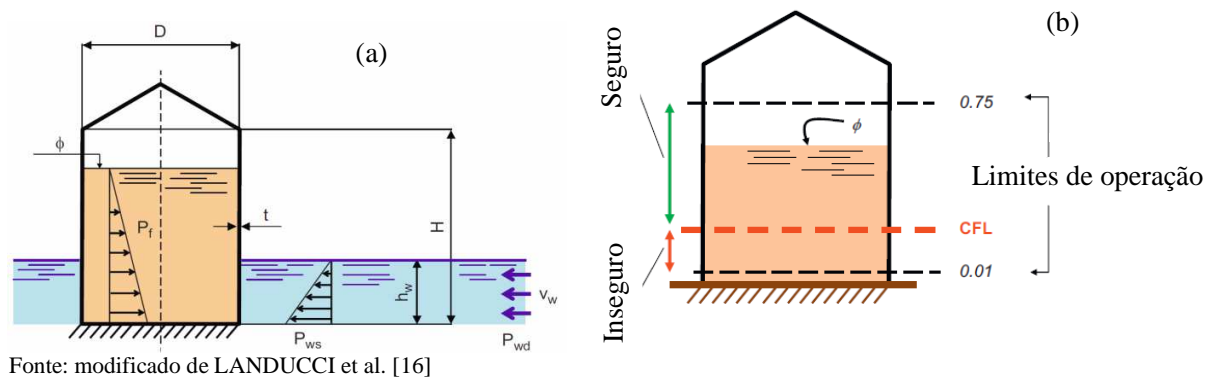


Figura 1 – (a) Forças que agem em um tanque vertical, atmosférico, na inundação e (b) representação esquemática do papel da parâmetro nível de enchimento crítico (CFL) na probabilidade de adernamento (veja equação 11)

A pressão externa (P_w) é obtida a partir da soma de um componente de pressão estática (P_{ws}) e outro de pressão dinâmica (P_{wd}):

$$P_w = P_{ws} + P_{wd} \quad (1)$$

O componente de pressão estática é devido à carga hidrostática da inundação e seu valor máximo pode ser expressado por:

$$P_{ws} = \rho_w g h_w \quad (2)$$

onde g é a constante gravitacional ($9,81\text{m/s}^2$) e ρ_w é a massa específica da água da inundação.

O componente de pressão dinâmica é devido à força de arrasto associada à energia cinética da onda e pode ser expressado por:

$$P_{wd} = \frac{1}{2} \rho_w k_w v_w^2 \quad (3)$$

onde k_w é o coeficiente hidrodinâmico. Para efeito de expressão das propriedades dos fluidos, os autores assumiram temperatura de 293K e pressão de 1,01bar.

A pressão hidrostática interna máxima do tanque (P_f) devida ao líquido armazenado pode ser expressada por:

$$P_f = \rho_f g H \phi \quad (4)$$

onde ρ_f é a massa específica do líquido, H é a altura do tanque e ϕ representa o nível de enchimento.

A pressão líquida no costado do tanque (P_{liq}) decorre do balanço a seguir:

$$P_{liq} = P_{ws} + P_{wd} - P_f \quad (5)$$

O adernamento (do inglês *buckling*) é o principal modo de falha de tanques atmosféricos submetidos à pressão externa no seu costado e ocorre quando P_{liq} atinge um valor crítico de pressão (P_{cr}), o qual depende da geometria do tanque e do material de construção, sendo independente da quantidade armazenada do fluido e das suas propriedades físicas. Sua estimação se dá por:

$$P_{cr} = \frac{2Et}{D} \left\{ \frac{1}{\left((n^2-1) \left[1 + \left(\frac{2nH}{\pi D} \right)^2 \right]^2 \right)} + \frac{t^2}{3(1-\nu^2)D^2} \left[n^2 - 1 + \frac{2n^2-1-\nu}{\left(\frac{2nH}{\pi D} \right)^2 - 1} \right] \right\} \quad (6)$$

onde $n \geq \left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{D}{H} \right)$, $n \geq 2$, inteiro e que minimiza P_{cr} [17]. O módulo elástico (E) e a razão de Poisson (ν) são propriedades do material de construção do tanque, sendo que a espessura da parede (t), o diâmetro (D) e a altura (H) caracterizam sua geometria.

Então, o adernamento será observado se

$$P_{liq} \geq P_{cr} \quad (7)$$

ou ainda, a partir das equações 5 e 7,

$$P_{ws} + P_{wd} - P_f \geq P_{cr} \rightarrow P_{ws} + P_{wd} \geq P_{cr} + P_f \rightarrow P_w \geq P_{cr} + P_f \quad (8)$$

Na equação 8 a carga externa devida à inundação (P_w) é diretamente comparada à resistência do tanque, devida à sua geometria (P_{cr}) e às condições de operação (P_f). Pode-se definir um parâmetro denominado pressão de resistência (P_{res}) para expressar essa resistência ao adernamento,

$$P_{res} \equiv P_{cr} + P_f \quad (9)$$

A validação do modelo está detalhada em Landucci et al. [16]. Simplificadamente, os autores avaliam trabalhos anteriores sobre acidentes e propõem o valor de $P_w = 9,4\text{kPa}$ como valor limite abaixo do qual não houve relato de dano ao tanque ou perda de contenção. Então, estimam para um número grande de tanques suas pressões críticas (P_{cr}) e, a partir de alguns níveis de enchimento dos tanques, demonstram que a pressão de resistência (P_{res}) é maior que $P_w = 9,4\text{kPa}$ para boa parte desses tanques.

Para determinar correlações simples que permitam estimar a probabilidade de dano do tanque e derivar um modelo de vulnerabilidade, o nível de líquido no interior do tanque é considerado como parâmetro crítico, variável em função da operação. A equação 10 expressa o nível de enchimento crítico (CFL) do tanque como o menor valor do nível de enchimento (ϕ) capaz de assegurar resistência ao tanque submetido a determinado valor de intensidade da inundação,

$$CFL = \left(\frac{\frac{\rho_w k_w v_w^2}{2} + \rho_w g h_w - P_{cr}}{\rho_f g H} \right) = \frac{P_{ws} + P_{wd} - P_{cr}}{\rho_f g H} \quad (10)$$

A figura 1b representa a posição relativa entre CFL e o nível de enchimento (ϕ) do tanque. Sempre que $\phi < CFL$ o tanque estará em uma condição insegura, visto que o vaso não será capaz de resistir à pressão externa (P_w). Pode-se expressar a probabilidade de dano no tanque (Ψ) pela relação entre a região de condição de operação insegura e a região que considera todas as possíveis condições de operação do tanque, equação 11.

$$\Psi = \frac{CFL - \phi_{min}}{\phi_{max} - \phi_{min}} \quad (11)$$

onde ϕ_{min} e ϕ_{max} representam os níveis de operação mínimo e máximo do tanque, respectivamente.

Deve-se então considerar a ocorrência de uma inundação de intensidade tal que h_w e v_w sejam alcançados. Sendo f a sua frequência, a frequência de perda de contenção do tanque (f_{Loc}) pode ser expressada pela equação,

$$f_{Loc} = \Psi f \quad (12)$$

3.2 Coleta dos dados e estimação dos parâmetros

A figura 2 mostra o terminal no dia seguinte à inundação. É visível a presença de lâmina d'água barrenta nas bacias de contenção dos tanques e outras áreas do terminal. Em visita ao Terminal em 05.12.2013, observou-se uma mancha amarelada circundando o tanque TQ-14011 (teto fixo) a cerca de 80-90cm de altura a partir da sua base. Consultando os representantes da empresa, não houve confirmação de que essa foi a altura máxima atingida pela lâmina d'água durante a inundação.

A capacidade volumétrica do tanque também não foi precisada na visita. Então, consultando a Licença Ambiental de Operação n° 25000718 emitida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), observaram-se cinco tanques de teto fixo com capacidade próxima de 6.800m^3 e dois tanques de teto flutuante com 6.830m^3 [19]. Confrontando esses volumes com imagens do Terminal obtidas a partir do Google Earth, adotou-se a capacidade volumétrica de 6.830m^3 para o tanque TQ-14011.

Também não foi possível saber sobre os produtos armazenados durante a inundação, bem como a quantidade presente em cada tanque. Sabendo que o terminal armazena, entre outros, gasolina, adotou-se esse produto para efeito do presente trabalho.



Fonte: Modificado de PETROBRAS [20]

Figura 2 – Terminal Pilões da Transpetro em Cubatão (SP) em 23.02.2013. No destaque, os tanques TQ-14011 (à direita) e TQ-14023, com lâmina d’água visível no interior das bacias de contenção

Considerou-se que o tanque TQ-14011 tem teto cônico e base plana, diretamente fixado no solo e ancorado, atendendo à norma API 650 [18]. A espessura da parede (t) igual a 12,5mm é coerente com o apresentado na tabela A₁ de Landucci et al. [16], que listou capacidade volumétrica, diâmetro, altura e espessura de parede de 116 tanques operacionais.

O quadro 1 apresenta as características construtivas e os parâmetros operacionais do tanque TQ-14011.

Quadro 1 – Características construtivas e parâmetros operacionais do tanque TQ-14011

Características e parâmetros	Unidade	TQ-14011
Tipo de teto	-	fixo
Capacidade volumétrica ¹	m ³	6830
Diâmetro ² (D)	m	25
Altura ³ (H)	m	13,9
Espessura da parede (t)	m	0,0125
Módulo elástico (E) para aço	Pa	2,1E+11
Razão de Poisson (ν) para aço	-	0,3
Nível operacional mínimo ($\phi_{\text{mín}}$)	-	0,01
Nível operacional máximo ($\phi_{\text{máx}}$)	-	0,85

1 Inferido a partir da Licença de Operação nº 25000718 da CETESB e das imagens do Terminal obtidas a partir do Google Earth.

2 Estimado considerando as imagens do Terminal obtidas a partir do Google Earth.

3 Calculado a partir da relação Capacidade volumétrica/Diâmetro.

Sobre a inundação, na falta de informação exata sobre a altura máxima da lâmina d'água (h_w) adotou-se $h_w = 80\text{cm}$. Sobre a velocidade máxima da água (v_w), adotou-se $v_w = 0,5\text{m/s}$, considerando a existência de barreira física entre o leito do rio e o tanque, que provavelmente contribuiu para a redução da velocidade de escoamento da água durante a inundação.

O quadro 2 apresenta os demais parâmetros das equações do método de Landucci et al. [16].

Quadro 2 – Outros parâmetros utilizados nas equações (2) a (10)

Aceleração da gravidade (g) (m/s^2)	Coefficiente hidrodinâmico (k_w)	Massa específica do fluido externo (ρ_w) (kg/m^3)	Massa específica do produto armazenado (ρ_f) (kg/m^3)
9,81	1,8	1100	750

4. RESULTADOS OBTIDOS

A estimativa da probabilidade de adernamento se dá por meio das equações 1 a 11.

Estima-se a pressão crítica (P_{cr}) pela equação 6, considerando $n \geq \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{D}{H}\right)$, $n \geq 2$, inteiro e que minimiza P_{cr} . A partir dos valores de D e H do quadro 1, obtém-se $n = 2,825$. A tabela 1 apresenta valores de P_{cr} a partir de diferentes n . Verifica-se que $n = 14$ é o inteiro que minimiza P_{cr} . Então $P_{cr} = 5717\text{Pa}$.

Tabela 1 – Estimativa da pressão crítica (P_{cr}) para diferentes n

n	8	12	12,5	13	14	14,5	14,8	15	16
P_{cr} (Pa)	42550	7124	6501,7	6094,6	5717	5684	5701	5725	5971

A partir da equação 2, obtém-se $P_{ws} = 9712\text{Pa}$. Da equação 3, obtém-se $P_{wd} = 248\text{Pa}$. Da equação 4, obtém-se $P_f = \begin{cases} 86933\text{Pa} & \text{para } \phi = 0,85 \\ 51135\text{Pa} & \text{para } \phi = 0,5 \\ 1020\text{Pa} & \text{para } \phi = 0,01 \end{cases}$.

Como não há informação sobre a quantidade de produto no interior do tanque, estimou-se inicialmente a partir da equação 6 a $P_{liq} = 41176\text{Pa}$, considerando 50% de enchimento do tanque (ou $\phi = 0,5$). Como $P_{cr} = 5717\text{Pa}$, tem-se que $P_{liq} > P_{cr}$, resultado coerente com o **não** adernamento do tanque durante a inundação.

A partir da equação 8, observa-se que o adernamento ocorre quando a força decorrente da inundação (representada por P_w) se iguala ou supera as forças de resistência (representadas por $P_{cr} + P_f$). Para um certo tanque, P_{cr} é fixa, de forma que, sob o ponto de vista operacional, a resistência a P_w dependerá do nível de enchimento do tanque.

Esse nível crítico (CFL) é determinado a partir da equação 10, para as condições da inundação inicialmente previstas. Assim, $CFL = 4,15\%$ e, a partir da equação 11, a probabilidade de dano (adernamento) do tanque (Ψ) é de 3,75%.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

A probabilidade de adernamento (Ψ) de um tanque já instalado é influenciada pelas variáveis (i) nível de enchimento (ϕ), (ii) altura máxima da lâmina d'água (h_w) e (iii) velocidade máxima da água (v_w), sendo que as duas últimas caracterizam a inundação. Portanto, $\Psi = 3,75\%$ está vinculada ao nível crítico (CFL) de enchimento

de 4,15%, ou seja, se $\phi < 4,15\%$ há probabilidade de adernamento. Embora não haja clareza sobre os valores desses parâmetros no momento da inundação, entende-se que o resultado de $P_{líq} > P_{cr}$ é consistente com o efeito físico observado, qual seja, o tanque não sofreu adernamento.

A matemática envolvida na aplicação do método é simples, tornando possível realizar soluções analíticas sem uso de ferramenta computacional. Ainda assim, a determinação da pressão crítica (P_{cr}) pela equação 6 pode ser otimizada pela sua derivação em relação à variável n e a imposição de resultado igual a zero, obtendo-se, de forma analítica, o valor mínimo de P_{cr} , obtido nesta aplicação por meio de sucessivas iterações.

A incerteza desta estimativa está diretamente associada à ausência de dados observados ou medidos da maioria das variáveis de interesse do método, sejam aquelas pertinentes à construção/operação do tanque TQ-14011, sejam aquelas associadas à inundação.

Quanto aos dados relativos ao tanque, entende-se que estes podem ser disponibilizados pelo seu operador. Já sobre os dados relativos à inundação, entende-se haver a necessidade de planejar a construção de banco de dados específico para registrar eventos na-tech ou otimizar iniciativas existentes no Brasil de registro de acidentes, incluindo esses eventos.

No âmbito federal, as duas principais linhas de esforços para o registro de ocorrências que envolvem a liberação de substâncias perigosas para o ambiente e de ocorrências de eventos naturais provêm dos Órgãos de Meio Ambiente [21,22] e da Defesa Civil [23].

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), responsáveis pela implementação do Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos (P2R2), de 2004, disponibilizam em seus *websites* bancos de dados de acidentes envolvendo a liberação de substâncias químicas para o ambiente. Ao se consultar o *website* do MMA, encontra-se alguma estatística descritiva para o período de 2006 a 2010 [22]. No *website* do IBAMA, encontram-se relatórios anuais de ocorrências entre 2006 e 2014. Pode-se identificar individualmente o local da ocorrência, substâncias, tipo de transporte, bens ambientais atingidos e, em alguns casos, a causa e a quantidade vazada [21]. Em ambos os *websites*, não estão disponíveis formas de busca por palavras chave, que facilitariam a recuperação de ocorrências específicas, por exemplo, envolvendo causas naturais, que ajudariam a melhor entender a ocorrências de eventos na-tech no Brasil.

A Defesa Civil Brasileira desenvolve o programa Gestão de Riscos e Respostas a Desastres, do qual fazem parte o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, compreendendo o período de 1991 a 2010, e o Banco de Dados e Registro de Desastres, este sim um banco planejado para o registro de vários tipos de ocorrências ligadas aos fenômenos hidrometeorológicos e geológicos (denominados desastres naturais), à manipulação de substâncias perigosas, inclusive os radiativos, e às doenças ligadas à saúde pública [23].

A iniciativa da Defesa Civil Nacional pode ser ampliada, incluindo eventos na-tech no seu banco de dados. Entretanto, precisa ser fortalecida e complementada pela pesquisa para se identificar possíveis fontes com boa informação de ocorrência desses eventos pelo país, conjuntamente com o esforço dos governos em otimizar os bancos de acidentes existentes, unificando-os ou compartilhando-os em parte, para uma forma única de recuperação dessas ocorrências, a partir de consulta pública.

Para se ter clareza da relevância de eventos na-tech no Brasil é preciso conhecer sua extensão geográfica, frequência de ocorrência e tendência nos últimos 30-40 anos, considerando, por exemplo, a influência das alterações do clima ora em discussão. Esse conhecimento pode ser alcançado ampliando as ações no âmbito federal, anteriormente citadas, contemplando o registro de eventos na-tech em um único banco de dados ou ainda compartilhando parte dos bancos existentes em uma forma única de recuperação desse tipo de informação.

O registro sistemático desses eventos possibilitará analisar a ocorrência dos mesmos em escalas temporal e espacial, considerando fatores como intensidade e frequência de ocorrência, essenciais para um Estudo de Análise de Risco (EAR), seguindo estratégia similar à recente iniciativa europeia para gerenciamento de riscos emergentes, como risco na-tech, que utiliza ferramentas de conhecimento, monitoramento e mapeamento [24].

A inclusão de cenários na-tech num EAR permitirá maior exatidão dos índices de risco de empreendimentos que manipulam substâncias perigosas e que se localizam em regiões propensas à ocorrência de eventos na-tech. Será possível discretizar a contribuição desses eventos no risco imposto pelos empreendimentos ao homem, além de elucidar possíveis danos ao ambiente e que não são comumente considerados em um EAR.

A busca por essa exatidão pode contribuir para o aperfeiçoamento da gestão de risco envolvendo substâncias químicas perigosas, notadamente no planejamento da ocupação solo por parte de empresas e da população residente, atribuição dos municípios brasileiros.

O evento na-tech ocorrido em Cubatão em 2013 não foi o primeiro naquela região. Pesquisa em andamento já identificou outros eventos, que serão relatados futuramente. É certo [**certeza**] que os mesmos tiveram pequeno (ou nenhum) destaque na mídia brasileira se comparados com os eventos naturais iniciadores, no caso inundações ou escorregamentos de encostas. Ainda assim, a pesquisa busca evidências da contribuição desses eventos nos danos ao ambiente, homem inclusive [**incerteza**], de forma a possibilitar estimar o risco na-tech em regiões propensas à ocorrência desse evento e sugerir medidas para gerenciá-lo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] CRUZ, A.M. & OKADA, N. “Consideration of Natural Hazards in the Design and Risk Management of Industrial Facilities”. *Natural Hazards*, vol.44, p.213, 2008.
- [2] KRAUSMANN, E. et al. “Industrial Accidents Triggered by Natural Hazards: an Emerging Risk Issue”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol.11, p.921, 2011.
- [3] KRAUSMANN, E & BARANZINI, D. “Natech Risk Reduction in the European Union”. *Journal of Risk Research*, vol.15, issue8, p.1027, 2012.
- [4] GIRGIN, S. & KRAUSMANN, E. “Analysis of Pipeline Accidents Induced by Natural Hazards”. *European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen*, 2014.
- [5] SENGUL, H et al. “Analysis of Hazardous Material Releases Due to Natural Hazards in the United States”. *Disasters*, vol.36, issue4, p.723, 2012.
- [6] SALZANO, E. et al. “Public Awareness Promoting New or Emerging Risks: Industrial Accidents Triggered by Natural Hazards (NaTech)”. *Journal of Risk Research*, vol.16, issues3-4, p.469, 2013.
- [7] SHOWALTER, P.S. & MYERS, M.F. “Natural Disasters as the Cause of Technological Emergencies: a Review of the Decade 1980-1989”. Working paper 78. *Natural Hazards Research and Applications Information Center*. Institute of Behavioral Science. University of Colorado, 1992.
- [8] SHOWALTER, P.S. & MYERS, M.F. “Natural Disasters in the United States as Release Agents of Oil, Chemicals, or Radiological Materials Between 1980-1989: Analysis and Recommendations”. *Risk Analysis*, vol.14, issue2, p.169, 1994.
- [9] PETROVA, E.G. “Natural Factors of Technological Accidents: the Case of Russia”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol.11, p.2227, 2011.
- [10] ARELLANO, A.L.V. et al. (ed) “Analysis of Natech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters) Disaster Management”. NEDIES Workshop Proceedings. *European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen*, 2004.
- [11] MILAZZO, M.F. et al. “Potential Loading Damage to Industrial Storage Tanks due to Volcanic Ash Fallout”. *Natural Hazards*, vol.66, p.939, 2013.
- [12] COZZANI, V. et al. “Industrial Accidents Triggered by Flood Events: Analysis of Past Accidents”. *Journal of Hazardous Materials*, vol.175, p.501, 2010.

- [13] SALZANO, E. et al. “Seismic Risk of Atmospheric Storage Tanks in the Framework of Quantitative Risk Analysis”. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol.16, p.403, 2003.
- [14] ANTONIONI, G. et al. “A Methodology for the Quantitative Risk Assessment of Major Accidents Triggered by Seismic Events”. *Journal of Hazardous Materials*, vol.147, p.48, 2007.
- [15] ANTONIONI, G. et al. “Development of a Framework for the Risk Assessment of Na-tech Accidental Events”. *Reliability Engineering and System Safety*, vol.94, p.1442, 2009.
- [16] LANDUCCI, G. et al. “Release of Hazardous Substances in Flood Events: Damage Model for Atmospheric Storage Tanks”. *Reliability Engineering and System Safety*, vol.106, p.200, 2012.
- [17] LANDUCCI, G. et al. “Damage Models for Storage and Process Equipment Involved in Flooding Events”. *Chemical Engineering Transactions*, vol.31, p.697, 2013.
- [18] API. *API standard 650: welded steel tanks for oil storage*. 8th ed. Washington, D.C., 2003.
- [19] CETESB. *Licença de Operação nº 25000718*. 2014. Disponível em: <<http://autenticidade.cetesb.sp.gov.br/pdf/02250007180126052010.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.
- [20] PETROBRAS. *Apresentação na reunião da Comissão Especial para a Restauração da Serra do Mar (CERSM) realizada em 11.06.2013*. 2013. Acesso restrito.
- [21] IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Website, 2015. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/emergencias-ambientais>. Acesso em: 17 Jan. 2015.
- [22] MMA Ministério do Meio Ambiente, Website, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/emergencias-ambientais/estatisticas-de-acidentes>. Acesso em: 19 Set. 2015.
- [23] BRASIL Defesa Civil Brasileira, Website, 2015. Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/bdrd/bdrd.html>. Acesso em: 17 Set. 2015.
- [24] JOVANOVIC, A. et al. “The European Emerging Risk Radar Initiative – a Future Possibility for Latin America?” *Revista de Ingeniería*, vol. julio – diciembre, p.66, 2012.