

Technique for the Early Consideration of Human Reliability (TECHR): Aplicando um Modelo Genérico no Estudo de Cenários de Colisão

Marcos Coelho Maturana e Marcelo Ramos Martins
LabRisco - Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos
Universidade de São Paulo, São Paulo

1. INTRODUÇÃO

A incerteza sobre o comportamento dos sistemas complexos [1], que precede sua exposição ao ambiente operacional, contribui para 80% dos custos e problemas observados no decorrer da vida desses sistemas [2]. Os riscos associados a esses problemas podem ser analisados quantitativamente por meio da PRA (*Probabilistic Risk Assessment*) [3]. No âmbito da IMO (*International Maritime Organization*), a PRA é realizada como parte do FSA (*Formal Safety Assessment*) [4]. A reconhecida contribuição do fator humano para acidentes envolvendo sistemas complexos – algumas vezes atribuída à falta de ferramentas adequadas para sua consideração na fase de projeto [5] – evidencia a necessidade de modelos e processos dedicados à análise de risco, especialmente na fase de projeto, e que facilitem a atualização das análises no decorrer da vida desses sistemas. Neste contexto, foi iniciado o desenvolvimento da TECHR (*Technique for the Early Consideration of Human Reliability*) [6] – uma técnica de HRA (*Human Reliability Analysis*) focada na consideração inicial da confiabilidade humana no projeto de sistemas complexos [5], que também pode ser usada para apoiar a análise de risco de sistemas que não possuem um banco de dados desenvolvido (em relação ao desempenho dos operadores) e que já estejam em fase operacional.

Este resumo apresenta a TECHR e seu uso na obtenção de um modelo de desempenho humano prospectivo. Além disso, este trabalho apresenta a aplicação deste modelo na quantificação das HEPs (*Human Error Probabilities*) das ações humanas que compõem a HRA realizada para avaliar a contribuição do fator humano em acidentes de colisão – no caso de um petroleiro operando na costa brasileira [7]. Assim, os tópicos seguintes apresentam: a) a TECHR; b) um modelo prospectivo de desempenho humano obtido pela aplicação da TECHR; c) a HRA a ser alimentada [7] e a quantificação das HEPs, e; d) os comentários finais deste trabalho, discutindo alguns aspectos da técnica proposta.

2. TECHR

Os erros humanos podem ser classificados de acordo com seus tipos – por exemplo, aplicando a taxonomia de Reason [8] –, e um grupo de possíveis tipos de erro humano pode estar associado a cada ação humana. Na associação de uma HEP a uma ação, considera-se a relação entre o número de ações errôneas e o número de ações executadas, e as ações errôneas resultam dos possíveis tipos de erro associados à ação. Se cada ação errônea é atribuída a um tipo específico de erro, é possível encontrar a probabilidade desse tipo de erro pela razão entre o número de erros deste tipo e o número de ações executadas. Em outras palavras, a probabilidade do tipo de erro será uma fração da HEP na ação, ou seja, as probabilidades dos tipos de erro serão mutuamente exclusivas, dada uma ação.

Assim, conhecendo a probabilidade de cada tipo de erro em uma determinada ação, é possível determinar a HEP nessa ação. Caso contrário, conhecendo a frequência relativa de ocorrência dos tipos de erro, e dada a HEP na ação, pode-se determinar a probabilidade de cada tipo de erro na mesma ação. E, assim, as curvas de probabilidade dos diferentes tipos de erro podem ser usadas para estimar o HEP de cada ação que compõe um modelo prospectivo de desempenho humano.

As idéias apresentadas nos parágrafos precedentes foram generalizadas para obter a função de densidade de probabilidade contínua para l tipos de erro, dada a HEP correspondente, resultando na

função densidade de probabilidade de p_i (probabilidade para o tipo de erro i) apresentada na Eq. (1).

$$f_{dp}(p_i|hep, l) = \begin{cases} \frac{(l-1)}{(hep-p_i)} \left(\frac{hep-p_i}{hep} \right)^{l-1}, & 0 \leq p_i < hep \\ 0, & hep \leq p_i \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

A função acima é adotada considerando as restrições apresentadas na Eq. (2).

$$\begin{aligned} hep &= \{hep \in \mathbb{R}; 0 < hep \leq 1\} \\ l &= \{l \in \mathbb{N}; l \geq 2\} \end{aligned} \quad (2)$$

A técnica resumida nesta seção foi aplicada no desenvolvimento do modelo genérico de desempenho humano prospectivo apresentado na próxima seção.

3. MODELO PROSPECTIVO DE DESEMPENHO HUMANO

O modelo de desempenho humano prospectivo genérico obtido pela aplicação da TECHR baseia-se na classificação das ações humanas proposta por Bloom [9] e na classificação dos tipos de erros humanos proposta por Reason [8]. Em princípio, as definições genéricas das ações foram correlacionadas às descrições dos níveis de desempenho propostos no modelo SRK (*Skill, Rule or Knowledge*) [10] e, em seguida, as características dos tipos de erros foram correlacionadas aos tipos de ação. Assim, para cada ação e nível de desempenho, os tipos de erro considerados críveis foram associados – em caso de dúvida, adotou-se uma postura conservadora (ou seja, o tipo de erro foi associado à ação). As HEPs foram então estimadas para cada ação genérica combinando as funções de probabilidade dos tipos de erro associados à ação respectiva. Para tanto, foram aproveitados os dados de desempenho humano apresentados em várias técnicas de HRA – baseados em dados empíricos (por exemplo, instalações operacionais ou que foram operadas em anos anteriores), opiniões de especialistas e/ou simulações. Este modelo pode ser representado como mostrado na Fig. 1.

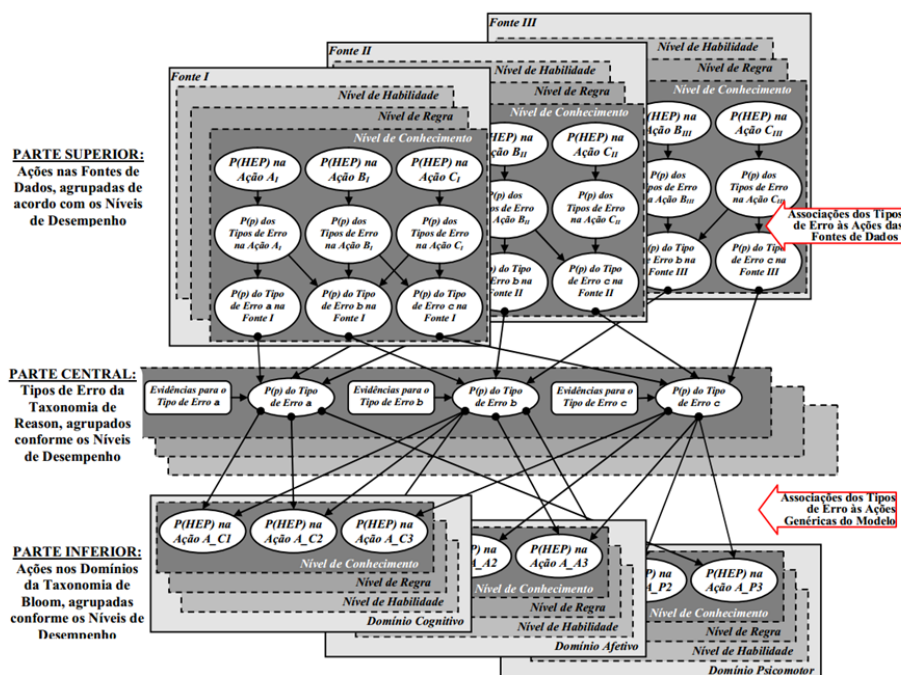


Fig. 1 – Esquema do modelo prospectivo atualizável de desempenho humano

Neste esquema (Fig. 1), a parte superior representa as fontes de dados, suas ações associadas e tipos de erros associados, organizados de acordo com o nível de desempenho, e inclui o processamento de dados – pelo qual as curvas de probabilidade são obtidas para os tipos de erros associado às ações de cada fonte de dados. A porção central representa os tipos de erro, quantificados usando as estimativas obtidas para cada fonte de dados, e organizados de acordo com o nível de desempenho do modelo SRK. Os pontos para inserção de evidências do tipo de erro – que podem ser obtidos na fase operacional do sistema, ou que podem ajudar na inserção de opiniões de especialistas ou dados coletados em simuladores – também estão na parte central. As ações genéricas são representadas na parte inferior, organizadas de acordo com os domínios (da taxonomia de Bloom) e os níveis de desempenho de cada ação (do modelo SRK). As associações entre os tipos de erros e as ações genéricas são representadas entre as partes central e inferior.

4. HUMAN CONTRIBUTION IN SHIP COLLISION

O modelo apresentado na seção anterior foi utilizado para a revisão de uma HRA que possuía as HEPs estimadas utilizando a THERP [11], conforme apresentado por Martins e Maturana [7]. Nessa referência, a contribuição humana em acidentes de colisão foi analisada para o caso de um navio que opera na costa brasileira. Um navio do tipo SUEZMAX – responsável pelo transporte de petróleo bruto das unidades de produção até o terminal – foi visitado e sua operação foi monitorada. Nesse estudo, a operação foi modelada considerando o percurso entre a unidade de produção na Bacia de Campos e o terminal portuário de São Sebastião. Com a aplicação do THERP [11] e o auxílio de técnicas de árvore de eventos e árvore de falhas, os eventos que poderiam levar a esse acidente foram modelados e as HEPs foram associadas a cada atividade humana das árvores de eventos, levando em consideração os fatores que influenciam ações humanas – representados pelos PSFs (*Performance Shaping Factors*), permitindo a quantificação da probabilidade de ocorrência do evento topo da árvore de falhas.

Assim, as ações humanas relacionadas ao evento de colisão tiveram suas HEPs estimadas a partir do modelo quantitativo de desempenho humano obtido pela aplicação do TECHR. Inicialmente, as características dessas ações foram pesquisadas e, com base nas características das ações de interesse, sua classificação foi realizada de acordo com o modelo SRK. Na sequência, as ações foram classificadas de acordo com os domínios da taxonomia de Bloom (ou seja, afetivo, cognitivo ou psicomotor). As distribuições de HEP associadas desta maneira foram usadas para calcular a probabilidade de evento de colisão. Para este propósito, o método de Monte Carlo [12] foi usado. A aplicação do MCM na solução da árvore de falhas e nas árvores de eventos associadas levou à variabilidade da probabilidade de colisão mostrada na Fig. 2.

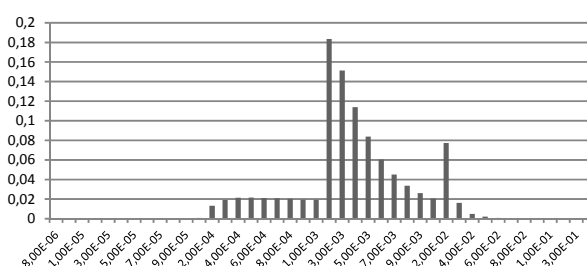


Fig. 2 – Variability for the collision probability

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Este resumo apresentou a TECHR e seu uso na obtenção de um modelo prospectivo de desempenho humano genérico, que pode ser usado quando poucos dados quantitativos em um sistema estão disponíveis (por exemplo, na fase de projeto) – ou seja, quando há pouca informação para ajudar a definir o contexto de desempenho (condições observadas no momento em que a ação é executada). Como

exemplo, este trabalho apresentou a aplicação deste modelo na HRA realizada para avaliar a contribuição do fator humano em acidentes de colisão de um petroleiro.

Especificamente sobre o modelo de desempenho humano obtido, verifica-se que o uso da taxonomia de Reason para classificar os tipos de erro humano, juntamente com a taxonomia de Bloom para classificar as ações humanas, permitiu o desenvolvimento de um modelo abrangente, estruturado e flexível, que pode ser usado na fase de projeto de sistemas. É interessante notar que este modelo pode ser refinado para a definição das HEPs de uma maneira específica, ao considerar os tipos de erros que podem ocorrer na ação em análise, como uma alternativa para a associação dos dados de desempenho das ações genéricas, permitindo a redução do conservadorismo adotado no desenvolvimento do modelo (ou seja, quando, em caso de dúvida, o tipo de erro foi associado à ação do modelo genérico). Isso pode ser feito à medida que mais informações sobre o contexto específico estiverem disponíveis, permitindo o isolamento dos tipos proeminentes de erro (por exemplo, quando nem todos os tipos de erros considerados no modelo genérico são relevantes para a ação em análise).

Em trabalhos futuros, pretende-se detalhar os aspectos positivos e negativos do TECHR. Para isso, pretende-se demonstrar seu uso durante o projeto de um sistema complexo em contextos específicos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Norman, D. O., and Kuras, M. L., 2006, "Engineering Complex Systems," In *Complex Engineered Systems: Science Meets Technology*, D. Braha, A. A. Minai, and Y. Bar-Yam, (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, GE, pp. 206-245. DOI: 10.1007/3-540-32834-3
- [2] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., and Grote, K. -H., 2007, *Engineering Design: A Systematic Approach*, 3rd ed., Springer-Verlag, London, UK. DOI: 10.1007/978-1-84628-319-2
- [3] Hayns, M. R., 1999, "The Evolution of Probabilistic Risk Assessment in the Nuclear Industry," *Process Safety and Environmental Protection*, v. 77, i. 3, pp. 117-142. DOI: 10.1205/095758299529947
- [4] IMO, 2013, "Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process," MSC-MEPC.2/Circ.12, International Maritime Organization, London, UK.
- [5] Martins, M. R., Melo, P. F. F., and Maturana, M. C., 2015, "Methodology for system reliability analysis during the conceptual phase of complex system design considering human factors," *Proc. ANS PSA 2015 International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis*, Sun Valley, ID, April 26-30, 2015, on CD-ROM, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL. ISBN: 978-0-89448-721-7
- [6] Maturana, M. C., 2017, "Consideration of human reliability in complex systems design: development and application of TECHR," Ph.D. thesis, <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-29062017-082417/>
- [7] Martins, M. R., and Maturana, M. C., 2010, "Human error contribution in collision and grounding of oil tankers," *Risk Analysis*, v. 30, n. 4, pp. 674-698. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01392.x
- [8] Reason, J., 1990, *Human Error*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. DOI: 10.1017/CBO9781139062367
- [9] Bloom, B. S. (Ed.), 1956, *Taxonomy of Educational Objectives, Book 1 Cognitive Domain*, 2nd ed., Addison-Wesley Longman Ltd, New York. ISBN: 978-0582280106
- [10] Rasmussen, J., Pedersen, O. M., Carnino, A., Griffon, M., Mancini, C., and Gagnolet, P., 1981, "Classification System for Reporting events involving human malfunctions," Report Risø-M-240, DK-4000, Risø National Laboratories, Roskilde, Denmark.
- [11] Swain, A. D., and Guttman, H. E., 1983, "Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications," NUREG/CR-1278, Sandia National Laboratories, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
- [12] Robert, C. P., and Caselha, G., 2004, *Monte Carlo Statistical Methods*, 2nd ed., Springer-Verlag, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4757-4145-2