

Uma revisão da interação entre múltiplos operadores em estudos de confiabilidade humana

Danilo Taverna Martins Pereira de Abreu, LabRisco – USP

Marcos Coelho Maturana, LabRisco – USP

Marcelo Ramos Martins, LabRisco – USP

RESUMO

No que diz respeito à análise de confiabilidade humana (ACH), diferentes métodos e ferramentas foram propostos nas últimas décadas. Por meio deste tipo de análise, procura-se estabelecer racionalmente qual a contribuição do fator humano ao risco em sistemas socio-técnicos, bem como o impacto de fatores influenciadores no desempenho (geralmente referidos como PSFs, do termo em inglês, *Performance Shaping Factor*). Dessa maneira, as abordagens tradicionais de ACH geralmente analisam um operador individualmente ou equipes de operadores como um todo, num sentido de unidade. Entretanto, para diversos tipos de operação, a interação entre os operadores pode revelar elementos importantes à análise de risco e que não são captados pelas técnicas tradicionais. Nas relações entre operadores residem processos de checagem, discussão e até mesmo monitoramento humano-humano, os quais, muitas vezes, não são devidamente tratados em ACHs convencionais. Exemplos de operações incluem a pilotagem de um avião (com piloto e copiloto) e a navegação marítima (que envolve diferentes membros da tripulação do navio e, em portos, também os práticos). Com o objetivo de avançar no sentido de analisar as interações entre operadores em ACHs, este trabalho propõe uma revisão da literatura com foco nos estudos que consideram a interação entre múltiplos operadores. O resultado dessa revisão apresenta uma visão crítica dos avanços já obtidos e identificação de pontos fracos que precisam ser trabalhados.

1. INTRODUÇÃO

A análise de confiabilidade humana (ACH) consiste na investigação de causas, consequências e contribuições da falha humana em sistemas socio-técnicos [1]. Em muitos casos, a ACH se foca na contribuição de um operador individual. Alternativamente, quando múltiplos operadores são considerados, avalia-se cada um individualmente, o que limita a avaliação do comportamento emergente da equipe. Este comportamento emergente pode ser tanto facilitativo (i.e., reduz as chances de erro humano) quanto disruptivo (i.e., aumenta as chances de erro humano).

De acordo com Salas et al. [2], uma equipe pode ser definida como “um conjunto distinguível de duas ou mais pessoas que interagem dinamicamente, de maneira interdependente e adaptativa em torno de uma meta/objetivo/missão comum, e que têm atribuídas funções específicas, além de um período de colaboração limitado”. Nos dias atuais, equipes de operadores humanos capacitados são fundamentais para o funcionamento adequado de sistemas complexos. Até mesmo sistemas concebidos com altos níveis de automação não são capazes de operar inteiramente sem a presença de uma equipe [3].

Diversas tarefas são desempenhadas pelos operadores no contexto de uma equipe. Entre outras, destacam-se as atividades de comunicação, além das ações compensatórias como, por exemplo, *backup*, monitoramento mútuo e correção mútua de erros [4]. Adicionalmente, outras características são inerentes à equipe, como a orientação (individual ou de grupo), conhecimento comum compartilhado, atitudes e crenças.

Este trabalho tem como objetivo revisar o tratamento da interação entre operadores no âmbito da ACH. A revisão passa pela análise de duas propostas de ACH consolidadas da literatura, originárias da área nuclear: o modelo IDAC e o método IDHEAS. Além disso, promove-se também uma breve discussão a respeito da redundância entre operadores com capacidades similares.

2. INTERAÇÃO ENTRE OPERADORES NO MODELO IDAC

O modelo IDAC, proposto por Chang e Mosleh em 2007 [4] propõe uma estrutura de processo cognitivo dividida em três partes: pré-processamento de informação (I), tomada de decisão e resolução de problemas (D), e ação (A). No modelo de fluxo cognitivo proposto, a informação é recebida pelo operador a partir do mundo externo e serve de entrada para o processo de tomada de decisão e resolução de problemas. Este processo, por sua vez, serve de entrada para a ação. Por fim, a ação modifica o mundo externo. Os três processos cognitivos principais (I, D e A) influenciam e são influenciados pelo estado mental do operador. A Fig. 1 resume o fluxo cognitivo do operador.

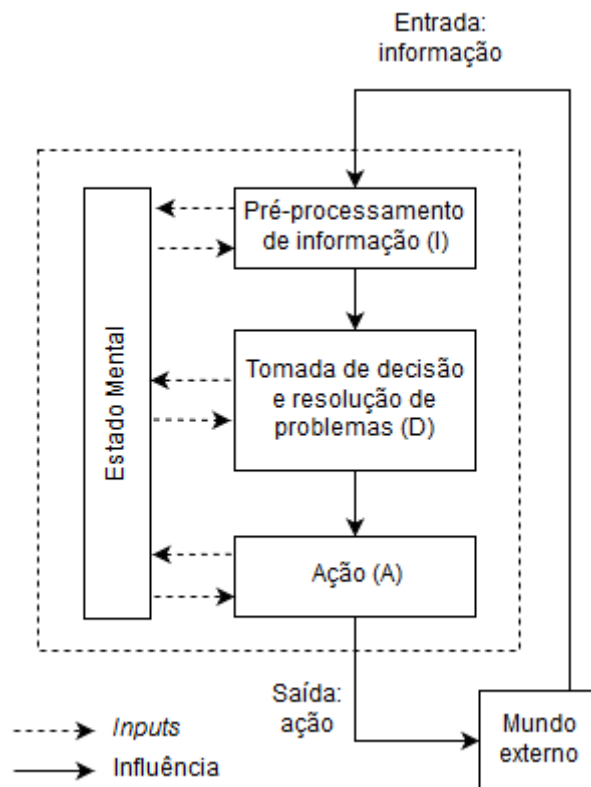


Fig. 1 – Modelo de fluxo cognitivo do operador. Adaptado de [4].

O modelo em questão divide os operadores em três tipos, com base em suas funções na equipe. O primeiro tipo é o tomador de decisão, com o qual está a responsabilidade final sobre as decisões da equipe. Adicionalmente, há o tomador de ação, que auxilia o tomador de decisão na resolução de problemas através da execução das instruções. Por fim, há o consultor, que assessora a equipe e provê recomendações ao tomador de decisão. Segundo o IDAC, há basicamente dois tipos de tarefas que caracterizam as interações entre estes operadores na equipe: comunicação e coordenação.

A comunicação ocorre por meio de canais informais e formais, sendo estes últimos previstos na especificação de responsabilidades do operador. Numa operação genérica estão previstas interfaces de comunicação somente entre o tomador de decisão e o consultor, entre o tomador de decisão e o tomador de ação. Falhas de comunicação ocorrem tipicamente quando há ausência ou falha de equipamentos ligados aos canais de comunicação, ou na ausência de um membro da equipe (está fora de seu posto).

A coordenação, por sua vez, é o pilar do trabalho em equipe. Abrange tarefas de suporte entre os membros da equipe, tais como monitoramento mútuo de desempenho, correção mútua de erros e a distribuição da carga de trabalho entre os membros da equipe.

Os fatores que influenciam o desempenho (PIFs, do termo em inglês, *Performance Influencing Factors*) da equipe de acordo com Chang e Mosleh [5] são:

- Coesão da equipe*: harmonia do grupo, solidariedade e maneira segundo a qual os membros da equipe agem uns com os outros;
- Coordenação da equipe*: efetividade com a qual a equipe se organiza como uma unidade para desempenhar uma função, sua divisão de responsabilidades e a estrutura de ordens e controle;
- Disponibilidade da comunicação*: existência de ferramentas, meios e equipamentos para a comunicação;
- Qualidade da comunicação*: grau de correspondência entre a informação enviada pelo remetente e a informação recebida pelo destinatário;
- Composição da equipe*: relaciona-se ao tamanho e dimensão da equipe, com foco na complementariedade e redundância das habilidades e conhecimento necessário ao desempenho da tarefa;
- Liderança*: capacidade do líder da equipe de dar instruções de onde os membros devem chegar, construir relações com estes e trabalhar com eles para superar obstáculos.

3. INTERAÇÃO ENTRE OPERADORES NO MÉTODO IDHEAS

O IDHEAS (*Integrated Decision-Tree Human Event Analysis System*) é um método de ACH baseado na compreensão dos mecanismos cognitivos dos operadores e PIFs associados. Seu princípio se baseia na necessidade de desenvolver uma análise para identificar em detalhes as tarefas necessárias para a equipe desempenhar sua função e que sejam relevantes do ponto de vista do erro. Para estas tarefas, devem ser identificados os fatores contextuais que influenciam o sucesso ou a falha na missão [6].

O processo de análise do IDHEAS é composto por seis etapas, como resumido na Fig. 2:

1. Compreensão do cenário;
2. Identificação de Eventos de Falha Humana (HFEs)¹;
3. Desenvolvimento do Diagrama de Resposta da Equipe (CRD)² e análise de tarefas críticas;
4. Identificação dos Modos de Falha da Equipe (CFM)³ para cada tarefa crítica;
5. Determinação das árvores de decisão (DT)⁴ para a definição das probabilidade de erro humano (HEP)⁵;
6. Integração da análise.

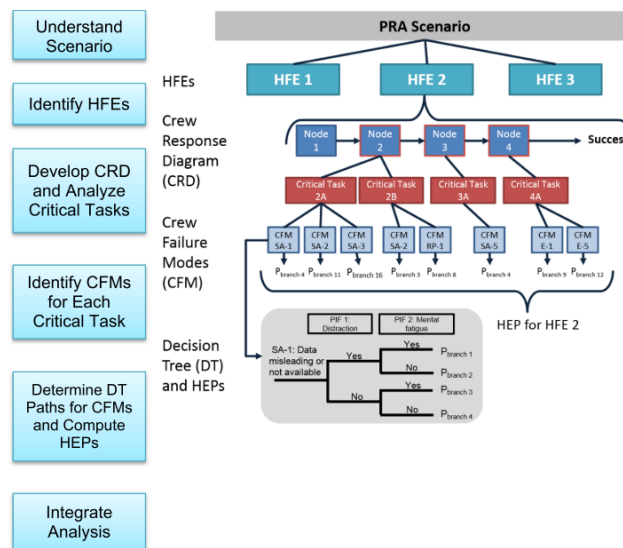


Fig. 2 – Processo do IDHEAS. Fonte: [7].

¹ Human Failure Events

² Crew Response Diagram

³ Crew Failure Mode

⁴ Decision Trees

⁵ Human Error Probability

De acordo com o IDHEAS, um CFM ocorre pela falha em um ou mais mecanismos cognitivos, a qual é diretamente influenciada pelos PIFs. O mapeamento entre os PIFs e a ocorrência de um CFM ocorre no nível das árvores de decisão. Essa influência pode se dar, basicamente, de três formas:

- PIFs que reduzem a probabilidade de sucesso;
- PIFs compensatórios, i.e., que quando existem na sua forma positiva compensam os efeitos negativos na probabilidade do CFM;
- Potencial de recuperação, em cenários nos quais há a oportunidade de corrigir o CFM.

Portanto, no método IDHEAS, além das interações entre os operadores mapeadas na análise de tarefas, também há a consideração da influência da equipe no nível de PIFs na árvore de decisão. Essa influência pode ser facilitativa ou disruptiva. Entre os fatores abordados, destaca-se a coordenação da equipe [8], que também é prevista pelo IDAC, vide seção 2.

4. REDUNDÂNCIA ENTRE OPERADORES DE CAPACIDADES SIMILARES

É certo que para o bom desempenho de uma equipe, como destacado por Chang e Mosleh [4], é mandatório que os seus componentes possuam habilidades e conhecimentos complementares. Numa tarefa complexa, cujo sucesso depende da execução apropriada de diferentes subtarefas, a ausência de uma habilidade fundamental ou conhecimento específico por conta de desfalques na equipe podem ser decisivos para a ocorrência de um acidente.

Mas, e a redundância entre operadores com capacidades similares? Quanto e como este fator contribui para o desempenho da equipe? Ao conhecimento dos autores, há escassez de dados na literatura que indiquem o quanto a redundância de operadores reduz a probabilidade de erro humano. Entretanto, Moehlenbrink et al. [9] propõem uma discussão estruturada a este respeito, com foco na redundância entre pilotos numa aeronave.

Um sistema técnico automatizado com a presença de dois operadores pode ser esquematizado como na Fig. 3. Há três tipos de monitoração neste caso:

- Monitoração automação-automação: o próprio sistema técnico detecta suas anomalias;
- Monitoração humano-máquina: o operador detecta desvios no sistema automatizado (ou vice-versa);
- Monitoração humano-humano: um operador detecta desvios no outro.

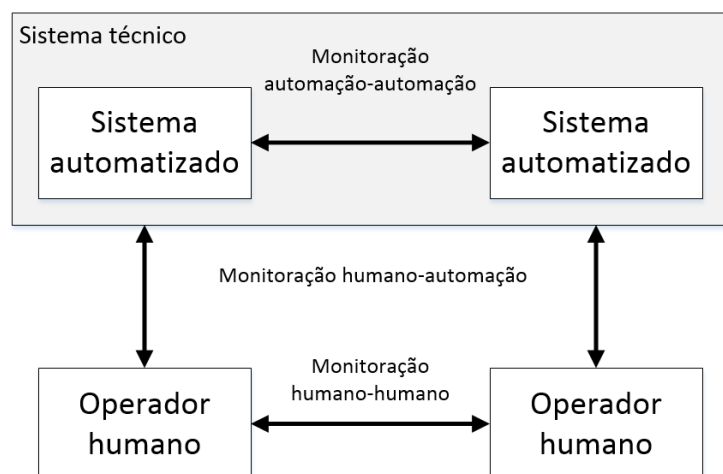


Fig. 3 – Redundâncias num sistema técnico com operadores humanos. Adaptado de [9].

Considerando o arranjo apresentado na Figura 3, a remoção de um operador, portanto, implica na eliminação de interfaces de monitoração. A monitoração humano-automação fica defasada, por perda de redundância. Já

a monitoração humano-humano deixa de existir. Naturalmente, esta última poderia ser substituída por sistemas técnicos capazes de detectar o estado humano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura proposta neste trabalho focou-se no aspecto da interação entre operadores na ACH. Foram analisadas as propostas do modelo IDAC e do método IDHEAS, além de uma breve discussão sobre a redundância entre operadores.

A revisão sugere que a ACH para equipes deve levar em consideração aspectos inerentes ao bom desempenho de uma equipe, tais como a comunicação e coordenação. O desempenho dos operadores neste contexto é influenciado tanto positivamente quanto negativamente por aspectos como monitoração mútua, disponibilidade de equipamentos de comunicação e liderança.

Da revisão bibliográfica, se concluiu a ausência de resposta na literatura para a seguinte questão: o quanto a adição de um operador redundante auxilia na redução da probabilidade de erro humano? Essa questão é primordial para a tomada de decisão em setores como o marítimo (e.g., presença de segundo prático a bordo de navios) e aeronáutico (e.g., presença de copiloto). Portanto, trabalhos futuros incluem a investigação não apenas dos aspectos qualitativos relacionados à redundância de operadores, mas também dos quantitativos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Praticagem (CONAPRA) pelo apoio financeiro, intermediado pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE). O último autor agradece o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através da concessão 304533 / 2016-5.

7. REFERÊNCIAS

- [1] L. Mkrtchyan, L. Podofilini, V.N. Dang, Bayesian belief networks for human reliability analysis: A review of applications and gaps, *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 139 (2015) 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.02.006>.
- [2] E. Salas, T.L. Dickinson, S.A. Converse, S.I. Tannenbaum, *Toward an understanding of team performance and training, in teams: their training and performance*, Norwood, NJ, 1992.
- [3] M. Abilio Ramos, I.B. Utne, A. Mosleh, Collision avoidance on maritime autonomous surface ships: Operators' tasks and human failure events, *Saf. Sci.* 116 (2019) 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.02.038>.
- [4] Y.H.J. Chang, A. Mosleh, Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents. Part 1: Overview of the IDAC Model, *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 92 (2007) 1014–1040. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2006.05.010>.
- [5] Y.H.J. Chang, A. Mosleh, Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents. Part 2: IDAC performance influencing factors model, *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 92 (2007) 1014–1040. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2006.05.010>.
- [6] G.W. Parry, J.A. Forester, V.N. Dang, S.M.L. Hendrickson, M. Presley, E. Lois, J. Xing, IDHEAS - A new approach for Human Reliability Analysis, *Int. Top. Meet. Probabilistic Saf. Assess. Anal.* 2013, PSA 2013. 2 (2013) 1327–1338.
- [7] J. Xing, G.W. Parry, M. Presley, J.A. Forester, S. Hendrickson, V. Dang, *An Integrated Human Event Analysis System (IDHEAS) for Nuclear Power Plant Internal Events At-Power Application*, Vol. 1, Palo Alto, CA, 2017.
- [8] A.M. Whaley, J. Xing, R.L. Boring, S.M.L. Hendrickson, J.C. Joe, K.L. Le Blanc, E. Lois, *Building a Psychological Foundation for Human Reliability Analysis*, 2012.
- [9] C. Moehlenbrink, M. Wies, M. Jipp, *Monitoring principles in aviation and the importance of operator*

redundancy, Conf. Proc. - IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern. (2011) 2828–2835.
<https://doi.org/10.1109/ICSMC.2011.6084101>.