

O uso da análise de confiabilidade humana, com base na metodologia spar-h, na avaliação do desempenho dos trabalhadores de uma instalação industrial.

Marcio Magalhães Paixão da Conceição - Mestrando em Engenharia Ambiental
– PEA/UFRJ. marcio.magalhaes09@gmail.com
Renato Alves da Fonseca - Doutor em Engenharia Nuclear – COPPE/UFRJ.
rfonseca@cnen.gov.br
Isaac José Antonio Luquetti dos Santos - Doutor em Engenharia Produção –
COPPE/UFRJ. luquetti@ien.gov.br

Resumo

A ergonomia é uma ciência que auxilia a identificar os fatores sócio-técnicos que podem afetar o desempenho dos trabalhadores na realização das tarefas. Neste contexto, os processos cognitivos podem ter grande relevância na eficácia da interação do ser humano (trabalhador) com o meio ambiente em que está inserido, porque atua diretamente na forma de pensar, de se comportar e, conseqüentemente, na forma de como realizar as suas tarefas. Com o auxílio da análise de confiabilidade humana através de metodologias como o SPAR-H (*Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis*) pode ser possível analisar as atividades dos trabalhadores de uma instalação industrial e identificar as possíveis falhas humanas, que podem comprometer a produção e/ou serviço, que representam risco à segurança. As falhas humanas possuem uma ligação com os fatores sócio-técnicos, onde a não identificação desses fatores pode contribuir para o aumento da probabilidade de ocorrência de tais falhas. Além disso, os fatores sócio-técnicos podem influenciar as atividades cognitivas dos trabalhadores, ocasionando ações inseguras e falhas humanas que podem possibilitar o surgimento de eventos na construção, manutenção e operação de uma planta, precursores de acidentes. A metodologia SPAR-H trata esses fatores sócio-técnicos levando em conta: aspectos cognitivos, como a complexidade da tarefa e a qualidade dos procedimentos. O SPAR-H analisa quantitativamente esses fatores que influenciam as probabilidades de falha humana ligadas às fases de ação (fase executiva) e diagnose da tarefa (fase cognitiva).

Palavras-Chaves: Ergonomia, Fatores Sócio-técnicos, Segurança, Tarefas, Confiabilidade Humana.

Área relacionada: Ergonomia e Segurança do Trabalho.

1. Introdução

O aumento da carga de trabalho em busca de resultados possui reflexos na carga mental dos trabalhadores. Pode ser deturpado o entendimento da busca de produtividade sem critérios válidos que de certa forma comprometem a segurança e qualidade de todo o sistema, seja ele ligado à produção ou ao serviço. Portanto, inicia-se o aparecimento de patologias que podem comprometer a saúde do trabalhador, além de afetar sua produtividade e a qualidade de seus serviços.

Em função da carga mental e de seus reflexos no trabalhador, os processos cognitivos possuem grande relevância na eficácia da interação do ser humano com o meio em que está inserido, porque atua diretamente na forma de pensar, de se comportar e, conseqüentemente, na forma de como desenvolver as suas tarefas.

Havendo atendimento aos requisitos ergonômicos, buscando-se a satisfação e o bem-estar o conforto dos trabalhadores aumentará, com reflexos no aumento da segurança, redução dos acidentes de trabalho, qualidade na execução da tarefa, melhoria na produtividade e qualidade dos serviços executados.

Foram identificadas não conformidades na realização das tarefas de soldagem e de teste de estanqueidade na instalação industrial. Estas não conformidades foram pontuadas como críticas, em virtude do risco associado na execução das tarefas durante a instalação industrial de gás LP (Liquefeito

de Petróleo).

2. Identificação Do Problema

Durante a execução de uma instalação industrial de gás LP (Liquefeito de Petróleo) em uma usina de asfalto ocorreram falhas atreladas à ergonomia física (execução de serviços de forma intensa), porque não houve um planejamento adequado das tarefas e do prazo de execução (tempo insuficiente). Isto fez com que os trabalhadores adotassem posturas inadequadas no carregamento dos equipamentos devido à pressão temporal, que culminaram em dores lombares e movimentos repetitivos (intensa utilização de ferramentas empregadas na execução dos serviços), sem períodos de descanso adequados e um grande número de horas extras.

Os problemas ocorridos no âmbito da ergonomia física culminaram em falhas atreladas à ergonomia cognitiva devido à excessiva carga mental sobre os trabalhadores (preocupação em terminar os serviços dentro dos tempos estipulados). Tais falhas foram: falta de atenção e falta de concentração na execução dos procedimentos de soldagem. Estas ocorrências foram ocasionadas por fadiga da equipe de montagem e pela tomada de decisões incorretas.

3. Confiabilidade Humana

De acordo com Hollnagel (2005), o termo “confiabilidade humana” é geralmente definido como a probabilidade de que uma pessoa execute corretamente alguma atividade exigida pelo sistema durante um determinado período de tempo (se o tempo for um fator limitante) sem realizar outra atividade que possa degradar o sistema. Historicamente, o que levou ao desenvolvimento de um conjunto de métodos, metodologias e técnicas ligadas à Análise da Confiabilidade Humana (ACH) foi a necessidade de descrever as possíveis e/ou prováveis ações humanas incorretas e seu impacto na Análise Probabilística da Segurança (APS).

A ACH é uma ferramenta utilizada para melhorar o desempenho humano e estimar a confiabilidade humana ao fornecer informações tanto qualitativas como quantitativas. Além disso, a ACH suporta a Ergonomia na identificação dos fatores sócio-técnicos e dos aspectos cognitivos ligados aos mesmos.

3.1 Erro Humano Ou Falha Humana

O erro humano intencional ou não intencional é definido como qualquer ação humana ou falta desta ação, que excede ou falha em atingir um nível de aceitabilidade, onde os limites do desempenho humano são definidos pelo sistema (KIRWAN, 2010).

Segundo Reason (1990), erro humano é um termo genérico usado para englobar todas as ocasiões nas quais uma seqüência planejada de atividades mentais ou físicas falha em alcançar o objetivo planejado e quando estas falhas não podem ser atribuídas a intervenção de qualquer outro agente (falha de um componente, um procedimento escrito errado, etc).

Segundo Swain e Guttman (1983) os erros humanos são classificados como:

- Erro de omissão (EOM): caracterizado pela falta de ação, quando se omite totalmente ou parcialmente os passos de uma tarefa.
- Erro de comissão (ECOM): caracterizado pelo desempenho incorreto de uma tarefa ou ação. Os operadores que cometem erro de comissão geralmente executam ações corretas de acordo com sua compreensão e seu conhecimento atual do sistema e do comportamento do mesmo. Os erros do tipo comissão podem ser classificados como:
 - Erros de seqüência: Erro na seqüência de realização das ações.
 - Erro de seleção: Erro na escolha dos controles.
 - Erro de tempo: Ação realizada em um momento não adequado.
 - Erro de qualidade: Má qualidade na execução da ação

Segundo Reason (1994), as ações humanas inseguras são classificadas como não intencionais (erros humanos) e intencionais (violações). As ações não intencionais são do tipo deslizes, lapsos e enganos. Normalmente, quando ocorrem deslizes ou lapsos, o planejamento pode ter sido satisfatório, mas as ações de alguma forma se desviaram do objetivo de modo não intencional. As tarefas podem ser

familiares, mas pode ocorrer uma omissão (falta de ação), esquecimento de etapas de uma atividade devido à falta de atenção ou falha da memória. Os treinamentos não eliminam esse tipo de erro.

O erro do tipo engano é baseado em um julgamento ou decisão equivocada. Consiste na realização de ações erradas, acreditando que estão certas. Neste caso, são situações não familiares (novas e/ou inesperadas). Os treinamentos eliminam esse tipo de erro.

4. Estrutura Metodológica

O desempenho humano tem sido a componente chave de incidentes e acidentes em muitas indústrias. A ACH é um campo em desenvolvimento que aborda a necessidade de identificar, qualificar e quantificar os erros humanos quanto a:

- 1) Realizar estudos atrelados a segurança com base na Análise Probabilística de Segurança (APS);
- 2) Apoiar processos de inspeção quanto às informações baseadas em risco;
- 3) Revisar as informações baseadas em risco;
- 4) Apoiar a regulação e divulgação das decisões baseadas em risco.

Baseado na revisão dos métodos de ACH de 1ª e 2ª geração, a metodologia SPAR-H atribui às atividades humanas duas (02) características gerais: Ação (caráter executivo) e Diagnóstico (caráter cognitivo).

- Tarefas relacionadas às ações: que estão ligadas aos equipamentos em operação (bombas, trocadores de calor, etc.) e que são desenvolvidas nos painéis, consoles e mesas de salas de controle.

- Tarefas relacionadas ao diagnóstico: que estão atreladas ao conhecimento, experiência, entendimento das condições da planta, planejamento e programação de atividades e tomadas de decisão.

O método SPAR-H apresenta uma abordagem simplificada, sendo destinado ao desenvolvimento de Avaliação Probabilística de Segurança (APS) (NUREG-6883). O SPAR-H é um método utilizado para dar suporte à análise de eventos, conforme sua estrutura básica:

- 1) Decompor as probabilidades em contribuições de falhas na ação ou falhas no diagnóstico, que podem ocasionar Eventos de Falha Humana (EFH);
- 2) Avaliação do contexto associado com os Eventos de Falha Humana (EFH) usando os Fatores de Desempenho Humano (FDH);
- 3) Uso de Probabilidades de Erro Humano (PEH) pré-definidas no método e de Fatores de Desempenho Humano (FDH) definidos em tabelas específicas. Os FDH's aplicados às PEH's alteram os valores das mesmas;
- 4) Emprego da distribuição beta para as análises das incertezas (neste artigo não serão tratadas estas incertezas);
- 5) Uso de planilhas desenvolvidas pelo método para assegurar uma análise consistente e segura.

O Quadro 1 apresenta os fatores operacionais do método SPAR-H que são mapeados em função das informações e da modelagem abordadas no parágrafo anterior. A revisão da literatura revela oito (08) fatores de desempenho humano operacionais que estão associados com a operação de usinas nucleares. Estes fatores operacionais podem estar diretamente associados ao modelo do desempenho humano, considerando as influências ergonômicas e cognitivas. Esses fatores são:

- 1) Tempo disponível
- 2) Estresse e estressores
- 3) Complexidade (influências cognitivas)
- 4) Experiência e treinamento (influências cognitivas)
- 5) Procedimentos (influências cognitivas)
- 6) Ergonomia e interface Homem-Máquina (influências ergonômicas)
- 7) Aptidão para o serviço
- 8) Processos de trabalho (influências ergonômicas)

No Quadro 1, vários aspectos de desempenho e sua relação com os FDH's são indicados. Por exemplo, a percepção tem uma limitação com base nos limites sensoriais humanos, é suscetível a interrupções ou interferências. A percepção ocorre como uma função da modalidade (ou seja, o modo da percepção podendo ser auditiva, visual ou cinestésica). A percepção nos operadores é muitas vezes uma função da qualidade da interface homem/máquina.

Quadro 1 – Fatores Operacionais no SPAR-H

Fluxo e Percepção	Memória de Trabalho / Memória de Curto Prazo	Processamento e Memória de Longo Prazo	Resposta
Presença ^{6,3} (há sinal?) e oportunidade (há alguém presente para receber a informação?) Limite dos fatores sensoriais ^{2,5,7} Modalidade ^{6,5} (verbal, gráfica/símbolo, texto) - Onomatopaico - Icônica - Cinestésica Interferência ^{6, 5, 4,7} (sinal, ruídos)	Capacidade limitada ⁵ *Processamento em série *Bom somente em curto prazo ^{2,3,5,4} (20 segundos) Quantidade certa de atenção ^{2,3,4,5,7} Ensaio ^{2,3,5,7} Saúde física e mental ⁷	Treinamento ⁴ (modelos, resolução de problemas, comportamentos) - Aprendizagem Experiência ⁴ (modelos, resolução de problemas, comportamentos) - Aprendizagem Cultura ⁸ (social, organizacional, interpessoal, (equipe)) - Aprendizagem Inteligência/Habilidades cognitivas ^{3,4,1,5,7} (decisão, execução, resolução de problemas) Fatores de interferência ^{6,2,3,7} (distracção) Tempo disponível ^{1,3} Saúde física e mental ⁷	Treinamento (ações) ⁴ *Modelos existentes de comportamentos *Prática e habilidade Experiência ⁴ (ações) - Prática e habilidade - Modelos existentes de comportamentos Controles adequados disponíveis ⁶ Limite das ações humanas ^{6,7} (força física e acuidade sensorial) Ergonomia de controle de complexidades ^{6,3} Degradação ambiental ^{2,3,6} Tempo para reação versus tempo disponível ¹

Fonte: NUREG/CR-6883 (2005)

5. Exemplo De Quantificação – Função Soldador

É apresentado um exemplo de enquadramento dos Fatores de Desempenho Humano conforme a tabela do SPAR-H. Este é um exemplo de quantificação para a função de um soldador de tubulações industriais para o gás LP (Liquefeito de Petróleo) em uma usina de asfalto, onde este exemplo pode ser aplicado a outras funções também envolvidas nesta.

A execução das tarefas sejam as mesmas de caráter cognitivo ou com características atreladas à ação, considerando também o cenário de uma situação real, possibilitou o estudo de caso aplicado a uma usina de asfalto com os seguintes fatores de desempenho humano (FDH), que têm por base a tabela do SPAR-H. Ver Quadro 2:

Quadro 2 – Fatores Desempenho Humano utilizados no SPAR-H

<i>Delimitadores do Desempenho Humano</i>	<i>Níveis dos Delimitadores do Desempenho Humano</i>	<i>Multiplicadores</i>
Tempo Disponível	Tempo Nominal/Restrito	1
Estresse/Estressores	Alto/Extremo	2/5
Complexidade	Moderada Complexidade	2

Experiência/Treinamento	Nominal	1
Procedimentos	Não Disponível	50
Necessidades de aptidões especiais	Nominal	1

Fonte: NUREG/CR-6883 (2005)

5.1 Quantificação da Probabilidade de Erro Humano das tarefas básicas do Soldador:

A metodologia SPAR-H apresenta duas Probabilidades de Erro Humano:

- Probabilidade de Erro no Diagnóstico = 0,01
- Probabilidade de Erro na Ação = 0,001
- **Quantificação da Tarefa: Realizar leitura e interpretação dos desenhos técnicos para efetuar corretamente a soldagem – Característica Cognitiva.**
 - Probabilidade de Erro Humano no Diagnóstico = 0,01
 - Delimitadores do Desempenho Humano:
 - Tempo Nominal Multiplicador 1
 - Estresse Alto Multiplicador 2
 - Moderada Complexidade Multiplicador 2
 - Experiência/Treinamento Multiplicador 1 (Nominal)
 - Aptidão Especial Multiplicador 1 (Nominal)

Importante:

O delimitador de desempenho humano procedimento não é considerado nesta tarefa, pois o desenho técnico já apresenta todas as informações necessárias ao soldador no aspecto geral do projeto e no aspecto específico da soldagem. Na avaliação do especialista, o soldador tem conhecimento e treinamento suficientes para ler e interpretar os desenhos.

- Probabilidade Final Erro Humano no Diagnóstico:
 $0,01 \times 1 \times 2 \times 2 \times 1 \times 1 = 0,04 = 4E-02$
- **Quantificação da Tarefa: Cortar, lixar, pontilhar peças metálicas – Característica de Ação.**
 - Probabilidade de Erro Humano na Ação = 0,001
 - Delimitadores do Desempenho Humano:
 - Tempo Nominal Multiplicador 1
 - Estresse Alto Multiplicador 2
 - Moderada Complexidade Multiplicador 2
 - Experiência/Treinamento Multiplicador 1 (Nominal)
 - Procedimento Não Disponível Multiplicador 50
 - Aptidão Especial Multiplicador 1 (Nominal)
 - Probabilidade Final Erro Humano na Ação:
 $0,001 \times 1 \times 2 \times 2 \times 1 \times 50 \times 1 = 0,2 = 2E-01$
- **Quantificação da Tarefa: Soldar e realizar a verificação visual das soldas bem como o dimensional de peças – Característica de Ação.**
 - Probabilidade de Erro Humano na Ação = 0,001
 - Delimitadores do Desempenho Humano:
 - Tempo Nominal Multiplicador 1
 - Estresse Extremo Multiplicador 5
 - Moderada Complexidade Multiplicador 2
 - Experiência/Treinamento Multiplicador 1 (Nominal)
 - Procedimento Não Disponível Multiplicador 50
 - Aptidão Especial Multiplicador 1 (Nominal)
 - Probabilidade Final Erro Humano na Ação:
 $0,001 \times 1 \times 5 \times 2 \times 1 \times 50 \times 1 = 0,5 = 5E-01$

- **Quantificação da Final da Tarefa:**

Se o soldador errar em algumas das tarefas anteriores independentemente se a tarefa tem característica cognitiva ou característica de ação o trabalho estará comprometido, ou seja, se o soldador errar na leitura ou interpretação ou errar no corte, lixamento, pontilhamento ou errar na soldagem, o trabalho ficará “não conforme” e terá de ser refeito. Sendo assim as portas que se apresentam são “portas ou”, então, as probabilidades se somam.

A Probabilidade Total de Erro Humano será:

$$4E-02 + 2E-01 + 5E-01 = 0,74 = 7,4E-01$$

6. Considerações Finais

A montagem da instalação industrial deve ser realizada com profissionais que tenham conhecimento técnico e de forma planejada a fim de evitar falhas humanas que possam acarretar em erros na montagem, que por sua vez podem comprometer a segurança. Ou seja, a análise de como as atividades na execução da instalação industrial pode ser realizada, utilizando-se das técnicas de análise de confiabilidade humana, são de grande relevância para a minimização dos riscos de acidentes no ambiente de trabalho.

É importante observar que a Probabilidade Total de Erro Humano é da ordem de 10^{-1} . Tal probabilidade está atrelada ao desafio de se realizar um processo de soldagem que requer qualidade elevada, em virtude do alto grau de responsabilidade técnica. Além disso, o soldador (função tida como exemplo neste artigo) normalmente realiza a solda em meios hostis como canteiros de obra ou locais de difícil acesso, onde a posição do corpo e o desconforto gerado por alguns EPI's podem dificultar o desenvolvimento da tarefa. Esta probabilidade não indica que a solda pode ficar com má qualidade, mas indica que vários retrabalhos podem ser gerados e, conseqüentemente, vários testes podem ser realizados. Neste contexto, é possível que falhas possam permanecer, ou seja, fiquem latentes aguardando o momento de uma alta carga de trabalho para aparecerem, dando início a eventos indesejados com prováveis ocorrências de acidentes.

Para minimizar este cenário de ocorrências de falhas no processo de soldagem pode ser discutida a robotização, visto que é um assunto tratado atualmente e uma tendência nas indústrias. A robotização oferece ganhos na qualidade do produto final não apresentando problemas na repetibilidade da tarefa, com diminuição do retrabalho e redução do tempo de execução das soldas devido aos programas de computador avançados, que administram o processo. No mínimo, o robô é capaz de reproduzir o trabalho do melhor soldador humano. Além disso, a robotização procura aperfeiçoar e padronizar o processo de soldagem, preservando a segurança do trabalhador em situações adversas.

Quando se propõe a discussão da robotização nos processos de soldagem de forma alguma não se apregoa a substituição dos operadores/trabalhadores dos sistemas, tanto que a substituição do fator humano de forma definitiva está atrelada a aspectos sociológicos (que não são tratados aqui).

Sendo assim, o objetivo proposto é buscar meios, seja com o emprego ou não da robotização, para eliminar e/ou reduzir os erros humanos e os possíveis acidentes decorrentes dos mesmos.

Referências

ALMEIDA, I. MUNIZ. A gestão cognitiva da atividade e a análise de acidentes do trabalho. Rev. Bras. Med. Trab., Belo Horizonte. Vol. 2, Nº 4, 275-282. 2000.

CARDOSO, JR; CORREA, C. Análise e classificação dos fatores humanos nos acidentes industriais. Produção v.17, nº 1, 186-198. 2007.

HOLLNAGEL, E. Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM). Oxford:

Elsevier, 1998.

NUREG 1278. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications final report. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1983.

NUREG 1624, Rev. 1. Technical basis and implementation guidelines for a technique for human event analysis. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2000.

NUREG 1792, Rev. 1. Good Practices for implementing human reliability analysis. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2005.

NUREG 1842, Rev. 1. Evaluation of human reliability analysis methods against good practices. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2006.

NUREG 1880. ATHEANA user's guide, final report. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2007.

NUREG 6883. The SPAR-H human reliability analysis method. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2005.

RONALD, L. BORING; BLACKMAN, HAROLD S. The origins of the SPAR-H method's performance shaping factors multipliers. Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho, USA. 2007.

SICILIANO, R. Análise dos fatores organizacionais que influenciam a percepção de risco a uma tomada de decisão gerencial. In: Estudo de caso. Dissertação de mestrado em sistema de gestão, UFF. Niterói. 2008.