

2009 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009  
Rio de Janeiro, RJ, Brazil, September 27 to October 2, 2009  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR - ABEN  
ISBN: 978-85-99141-03-8

# METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DOS OPERADORES DE SALAS DE CONTROLE DE PLANTAS NUCLEARES, EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

Bernardo Spitz Paiva<sup>1</sup>, Isaac J. A. Luquetti Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/CNEN) / Bolsista PIBIC  
Cidade Universitária, Ilha Fundão, Rio de Janeiro  
bernardo\_spitz@hotmail.com

<sup>2</sup>Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/CNEN)  
Cidade Universitária, Ilha Fundão, Rio de Janeiro  
luquetti@ien.gov.br

## RESUMO

O erro humano, se intencional ou não intencional é definido como qualquer ação humana ou a sua falta, que excede ou falha em atingir um limite de aceitabilidade, onde os limites do desempenho humano são definidos pelo sistema. Qualquer definição de erro humano deve considerar as ações e limites específicos envolvidos numa tarefa em particular, em um determinado contexto e ser considerado como um resultado natural e inevitável da variabilidade humana em interações com um sistema, refletindo as influências de todos os fatores pertinentes no momento em que as ações são executadas. Para minimizar os erros humanos, deve-se considerar os fatores que afetam o desempenho humano (FADs). Situações de trabalho adequadamente projetadas, compatíveis com as necessidades, capacidades e limitações humanas, levando em consideração os fatores que afetam o desempenho humano (FADs), podem criar condições que otimizem o desempenho do trabalhador e minimizem os erros humanos. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para identificação dos fatores que afetam o desempenho dos operadores de salas de controle de plantas nucleares, em situação de emergência, utilizando os aspectos definidos por métodos de análise da confiabilidade humana centrados no julgamento por especialista.

## 1. INTRODUÇÃO

O erro humano, se intencional ou não intencional é definido como qualquer ação humana ou a sua falta, que excede ou falha em atingir um limite de aceitabilidade, onde os limites do desempenho humano são definidos pelo sistema [1]. Os erros humanos são classificados como [2]:

- Erros de omissão (EOM): caracterizado pela falta de ação, quando se omite totalmente ou parcialmente uma tarefa.
- Erros de comissão (ECOM): caracterizado pelo desempenho incorreto de uma tarefa ou de uma ação. Os operadores que cometem erro de comissão executam, geralmente, ações corretas de acordo com sua compreensão e conhecimento atual do sistema e do seu comportamento.

Qualquer definição de erro humano deve considerar as ações e limites específicos envolvidos numa tarefa em particular, em um determinado contexto e ser considerado como um resultado

natural e inevitável da variabilidade humana em interações com um sistema, refletindo as influências de todos os fatores pertinentes no momento em que as ações são executadas.

O conceito de erro humano não deve ter conotação de culpa e punição, devendo ser tratado como uma consequência natural, que emerge devido a não continuidade entre a capacidade humana e a demanda do sistema. Para minimizar os erros humanos, deve-se considerar os fatores que afetam o desempenho humano. Esses fatores são classificados como internos e externos. Os fatores internos estão relacionados com a inteligência, motivação, personalidade, sexo, condição física, saúde e cultura do trabalhador. Os fatores externos estão relacionados com as tarefas a serem realizadas pelos trabalhadores, pelos equipamentos, interfaces, procedimentos utilizados, temperatura, umidade, iluminação, ruído, vibração, horas de trabalho, intervalos de trabalho, rodízio de turnos, estrutura organizacional e ações desenvolvidas por supervisores. A não combinação entre os fatores internos e externos resulta num estresse que degrada o desempenho humano.

Situações de trabalho adequadamente projetadas, compatíveis com as necessidades, capacidades e limitações humanas, levando em consideração os fatores que afetam o desempenho humano, podem criar condições que otimizem o desempenho do trabalhador e minimizem os erros humanos. A abordagem centrada na situação de trabalho fornece os recursos necessários para identificar e eliminar situações de erro provável, possibilitando que os fatores que afetam o desempenho humano sejam considerados e reduzindo a frequência de erros humanos.

Na área nuclear, a partir do acidente de TMI (*Three Mile Island*), optou-se pela inclusão de uma série de requisitos relacionados aos aspectos de fatores humanos no projeto, operação e nos sistemas de gerenciamento de riscos das usinas nucleares, que só levavam em consideração as falhas dos sistemas técnicos. Posteriormente, verificou-se a necessidade de estudos de métodos para análise da confiabilidade humana, denominados de primeira geração, para determinar o impacto do erro humano e sua possível recuperação na operação do sistema. Recentemente, métodos de segunda geração, que integram o conhecimento e as informações advindas da experiência operacional, fatores humanos, ergonomia e psicologia estão sendo estudados.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para identificação dos fatores que afetam o desempenho dos operadores de salas de controle de plantas industriais, em situação de emergência, utilizando os aspectos definidos por métodos de análise da confiabilidade humana centrados no julgamento por especialista.

## **2. SALAS DE CONTROLE DE PLANTAS NUCLEARES**

Uma sala de controle contém os sistemas e as instruções necessárias para controle das condições operacionais de uma planta nuclear, de modo a assegurar o seu funcionamento e desligamento confiável e seguro, em situações normais e de acidentes. As salas de controle de plantas nucleares são constituídas por um arranjo de sistemas, equipamentos, onde os operadores monitoram, controlam e intervêm no processo através de várias interfaces gráficas e estações de monitoramento. Essas interfaces e estações têm implicações significativas para a segurança, pois afetam o modo como os operadores interagem e recebem informações relacionadas com o *status* dos principais sistemas, influenciam na atividade dos operadores e

determinam os requisitos necessários para que os operadores entendam e supervisionem os principais parâmetros. As habilidades cognitivas dos operadores são especialmente importantes quando eventos não usuais ocorrem e quando a possibilidade de grandes acidentes se torna uma ameaça real a vida, meio ambiente e propriedade.

O grupo de operação tem como principal tarefa manter a planta operando em condições aceitáveis de segurança e eficiência. As ações dos operadores são normalmente baseadas em procedimentos operacionais, previamente definidos, tanto para operação normal, quanto em condições de emergência.

### **3. ANÁLISE DA CONFIABILIDADE HUMANA COM ABORDAGEM CENTRADA NO JULGAMENTO POR ESPECIALISTA**

A ligação contexto do trabalho versus acidente é complexa e observa que muitos acidentes ocorreram em situações pouco comuns, ou seja, em circunstâncias especiais que não representariam mais do que 25% do tempo de trabalho [3]. Essas circunstâncias se produziram em consequência de incidentes operatórios, respostas não previstas do sistema ou alterações nas configurações de entrada de dados. A importância dos estudos na avaliação do desempenho humano e na tomada de decisões durante situações de emergência, em instalações industriais, foi reconhecida através de diversas publicações [4]. Entretanto, poucas iniciativas foram realizadas para analisar, avaliar e integrar os fatores que afetam o desempenho humano, em situações de emergência, no gerenciamento de risco dessas instalações.

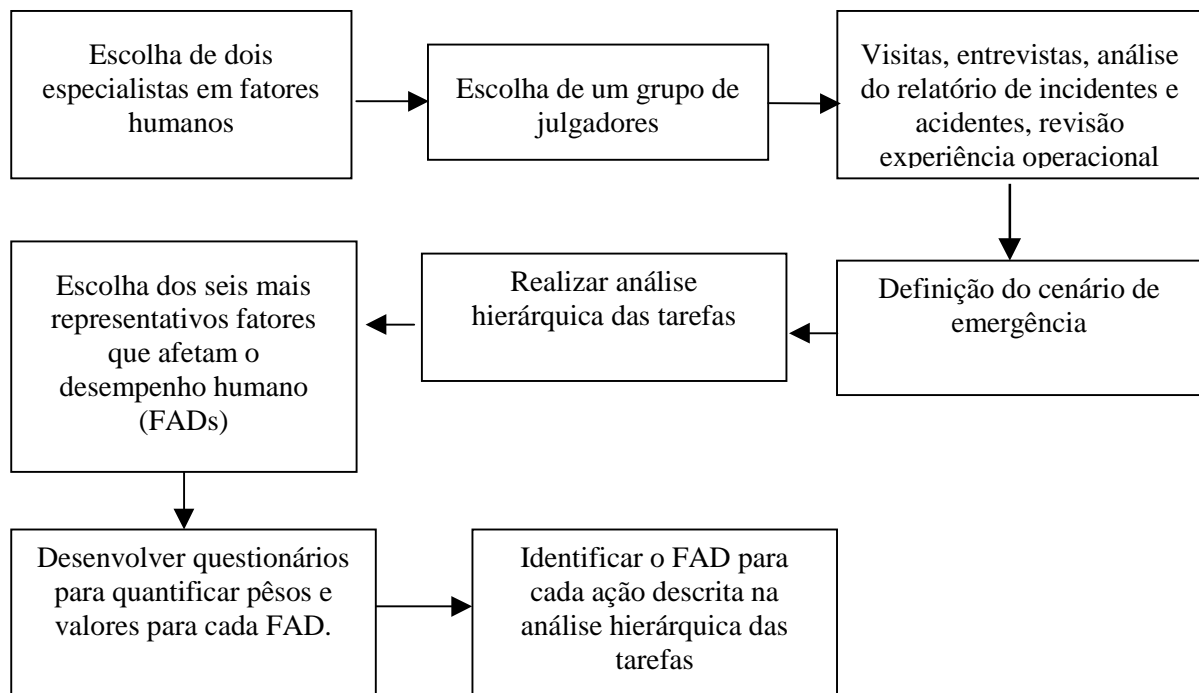
O objetivo principal dos métodos de análise da confiabilidade humana é o de gerar dados a serem utilizados na análise probabilística de segurança das plantas industriais. Alguns métodos são denominados de primeira geração, como por exemplo THERP (Technique for human error rate prediction). Outros métodos são denominados de segunda geração, como por exemplo os métodos ATHEANA (A technique for human event analysis) [5] e CREAM (Cognitive reliability and error analysis method) [6]. Os métodos de primeira geração procuram identificar os erros do tipo omissão, enquanto os métodos de segunda geração os erros de comissão. A premissa desses métodos é que os erros humanos ocorrem em função dos fatores relacionados com o contexto do ambiente de trabalho, combinados com certas condições da planta nuclear, condições não usuais de operação, não previstas no treinamento, que em função de fatores como os procedimentos não adequados de operação, deficiências no projeto das interfaces, falhas nos procedimentos de manutenção, aspectos organizacionais, alta carga de trabalho e estresse, influenciam no desempenho dos operadores. A identificação desses fatores possibilitará oportunidades de torná-los mais favoráveis, de modo a otimizar o desempenho dos operadores

O uso de julgamentos através de especialistas foi utilizado para implementar um modelo de confiabilidade humana [7]. Este modelo considera a probabilidade de ocorrência de erro humano como uma função dos fatores que afetam o desempenho dos trabalhadores (FADs). Este modelo é conhecido como SLIM-MAUD (*Success Likelihood Index- Multiple Attribute Utility Decomposition*). Portanto, em processos onde é importante avaliar a confiabilidade humana, os fatores que afetam o desempenho dos trabalhadores (FADs) são considerados de vital importância. Através de uma análise destes fatores nos diferentes ambientes de trabalho e considerando as opiniões de especialistas em segurança, projetistas, operadores, é possível

determinar quais são aqueles que mais contribuem para o erro humano ou afetaram o desempenho humano.

#### 4. METODOLOGIA

A estrutura metodológica é mostrada na figura 1.



**Figura 1. Estrutura metodológica**

As seguintes etapas devem ser realizadas:

- Etapa 1: Escolher dois especialistas em fatores humanos com dez (10) anos de experiência;
- Etapa 2: Os dois especialistas em fatores humanos definem critérios a serem usados na escolha de um grupo com pelo menos cinco (5) profissionais com experiência em operação de salas de controle de reatores nucleares, engenheiros de processos, supervisores de plantas nucleares, engenheiros de segurança, operadores de campo. O grupo principal de julgadores (GPJ) é formado por esses especialistas mais os dois especialistas em fatores humanos;
- Etapa 3: Visitar a planta nuclear, entrevistar os operadores, supervisores, chefe da operação, engenheiros de instrumentação, manutenção e segurança. Obter informações dos relatórios de incidentes e acidentes, desenhos esquemáticos da sala de controle e experiência operacional;
- Etapa 4: O GPJ define os critérios para escolha de cenários de emergência;

- Etapa 5: O GPJ desenvolve a análise hierárquica das tarefas para o cenário de emergência escolhido;
- Etapa 6: Através das informações obtidas pela análise hierárquica das tarefas, o GPJ analisa os modos de falhas humanas para cada ação realizada pelos operadores da sala de controle. O uso das técnicas FMEA (failures modes and effects analysis) ou HAZOP (Hazard and operability studies) auxilia na identificação dos modos de falhas humanas relevantes, utilizando uma estrutura mostrada na figura 2;
- Etapa 7: Através da estrutura apresentada na figura 2, cada integrante do grupo principal de julgadores identifica as falhas humanas mais relevantes e os principais FADs associados;
- Etapa 8: A lista de FADs é revisada pelo dois especialistas em fatores humanos e através de uma comparação pareada os seis (6) FADs mais citados são selecionados;
- Etapa 9: Os dois especialistas em fatores humanos desenvolvem um questionário com escala numérica para atribuir pesos para os seis (6) FADs selecionados. O questionário é respondido pelo GPJ;
- Etapa 10: A equação 1 é utilizada para calcular a soma dos pesos dos FADs para cada ação associada ao modo de falha humana relevante selecionado. A equação 2 é utilizada para calcular os pesos normalizados ( $\eta_{ij}$ ) para cada ação associada ao modo de falha relevante j and PSFi.

$$\phi_j = \sum_{i=1}^6 W_{ij} \quad (1)$$

onde:

i= 1 to 6 (PSFs)

j= ação associada ao modo de falha relevante, descrita na análise hierárquica das tarefas;

W = Peso atribuído pelo GPJ, através do questionário;

$\phi_j$ = Soma dos pesos dos PSFs.

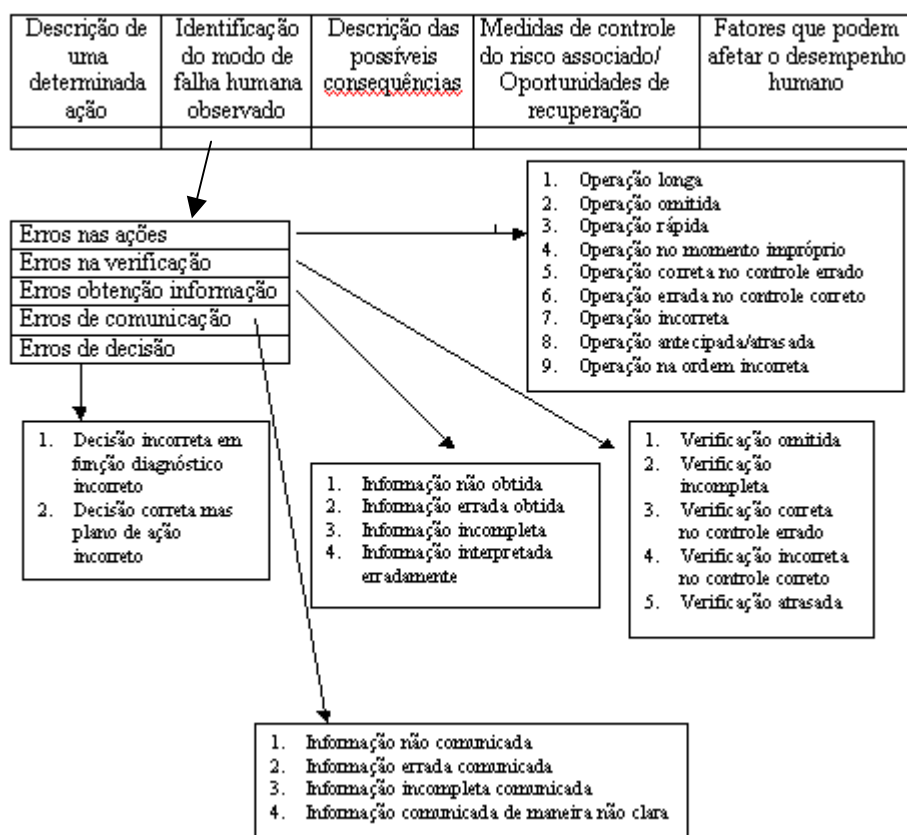
$$\eta_{ij} = W_{ij} / \phi_j \quad (2)$$

- Etapa 11: Os dois especialistas em fatores humanos desenvolvem um questionário com escala numérica para atribuir valores ( $r_{ij}$ ) para os seis (6) FADs, para cada ação associada ao modo de falha humana relevante selecionado;
- Etapa 12: O índice relacionado com a identificação dos FADs é calculado utilizando a equação 3. O menor índice ( $I_{ij}$ ) representa o fator que mais afeta o desempenho humano ao realizar uma determinada ação. A soma dos índices (S) para uma determinada ação e o valor médio ( $M_j$ ) são calculados usando as equações 4 e 5. O menor valor para  $M_j$  representa a ação associada com a maior probabilidade de ocorrência de uma falha humana.

$$I_{ij} = \eta_{ij} \times r_{ij} \quad (3)$$

$$S_j = \sum_{i=1}^6 I_{ij} \quad (4)$$

$$M_j = S_j / 6 \quad (5)$$



**Figura 2. Identificação modos de falhas humanas**

## 5. CONCLUSÕES

Este projeto tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia para identificação dos tipos de erros humanos e dos fatores que afetam o desempenho dos operadores de salas de controle, ao realizarem ações de controle do processo nuclear, durante situações de emergência. Esta metodologia está centrada no uso de julgamento de especialistas, no uso de ferramentas conhecidas de análise de processos (HAZOP e FMEA) e na identificação das ações com maior probabilidade de ocorrência de um erro humano. Um estudo de caso com os operadores do simulador de uma planta nuclear PWR (Pressurized water reactor) do laboratório de interfaces homem-sistema (LABIHS) do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) está sendo realizado. O grupo de operação da sala de controle do simulador é constituído por três operadores: o Operador do Reator (ou primário), o Operador do Circuito Secundário e o Supervisor. Cada operador controla e monitora os sistemas sob sua responsabilidade através de três telas coloridas de computador do tipo LCD de 18 polegadas, associadas com um teclado e um mouse. Foram realizadas observações sistemáticas para o acidente postulado denominado rompimento do tubo de um gerador de vapor (*SGTR– Steam*

*Generator Tube Rupture*). Durante o SGTR ocorreram múltiplos alarmes, levando ao desligamento automático do reator. Após o desligamento, os operadores realizaram ações padrões, utilizaram procedimentos de recuperação de modo a manter o reator seguro. O registro das informações abrange desde a fase de ocorrência dos múltiplos alarmes até a identificação do tipo de acidente postulado. Essas informações foram utilizadas na realização da análise hierárquica das tarefas realizadas pelos operadores.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte propiciado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ- Bolsa PQ processo 307375/2008-0 e Bolsa PIBIC). Este trabalho foi realizado na Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana do Instituto de Engenharia Nuclear/ Comissão Nacional Energia Nuclear.

## REFERÊNCIAS

1. B. Kirwan *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London: Taylor and Francis, 1994.
2. A D. Swain e H. E. Guttmann, *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. Sandia National Laboratories, NUREG/ CR-1278, 1983.
3. J. Reason. *Human Error*, Cambridge University, 1990.
4. L. J. Bellamy. “The Influence of Human Factors Science on Safety in the Offshore Industry”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 7(4), 370-375, 1994.
5. E. Hollnagel. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method- CREAM*, Oxford, 1998
6. NUREG 1624. U. S. Nuclear Regulatory Commission. *Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis*, Office of Nuclear Regulatory Research Washington
7. D. E. Embrey, *SLIM-MAUD: an Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgment*. Report No. NUREG/CR-3518 (BNL-NUREG-51716), Department of Nuclear Energy, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, 1984.