ANÁLISE DA CONFIABILIDADE HUMANA: ESTUDO DE CASO NAS OBRAS DE RECUPERAÇÃO DE UM CAIS

MANOEL DE **FREITAS** NETO*
Engenheiro

ISAAC JOSÉ ANTONIO LUQUETTI DOS SANTOS**
Engenheiro

SUMÁRIO

Introdução
Interação homem-sistema
Confiabilidade humana
    Erro humano
    Principais acidentes com a participação do erro humano
Análise da confiabilidade humana – ACH
Métodos de ACH
    Técnicas de primeira geração
    Técnicas de segunda geração
Gerenciamento da segurança do trabalho
    PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
    Definição de Risco
Métodos de análise de risco
Metodologia
Estudo de caso
    Obra de recuperação de afundamento no cais norte da Ilha Fiscal
Resultados
Conclusão

---

* N.R.: Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho, mestrando da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Programa de Engenharia de Ambiente (UFRJ/PEA) – Segurança Ambiental. Serve na Diretoria do Patrimônio Histórico e Documentação da Marinha (DPHDM) – assessor técnico.

** N.R.: Professor doutor (Comissão Nacional de Engenharia Nuclear – Cnen/Instituto de Engenharia Nuclear – IEN) e orientador (UFRJ/PEA).

INTRODUÇÃO

O número de trabalhadores com carteira assinada no segmento da construção civil dobrou nos últimos cinco anos, impulsionado pelo crescimento da economia do País e pelos investimentos em novos empreendimentos. Em 2011, o setor contava com 2.762.156 empregos celetistas. Em 2006, o montante era de 1.388.958, segundo o Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). As estatísticas de Comunicados de Acidentes de Trabalho (CAT) divulgadas pelo Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) registraram aproximadamente o triplo de acidentes nos dois últimos triênios (primeiro triênio: 58.108 e segundo triênio: 163.164) para as mesmas categorias, seguindo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (Cnae).

Considerando o grande volume de recursos financeiros e humanos que o setor movimenta, as estratégias aplicadas para o desenvolvimento de técnicas de gerenciamento de risco tornam-se muito importantes. Para reduzir o número de acidentes relacionados ao trabalho e manter a redução contínua, faz-se necessário incutir a segurança como um princípio de vida. Fica muito clara a responsabilidade das partes interessadas, *stakeholders*, em manter a dignidade e a segurança dos trabalhadores, de forma que as discussões sobre tal tema se encaminhem para a tentativa de solução dos problemas.

Este artigo foi estruturado sob a hipótese da contribuição da confiabilidade humana no gerenciamento da segurança do trabalho, usando um estudo de caso em obra de recuperação de um cais. A Análise de Confiabilidade Humana HRA (Human Reliability Analysis) foi aplicada seguindo em parte os critérios do método de análise de confiabilidade e erro cognitivo (Cream – Cognitive Reliability and Error Analysis Method), Hollnagel 1998, método de análise para identificação das demandas de atividades e funções cognitivas associadas às tarefas críticas apontada pela Avaliação Preliminar do Perigo (APP), ferramenta utilizada para o gerenciamento de riscos. O processo foi avaliado por especialistas com expertise em obras similares, por meio de entrevistas e questionários.

A abordagem deste método direcionado ao estudo de caso forneceu os recursos necessários para identificar e reduzir situações de erro provável associado às tarefas críticas, possibilitando que os fatores que afetam o desempenho humano (PSF – Performance Shaping Factor) fossem considerados e reduzidos na frequência de ocorrência de erros humanos, propiciando assim o aperfeiçoamento da gestão da segurança do trabalhador.

INTERAÇÃO HOMEM-SISTEMA

O desenvolvimento tecnológico vem atendendo à constante preocupação da área de produção: a segurança e a confiabilidade de sistemas. No viés deste desenvolvimento, o desempenho do elemento humano tem sido negligenciado quando comparado à evolução de *hard* e *software*.

Isto se deve ao fato de que tem sido dada muita ênfase à melhoria do projeto técnico. A maioria dos projetistas está preocupada com o desenvolvimento de plantas de processos com alta confiabilidade de equipamentos. Portanto, riscos decorrentes das falhas técnicas dominam a análise de risco.

O comportamento humano foi objeto de estudo somente após a análise da confiabilidade de equipamentos, quando os erros humanos apareceram como causa raiz das falhas nos sistemas.

No entanto a segurança de uma planta de processo é fortemente influenciada pela qualidade de projetos que contenham os

fatores operacionais e organizacionais. Para melhorar a segurança e, portanto, reduzir eventos indesejáveis é necessário que os equipamentos, operações, processos e ambiente de trabalho sejam compatíveis com as capacidades físicas e cognitivas do homem, bem como as suas limitações.

Neste contexto, em busca de maior eficiência e confiabilidade nas operações sociotécnicas, fundamenta-se a análise de confiabilidade humana (ACH) que tenta dimensionar o fato de que o ser humano possui características únicas, e que, mesmo com todo o aparato tecnológico presente, pode ainda cometer erros.

De maneira mais ampla, deseja-se com a ACH modelar o desempenho humano quando da realização de suas tarefas, diante das condições ambientais, operacionais e internas às pessoas e, também, as consequências das suas ações sobre o desempenho do sistema.

Para melhorar a segurança e, portanto, reduzir eventos indesejáveis é necessário que os equipamentos, operações, processos e ambiente de trabalho sejam compatíveis com as capacidades físicas e cognitivas do homem, bem como as suas limitações

CONFIABILIDADE HUMANA

Segundo Swaim e Guttmann (1983, apud LÓPES; MENEZES, 2007), a definição de confiabilidade humana é a probabilidade de um procedimento ou tarefa serem concluídos com sucesso pelo operador ou equipe em qualquer estágio na operação de um sistema dentro do mínimo de tempo exigido, quando a dimensão do tempo é relevante.

Matematicamente, a confiabilidade humana é a probabilidade de que um conjunto de ações humanas seja executado com sucesso em um tempo estabelecido ou numa determinada oportunidade, considerando suas limitações e os fatores que influenciam no seu desempenho (Dougherty & Fragola, 2005).

Erro humano

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

Pesquisadores como Rasmussem (1989) e Hollnagel (1993) concluíram que a falha humana é responsável por grande parte dos acidentes ocorridos na área industrial.

Embora os números válidos sejam difíceis de obter, parece haver um acordo geral de atribuir algo na faixa de 60% a 90% de todas as falhas do sistema para ações errôneas humanas, independentemente do domínio.

Principais acidentes com a participação do erro humano

Three Mile Island – O vazamento de substâncias tóxicas ocasionado por uma falha na usina em 1979 foi considerado um dos maiores acidentes industriais das últimas décadas nos Estados Unidos (Pensilvânia).

Chernobyl – O acidente ocorreu na quarta unidade da usina nuclear na Ucrânia, União Soviética, em 26 de abril de 1986.

Tokaimura – O acidente nuclear mais grave após Chernobyl teve também como causa principal o erro humano. O acidente ocorreu em 1999, em uma fábrica de combustível nuclear no Japão.

Bhopal – Em dezembro de 1984, a liberação de um gás tóxico, o isocianato de metila, fabricado na fábrica Union Carbide, em Bhopal, na Índia, provocou cerca de 4 mil mortes e intoxicou aproximadamente 200 mil pessoas, caracterizando, assim, a maior catástrofe da indústria química.

Piper Alpha – O desastre na Piper Alpha, plataforma de petróleo no Mar do Norte, continua sendo uma das maiores tragédias dos tempos modernos. O desastre aconteceu no dia 6 de julho de 1988, e ocorreram 167 mortes.

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE HUMANA

A Análise da Confiabilidade Humana (ACH) é uma ferramenta que fornece informações qualitativas que identificam: as ações críticas que um trabalhador deve realizar para desenvolver uma tarefa a contento; as ações não desejadas que possam degradar o sistema; as situações de erro provável; e quaisquer fatores que poderiam contribuir para os erros no desempenho de ações.

A ACH fornece também dados quantitativos que são estimativas numéricas da probabilidade de que uma tarefa será desenvolvida de maneira incorreta ou de que ações não desejadas serão realizadas.

O primeiro estágio na análise da confiabilidade humana é a identificação dos erros humanos. O processo de identificação de erros humanos começa pelo estabelecimento do escopo da análise. A principal decisão é até que ponto o erro humano deve ser considerado, ou seja, se consideramos apenas a atuação direta (ou a falta dela) do trabalhador na instalação, se incluímos diagnósticos errados, tomadas de decisão inadequadas, erros de manutenção, falhas de comunicação, ou mesmo violação de regras ou procedimentos estabelecidos.

A fase seguinte é a realização de uma análise em que se procura reconstituir as tarefas executadas, por meio da análise de procedimentos e/ou experimentos identificando o momento e as causas dos eventuais erros. Uma vez identificado o erro, o potencial de correção é também considerado, assim como as consequências.

A partir daí, podem ser definidos modos para reduzir a probabilidade de ocorrência destes erros ou seu impacto no sistema.

MÉTODOS DE ACH

As primeiras tentativas em se modelar o comportamento homem-máquina e suas interfaces iniciaram-se na década de 70. A área industrial e de energia lideraram as pesquisas neste contexto, destacando-se a indústria nuclear. Estas técnicas, contudo, podem ser aplicadas a qualquer setor produtivo, dependendo do problema que se deseja avaliar.

As técnicas de ACH, que são divididas em 1ª e 2ª geração, apresentam algumas deficiências, pois tratam-se das primeiras tentativas de modelar o comportamento humano e suas interações com sistemas sociotécnicos.

Técnicas de primeira geração

A literatura acadêmica Hollnagel (1998) sintetiza a primeira geração com os seguintes exemplos:

Accident Investigation and Analysis (Aipa) 1975, Technique for Human Error Rate Prediction (Therp) 1975, Operator Action Tree (OAT) 1982, Social-Technical Assessment of Human Reliability (Stahr)1983, Expert Estimation (EE) 1984,

Success Likelihood Index Method/Mult-Atribbute Utility Decomposition (Slim/Maud) 1984 e Maintenance Personnel Performance Simulation (Mapps) 1984 e Confusion Matrix (CM) 1985.

Estas técnicas chamadas de primeira geração não conseguiram representar o modelo das ações humanas e os Fatores que Afetam o Desempenho (FAD).

Para compensar esta deficiência surgiram as técnicas de segunda geração.

Técnicas de segunda geração

Cognitive Environment Simulator (CES) 1988, Intention Event Tree System (Intent) 1990, Cognitive Event Tree System (Cogent) 1992, Human Interaction Timeline (Hitline) 1994, Project on Methods for Addressing Human in Safety Analysis (Epri) 1995, Technique for Human Error Analysis (Atheana) 1996 e Cognitive Reliability and Error Analysis Method (Cream) 1998.

Os métodos de análise da confiabilidade humana em apoio à tomada de decisão representam uma visão do papel atual do processo de investigação e mitigação do erro, sem o qual objetivos organizacionais ou individuais não poderão contribuir e avançar de forma significativa para segurança e eficiência.

A falta de adequação de ambientes de trabalho sobre tecnologia complexa criou muitos desafios, além de levar a um grande número de acidentes. Embora a qualidade de organização e gestão dentro do ambiente de trabalho desempenhe um papel importante nestes acidentes, o significado da ação humana individual (como uma causa direta, e como fator atenuante) é inegável. Isso criou uma necessidade de novas abordagens integradas para análise de acidentes e avaliação de riscos.

A falta de adequação de ambientes de trabalho sobre tecnologia complexa criou muitos desafios, além de levar a um grande número de acidentes. Isso criou uma necessidade de novas abordagens integradas para análise de acidentes e avaliação de riscos

GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA DO TRABALHO

PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

Em conformidade com a Lei 6.514/77, Norma Regulamentadora NR 9, o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do PPRA, visando à preservação de saúde e da integridade dos trabalhadores, por meio de antecipação, reconhecimento, avaliação e consequente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do homem, do meio ambiente e dos recursos naturais.

Definição de risco

O risco pode ser entendido como o perigo, a probabilidade ou a possibilidade de um infortúnio, insucesso ou resultado indesejado.

RAFTERY (apud BALOY 2003) considera risco um conceito abstrato com muitos significados, de tal sorte que engenheiros o veem sob a ótica da tecnologia, profissionais de saúde e ambientalistas pela perspectiva do meio ambiente, e assim por diante, de acordo com a área do conhecimento.

BARBER (2005) define risco como "uma ameaça ao sucesso do projeto, onde o impacto final sobre o sucesso do projeto não é certo".

O Programa de Prevenção de Riscos Ambientais segue as seguintes etapas:

a) antecipação e reconhecimentos dos riscos; b) estabelecimento de prioridades e metas de avaliação e controle; c) avaliação dos riscos e da exposição dos trabalhadores; d) implantação de medidas de controle e avaliação de sua eficácia; e) monitoramento da exposição aos riscos; e f) registro e divulgação dos dados.

MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO

Diversas ferramentas são aplicadas atualmente para identificar os cenários de perigos, reconhecimento, avaliação dos riscos, bem como determinar medidas prevencionistas e mitigadoras da ocorrência de riscos ambientais. As técnicas de análise mais utilizadas são as seguintes:

Série de riscos ("What If...?") – Esta técnica baseia-se na aplicação de perguntas como "O que acontecerá se...?" (do inglês What... If?), determinando o risco de maior significância. Na elaboração de séries de riscos, são apresentados passo a passo, a partir do risco ou riscos iniciais, todos capazes de contribuir na série, que irá resultar finalmente no risco principal e nos possíveis danos.

Análise por árvore de eventos – Estruturada a sucessão de todas as causas prováveis, é calculada a probabilidade de cada causa acontecer isoladamente, e, por meio de análise matemática, calcula-se a probabilidade de o evento destacado ocorrer. Esta análise é utilizada em estudos de grande importância, tais como Complexos Nucleares.

Análise Preliminar de Perigos (APP) – Esta metodologia procura examinar os possíveis eventos, identificando causas, métodos de detecção disponíveis e efeitos sobre o ambiente. Além disso, são sugeridas medidas preventivas e/ou mitigadoras dos perigos, a fim de se eliminar as causas ou reduzir as consequências dos cenários de acidentes identificados. Na APP é feita uma avaliação pseudoquantitativa da frequência de ocorrência do cenário de acidentes e da severidade das consequências, e atribuído um risco associado.

Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop – Hazard and Operability Studies) – Esta metodologia é bastante estruturada, utilizando-se de procedimentos geradores de perguntas sistemáticas, valendo-se do uso apropriado de um conjunto de palavras-guias. O desenvolvimento da técnica é a investigação de forma minuciosa e metódica de cada segmento de um processo, visando descobrir todos os possíveis desvios das condições normais de operação, identificando as causas responsáveis por tais desvios e as respectivas consequências. As principais vantagens da análise por Hazop estão relacionadas com sistematicidade, flexibilidade e abrangência para identificação de perigos e problemas operacionais.

Análise de modos e efeitos de falhas (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) – É uma técnica aplicada principalmente a componentes, cujo objetivo primordial é radiografar cada um dos componentes de um sistema, levantando a probabilidade de ocorrer falha em sistemas complexos. As probabilidades geradas são de grande valia para confecção da técnica de árvore de falhas.

Técnica de incidentes críticos – O método identifica erros e condições inseguras que contribuem para os acidentes com lesão, tanto reais como potenciais. A participação de observadores-participantes, selecionados dentro de uma população dos principais departamentos da empresa, elabora uma amostra representativa de operações existentes dentro das diferentes categorias de risco.

METODOLOGIA

No desenvolvimento deste artigo, foi aplicada a metodologia abaixo descrita, objetivando identificar as demandas de atividades e funções cognitivas associadas às tarefas críticas apontadas por uma ferramenta de gestão de risco, a Avaliação Preliminar do Perigo (APP), aplicada a um estudo de caso de obra de recuperação de um cais, com o objetivo de identificar e propor medidas para reduzir situações de erro provável.

Etapa 1: Revisão e estudos de métodos de análise da confiabilidade humana.

Etapa 2: Aplicação de método ACH de segunda geração.

Etapa 3: Identificação de um trabalho de alto risco a ser analisado no estudo de caso.

Etapa 4: Descrição do processo:

– descrição em blocos de todas as etapas do trabalho;

– identificação das pessoas e respectivos cargos envolvidos em cada etapa;

– identificação das ferramentas utilizadas pelos trabalhadores em cada etapa; e

– identificação das tarefas realizadas pelos trabalhadores (análise das tarefas).

Etapa 5: Analisar a atividade dos trabalhadores no local de trabalho.

Etapa 6: Identificação dos potenciais modos de falhas na realização das tarefas e da atividade de trabalho.

Etapa 7: Identificação das potenciais falhas humanas.

Etapa.8: Identificação dos fatores que afetam o desempenho dos trabalhadores e podem originar as potenciais falhas humanas.

Etapa 9: Gerenciar as falhas, de modo a minimizar os riscos, otimizar a segurança do trabalho.

Etapa 10: Incorporar os resultados obtidos no gerenciamento da segurança de trabalho.

ESTUDO DE CASO

O método de segunda geração Cognitive Reliability and Error Analysis Method – Cream (Hollnagel 1998) foi aplicado, em parte, ao estudo de caso, uma obra de recuperação estrutural de um cais.

A modelagem do processo de recuperação do cais permite à Análise da Confiabilidade Humana (HRA) identificar falhas no sistema de recuperação do cais e suas interações com os processos de cognição humana.

Em particular, o uso do método permite que projetistas de sistemas de segurança e analistas de risco possam: identificar as tarefas que requerem cognição humana e, portanto, dependem de confiabilidade cognitiva; determinar as condições da confiabilidade cognitiva e consequentemente redução dos riscos; e fornecer uma avaliação das consequências do desempenho humano no sistema de segurança.

Obra de recuperação de afundamento no cais norte da Ilha Fiscal

Em maio de 2009 foram identificados dois grandes pontos de afundamento no cais norte da Ilha.

Em junho de 2009 foi realizada uma pesquisa do processo construtivo do cais norte da Ilha.

Em julho de 2009 foi emitido laudo técnico pela Diretoria de Obras Civis da Marinha com a seguinte conclusão:

"Devido à movimentação das marés e ao constante fluxo de embarcações que acessam o Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), há uma grande incidência de ondulações sobre a superfície do paramento constituído de blocos de granito. Essas ondulações, associadas à idade da construção, e a ausência de manutenções preventivas fizeram com que os blocos se deslocassem do posicionamento original e, em alguns casos, acabassem caindo no interior da Baía de Guanabara, resultando grandes falhas na estrutura do paramento, como pode ser observado nas figuras apresentadas.

Como na área de falhas não existe mais proteção à retroterra que forma a parte interior do cais, e devido à movimentação das marés, iniciou-se o processo de fuga de material arenoso da área localizada abaixo do arruamento, acarretando, consequentemente, o afundamento do piso nas proximidades do cais Norte da Ilha Fiscal."

As figuras 1 e 2 ilustram as falhas na estrutra do paramento. A análise do problema identificou risco iminente ao desmoronamento. Diante do preocupante estado do muro de paramento e do solo contíguo ao muro, foi determinada a interdição de todo o cais norte para passagem de pedestres e movimentação de carga e equipamentos.

Planejamento, projetos e aprovação de certame

No período de setembro de 2009 a outubro de 2010 foram executadas as seguintes etapas:

Aprovação do crédito para o exercício financeiro de 2010; delineamento e aprovação do projeto básico prevendo a execução dos serviços de recuperação do cais; análise e aprovação do edital de licitação, na modalidade pregão eletrônico, pela Diretoria de Administração da Marinha, pelo Núcleo de Assistência jurídica da União (NAJ) e pelo Instituto Estadual do Patrimônio Artístico e Cultura – Inepac, pois a Ilha Fiscal é um patrimônio tombado pela esfera estadual; e publicação do edital no Diário Oficial da União e assinatura do contrato com a DPHDM pela licitante vencedora do certame.

RESULTADOS

Modelagem de processo de recuperação do cais

Serviço 1 – Inspeção subaquática e sondagem. O laudo de sondagem para identificar o perfil do solo e sua resistência e o

Figura 1 – Falha no paramento do cais norte

Figura 2 – Falhas no interior do cais

trabalho de mergulhadores para mapear a localização das cavernas ao longo do cais e quantificar o volume de material necessário para seu preenchimento.

Serviço 2 – Remoção das instalações existentes. A área a ser recuperada se estende pelos 158 metros de comprimento do cais norte da Ilha Fiscal. Neste local existe uma infraestrutura que atende aos prédios consistindo das seguintes instalações: elétrica, alta e baixa tensões, hidráulica, água potável, incêndio, água do mar pressurizada, redes de esgoto sanitário e gordura.

Serviço 3 – Escavação, escoramento e concretagem das fundações na área de recuperação do cais. As escavações, mecanizada e manual, no terreno contido entre o paramento do cais e o canal de suprimentos.

Serviço 4 – Montagem de formas, armações e concretagem das lajes, vigas e contrafortes. Com o nivelamento do fundo da vala proporcionado pela concretagem da fundação, descrito na atividade anterior, serão executados os 50 furos de 40mm no muro do cais, com equipamento elétrico fixado ao muro. A montagem manual das formas executada com compensado resinado e as armações das vigas e contrafortes, seguindo os respectivos projetos.

Serviço 5 – Descimbramento de formas e instalação de chumbadores e manta geotêxtil. Após o tempo de cura do concreto previsto em projeto, executar o descimbramento e a desforma das lajes, vigas e contrafortes, iniciando com as placas laterais. Os chumbadores serão instalados nos furos que atravessam o muro e contrafortes. São executados por barras dividag 36 mm tensionadas por porcas e placas de ancoragem.

Serviço 6 – Instalação do bolsacreto na retroárea, religação das instalações, reaterro e pavimentação da área recuperada. A instalação dos bolsacretos no fundo da vala será executada pelo transporte dos materiais do depósito ao local de consumo. Para reinstalação da infraestrutura desligada na atividade 2, seguir o seguinte procedimento descrito: construir as caixas de passagem da rede de alta e baixa tensões nas dimensões e posição determinada em projeto; a área recuperada deverá ser aterrada com solo de boa qualidade, aproveitando os materiais oriundos das escavações ou completado com areia na cota de arrasamento estabelecida em projeto.

Serviço 7 – Instalação do bolsacreto nas cavernas submersas e instalação de chumbadores no fundo da baía. Nos trechos a serem recuperados, os elementos do paramento deverão ser limpos com escovação enérgica e utilização de jato de água pressurizada, retirando-se todas as incrustações e, nos trechos de ocorrência de brechas, removendo o concreto desagregado e as armações corroídas.

Serviço 8 – Montagem das formas, ferragens e concretagem da placa impermeabilizante. Executar a montagem manual das formas em compensado resinado efetuando o tamponamento dos vazamentos e seguindo o nivelamento do topo e as dimensões das formas informadas pelo projeto.

Serviço 9 – Descimbramento das formas e reparo das falhas de concretagem. Após o tempo de cura do concreto previsto em projeto, executar o descimbramento e desforma das placas com o apoio do flutuante e da gaiola metálica.

Serviço 10 – *Check-list*, remoção de resíduos e aceite provisório da obra. Após a conclusão do objeto do contrato e do cumprimento de eventuais pendências observadas, é realizado o Termo de Entrega Definitivo da obra ao contratante.

Identificação e análise de um serviço de alto risco

Uma das etapas da metodologia utilizada neste trabalho acadêmico é a

realização de uma pesquisa de informações direcionada para profissionais com experiência em obras similares para identificação do serviço que expõe o trabalhador ao maior risco na execução de recuperação do cais.

Para identificação deste serviço foi aplicado um questionário, previamente testado por um grupo de profissionais que expressaram seu entendimento na proposição inicial.

Após esta fase de teste, o questionário foi aplicado a 40 especialistas, selecionados pelo critério da experiência em análise de acidentes, segurança do trabalho, gerenciamento e coordenação de obras civis, portuárias e atividades afins.

Deste grupo de profissionais, 20 tiveram a oportunidade de contribuir com a pesquisa. Os profissionais que responderam compõem as seguintes categorias: quatro especialistas em SMS (Saúde, Meio Ambiente e Segurança); seis engenheiros civis; cinco engenheiros de segurança do trabalho e cinco mestres de obra.

O resultado da pesquisa foi apresentado ao mesmo grupo de especialistas que verificaram a coerência entre as proposições iniciais e os resultados obtidos.

Foi verificado que o resultado também está coerente com a Norma Regulamentadora NR-15 da Lei 6.514 de 22/12/2012 aprovadas pela portaria 3.214 de 8/06/1978 item 2.1-VIII do anexo 6 – Trabalho sob condições hiperbáricas –, que classifica como condições perigosas para as situações em que uma operação de mergulho envolva riscos adicionais ou condições adversas, tais manobras de peso ou trabalhos com ferramentas que impossibilitem o controle da flutuabilidade do mergulhador; (...) h) trabalhos em ambientes confinados.

A análise dos resultados identificou o serviço 7 como o serviço que mais expõe o trabalhador a riscos no ambiente de trabalho.

Detalhamento das tarefas do serviço crítico – instalação do bolsacreto nas cavernas submersas

O serviço 7 é realizado por duas equipes de trabalho: uma na produção do concreto e a outra no lançamento do concreto nas bolsas têxteis (bolsacreto) no interior das cavernas submersas.

Equipe 1 – Bombeamento do concreto.

Composição básica da equipe de trabalhadores: um supervisor, um técnico de edificações, um encarregado da equipe 1, um encarregado da equipe 2, um operador de equipamento, dois pedreiros, quatro ajudantes e cinco mergulhadores.

Equipamentos utilizados: caminhão betoneira, bomba estacionária de concreto, tubulação rígida e mangote flexível. Fornecimento de equipamentos de proteção individual e coletivo: capacete, luva raspa de couro, óculos de proteção, abafador auricular, bota bico aço, protetor solar etc.

Descrição das tarefas:

1 – Instalação da bomba de concreto estacionária e linha de dutos.

2 – Executar a purga e limpeza do sistema bomba-dutos.

3 – Bombeamento do concreto.

4 – Limpeza do sistema de bombeamento de concreto e desmontagem da linha de dutos.

5 – Verificação e controle da concretagem.

6 – Término.

Equipe 2 – Enchimento dos bolsacretos nas cavernas submersas.

Composição básica da equipe de mergulho: um encarregado equipe de mergulho, um operador de compressor, e cinco mergulhadores;

Equipamentos utilizados: compressor de ar, bote em fibra com motor 22CV Yamaha, flutuante 3,0x3,0m para dar condições de acesso do mergulhador no mar.

Equipamentos de proteção individual: máscara de mergulho com dois vidros temperados de neoprene ou silicone; *snorkel* de 45cm de extensão de silicone ou neoprene com dreno; nadadeiras de tiras ajustáveis e tamanho da lâmina compatível com o porte físico do mergulhador; regulador de ar; manômetro submersível; roupa de exposição úmida confeccionada em neoprene como isolante térmico e seus acessórios compostos por capuz, luvas e botas; cinto de lastro de chumbo; faca de mergulho com bainha; bolsa de equipamentos; e bandeira de mergulho.

Descrição das tarefas. As figuras 3 e 4 ilustram parte do processo:

1 – Procedimentos de controle e segurança do mergulho.

2 – Instalação do bolsacreto na caverna submersa.

3 – Teste de bombeamento do concreto para o interior da caverna submersa.

4 – Desconectar mangote do bolsacreto.

5 – Preenchimento de uma série de bolsacretos no fundo da caverna.

6 - Recolher equipe de mergulho, ferramentas e equipamentos. Mergulhador.

7-Término da tarefa.

Figura 3 – Instalação do bolsacreto na caverna

Figura 4 – Mergulhador dentro da caverna

Identificação das tarefas criticas

Foi realizada a Análise Preliminar de Perigos (APP) que identificou 59 cenários acidentais na realização das tarefas criticas realizadas pelos trabalhadores das equipes 1 e 2 no serviço 7. As respectivas categorias de frequência, severidade e riscos associados estão apresentadas resumidamente nas tabelas 1 e 2.

Equipe 1 – Bombeamento do concreto

Foi observado que a tarefa III (Bombeamento do concreto) apresentou a maior pontuação geral (30) e também a maior

Tabela 1 – Nível de risco identificado, APP associadas aos cenários de risco

Risco identificado	Tarefa I	Tarefa II	Tarefa III	Tarefa IV	Tarefa V	%
DESPREZÍVEL	-	-	-	-	-	0,0%
BAIXO	2	-	-	-	2	5,13%
MODERADO	3	3	3	6	3	23,08%
SÉRIO	8	12	12	-	4	46,15%
CRÍTICO	5	-	15	-	-	25,64%
TOTAL	18	15	30	6	9	100,00%

Tabela 2 – Nível de risco identificado, APP associadas aos cenário de risco

Risco identificado	Tarefa I	Tarefa II	Tarefa III	Tarefa IV	Tarefa V	Tarefa VI	%
DESPREZÍVEL	-	-	-	-	-	-	0%
BAIXO	2	-	-	-	-	2	2,55%
MODERADO	-	-	-	-	3	-	1,91%
SÉRIO	12	16	28	16	28	-	63,69%
CRÍTICO	5	15	10	5	15	-	31,85%
TOTAL	19	31	38	21	46	2	100%

pontuação para os riscos de categoria sério e crítico. Portanto a tarefa III foi considerada como a que expõe os trabalhadores aos maiores riscos.

Equipe 2 – Enchimento dos bolsacretos nas cavernas submersas

Foi observado que a tarefa V (Preenchimento de uma série de bolsacretos no fundo da caverna) apresentou a maior pontuação geral (46) e também a maior pontuação para os riscos de categoria sério e crítico. Portanto a tarefa V foi considerada como a que expõe os trabalhadores aos maiores riscos.

Identificação dos potenciais modos de falhas humanas

O propósito da análise e identificação dos potenciais modos de falhas humanas na realização das tarefas críticas (III e V) é de encontrar o caminho para a manifestação das ações errôneas para a provável causa e o por que desses erros ocorrerem. É necessário identificar a essência das funções cognitivas que estão envolvidas para determinar as ações internas do elemento humano, assim como os fatores externos, ambientais e organizacionais, que exercem influência sobre aquelas funções.

O Modelo Simples de Cognição – SMoC (Hollnagel & Cacciabue, 1991). Os autores classificaram os elementos essenciais de cognição e tentam organizá-los numa forma de aplicação genérica no desempenho de tarefas. Num aspecto geral, este modelo é muito pequeno para representar todos os aspectos da capacidade humana de cognição, porém representa o início de uma modelagem.

Funções cognitivas – As funções cognitivas realizadas na ação de uma tarefa, considerando o modelo SmoC, foram classificadas em: observação, identificação, planejamento e execução.

Classificação de atividades cognitivas:

As atividades cognitivas realizadas no processamento de tarefas segundo Rouse (1981) e Barrier (1994) são: coordenar, comunicar, comparar, monitorar, observar, planejar, gravar, regular, revisar e verificar.

Para cada atividade cognitiva é atribuída ao menos uma função cognitiva, como por exemplo: a atividade de monitorar tem a função cognitiva de observação e interpretação; avaliar tem a função cognitiva de interpretação e planejamento, e assim segue a classificação atribuída pelos autores.

Introduzindo estes dois conceitos numa matriz função x atividade cognitiva, aplicados às tarefas críticas executadas pelas duas equipes, teremos as tabelas 3 e 4, que demostram como resultado a demanda cognitiva para cada tarefa crítica.

Tabela 3 – Demanda de funções cognitivas da tarefa III

ID	Descrição	Quem	Observação	Interpretação	Planejamento	Execução
3	Bombeamento do concreto					
3	Início do bombeamento do concreto					
3.1	Receber o concreto usinado em caminhão betoneira	Técnico de Edificações	1	1	1	1
3.2	Acionar o bombeamento do concreto	Operador da Bomba				1
3.3	Fornecimento do concreto aos locais de utilização	Encarregado da equipe 1	1	1		
3.4	Interrupção do bombeamento do concreto	Encarregado da equipe 2				3
3.5	Reinício do bombeamento do concreto	Operador da Bomba				3
3.6	Término do bombeamento do concreto	Encarregado da equipe 1				3
TOTAL			2	2	1	11

Tabela 4 – Demanda de funções cognitivas da tarefa V

ID	Descrição	Quem	Observação	Interpretação	Planejamento	Execução
5	Enchimento dos bolsacretos					
5.1	Execução da 1ª camada horizontal de bolsacretos	Mergulhador	1	3	1	6
5.2	Execução da 2ª camada horizontal de bolsacretos	Mergulhador	2	4	1	5
5.3	Preenchimento da última camada de bolsacreto.	Mergulhador	3	4	1	5
TOTAL			6	11	3	16

Identificação das demandas cognitivas

Os gráficos ilustrados nas figuras 5 e 6 demonstram as tarefas críticas que mais exigiram da cognição humana.

A figura 5 demonstra a subtarefa 1.3.1 com a maior demanda cognitiva e a subtarefa 1.3.2 com a menor demanda cognitiva.

Identificação da subtarefa crítica com maior demanda cognitiva da equipe 2

A figura 6 demonstra a subtarefa 2.5.1 com a maior demanda cognitiva e a subtarefa 2.5.2 com a menor demanda cognitiva, porém as três com níveis de cognição muito mais complexos que as tarefas executadas pela equipe 1.

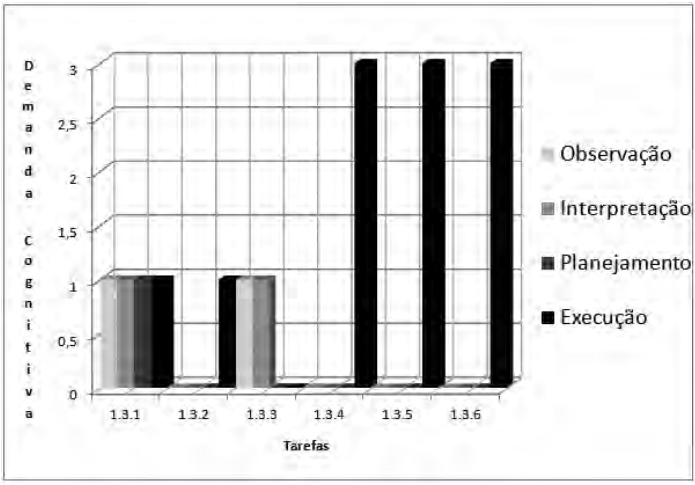

Figura 5 – Gráfico demanda cognitiva x tarefa crítica – Bombeamento do concreto

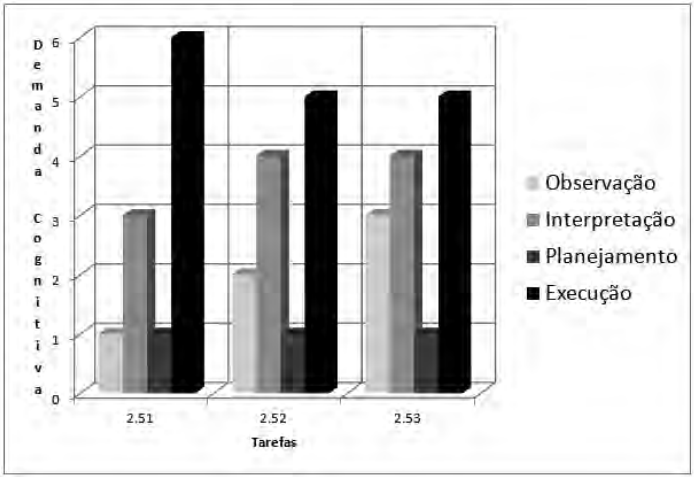

Figura 6 – Gráfico demanda cognitiva x tarefa crítica – Enchimento do bolsacreto

Identificação dos fatores que afetam o desempenho dos trabalhadores (FAD)

Para minimizar as probabilidades de ocorrência de erros humanos identificados nas subtarefas 1.3.1 e 2.5.1, etapa anterior, devemos considerar os fatores que afetam o desempenho humano (FAD). Esses fatores são classificados como internos e externos. Os fatores internos estão relacionados com inteligência, motivação, personalidade, sexo, condição física, saúde e cultura do trabalhador. Os fatores externos estão relacionados com as tarefas a serem realizadas pelos trabalhadores, 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 em um 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 minimizem os erros humanos. A abordagem centrada na situação de trabalho fornece os recursos necessários para identificar e eliminar situações de erro provável, permitindo que os fatores que afetam o desempenho humano, como, por exemplo, os elaborados por FURUTA, T. (1995) ou SWAIM, A. D. & Guttmann, H.E. (1983), sejam considerados e inseridos em planos de ação que, ao serem executados, possibilitarão a redução da frequência de ocorrência de erros humanos.

CONCLUSÃO

Foram apresentados alguns métodos de avaliação da confiabilidade humana e gerenciamento de riscos voltados para os desvios causados pela falha humana. A grande vantagem desta técnica é que a prevenção do erro humano poderá ser focada com ações de bloqueio que atingem diretamente as pessoas que executam as tarefas e que podem falhar ao longo de sua jornada de trabalho, colocando em risco a vida de trabalhadores, o meio ambiente e o nome da organização.

Os potenciais erros humanos identificados pelo método Cream, associados às tarefas críticas identificadas pela APP, propiciaram condições para que as medidas preventivas e mitigadoras sejam implementadas.

Para melhorar o desempenho humano são necessárias algumas abordagens gerais, como mudanças nas diretrizes corporativas, que afetam desde desenvolvimento de profissionais à cultura de segurança, no treinamento e carga de trabalho por empregado, impactando no tempo disponível para planejamento e execução do trabalho.

A abordagem deste método direcionado ao estudo de caso forneceu os recursos necessários para identificar e reduzir situações de erro provável associado às tarefas críticas, possibilitando que os fatores que afetam o desempenho humano fossem considerados e reduzidos na frequência de ocorrência de erros humanos, propiciando assim o aperfeiçoamento da gestão da segurança do trabalhador.

🗁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:
<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Engenharia civil; Restauração;

REFERÊNCIAS

LEI 6.514 de 22/12/2012 Norma Regulamentadora NR-15 aprovadas pela portaria 3.214 de 8/06/1978 Item 2.1-VIII do anexo 6 - Trabalho sob condições hiperbáricas.

BARROS, M.H.B. Confiabilidade humana no trabalho: uma abordagem ergonômica na prevenção da falha humana em um processo de reestruturação produtiva, UTFPR, 2006.

BARRIERE M., Luckas, W., Whitehead, D & Ramey-Smith, A. (1994). An analysis of operational experience during low power and shutdown and plan for addressing human reliability issues (NUREG/CR-6093).

DOUGTERTY , E.M. Jr., & FRAGOLA, J.R. (1988). Human reliability analysis. A system engeneering approach with nuclear power plant application. New York: John Wiley & Sons.

FURUTA, T. (1995) Management of maintenance outages and shutdowns. Proceedings of Joint OECD/NEA-IAEA Symposium on Human Factors and Organisation in NPP Maintenance Outages: Impact on Safety. Stockolm, Sweden, June 19-22,1995.

HOLLNAGEL & CACCIABUE, 1991. Cognitive modeling in system situation. Proceedings of Third European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control, Cardiff, September 2-6, 1991.

HOLLNAGEL, E. Cognitive Reliability and Error Analysis Method, 1998.

NASCIMENTO, c.s. do. Aplicação da metodologia fuzzy na quantificação da probabilidade de erro humano em instalações nucleares. IPEM – USP, 2010.

NAVARRO, L. L. L. Organizações de Alta Confiabilidade: Um estudo sobre suas características e princípios/Leonardo Luiz Lima Navarro – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

ROUSE, W.B. (1981). Human-computer interaction in the control of dynamic system. ACM Computing Survey.

SWAIM, A. D. & Guttmann, H.E. (1983). Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications (NUREG CR-1278). Washington, DC: NRC.

VIDAL, M.C., CARVALHO, P.V.R. de. Ergonomia Cognitiva: raciocínio e decisão no trabalho.