

# HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HazOp) DOS PROCEDIMENTOS DE PARTIDA DO REATOR IEA-R1 DE 2 MW DE POTÊNCIA

Maria Eugênia Lago Jacques Sauer\*; Francisco Corrêa\*\*; Antonio Jorge Sara Neto\*\*\*;  
Carlos Alberto R. da Costa; Cilas Cândido dos Santos; José Patrício N. Cárdenas\*\*\*\*;  
José Roberto Berretta\*\*\*\*\*; Thadeu das Neves Conti

IPEN/CNEN-SP  
Rua do Matão, Travessa R, 400 - Cidade Universitária  
São Paulo, S.P., Brasil  
CEP 05508-900

\*e-mail: melsauer@net.ipen.br

\*\*Pesquisador Associado ao IPEN/CNEN-SP pelo CNPq

\*\*\*e-mail: ajsara@net.ipen.br

\*\*\*\*e-mail: ahiru@net.ipen.br

\*\*\*\*\*e-mail: jrretta@net.ipen.br

## RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação da técnica "Hazard and Operability Study (HazOp)" (Estudo de Perigos e Operabilidade) aos procedimentos de partida do reator de pesquisa IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP, considerando sua potência atual de operação de 2 MW. O desenvolvimento do HazOp consistiu da revisão dos procedimentos de partida da instalação, visando a identificação de perigos potenciais e/ou problemas operacionais originados por desvios na execução dessas rotinas. Este artigo contém um resumo desse estudo, indicando alguns problemas potenciais relevantes de segurança e as medidas cabíveis de prevenção e/ou correção dos mesmos. Além disso, é feita uma avaliação dos benefícios e limitações da técnica, frente aos resultados obtidos.

## I. INTRODUÇÃO

O HazOp é uma técnica estruturada de análise qualitativa, concebida para identificar perigos e possíveis desvios (anomalias) de projeto ou na operação de sistemas.

Na indústria química convencional, onde é amplamente utilizado, o HazOp tem se mostrado uma ferramenta essencial à obtenção de segurança no projeto e na operação de instalações. Embora seja mais comumente aplicada à análise de sistemas de operação contínua, a metodologia do HazOp pode ser adaptada para o estudo de procedimentos operacionais e de sistemas que operem em regime de bateladas [1,2].

Como objeto deste trabalho, é apresentada a utilização do HazOp em análise de procedimentos operacionais, aplicando-o às rotinas de verificação e procedimentos de partida do reator IEA-R1 de 2 MW de potência.

## II. HazOp DOS PROCEDIMENTOS DE PARTIDA DO REATOR IEA-R1

**Descrição do Método.** Quando aplicado a procedimentos operacionais, o HazOp requer a divisão de cada etapa de procedimento em palavras-chaves, principalmente verbos, as

quais estão relacionadas a ações do operador (por exemplo: procedimento = "ligar a bomba do circuito primário"; palavra-chave = "ligar").

Para a condução do HazOp, o líder da equipe (um analista de segurança) orienta o grupo através da associação de um conjunto de palavras-guias a cada palavra-chave. Estas palavras-guias (por exemplo: não, outro, etc.) focalizam os desvios (por exemplo: não liga, liga outra, etc.) das ações estabelecidas nos procedimentos, oferecendo aos integrantes do grupo a oportunidade de pensarem em todos os modos pelos quais um evento indesejável possa ocorrer ou um problema operacional possa surgir. Esta reflexão é executada passo a passo, de maneira sistemática, para minimizar a possibilidade de que algo seja omitido. A equipe inicia o estudo obedecendo a sequência prevista de execução de cada procedimento, aplicando as palavras-guias a cada ação, de forma a identificar as causas de cada desvio e, caso surja uma consequência de interesse, são analisadas as salvaguardas e medidas de segurança existentes, para determinar se as mesmas são adequadas e suficientes para conduzir ou manter a instalação numa condição segura. Caso não sejam, é feito o estudo de sugestões de modificações em projeto ou em procedimentos que, se implementadas, podem minimizar ou eliminar determinado risco ou desvio operacional. A técnica é

repetida até que cada etapa de procedimento tenha sido analisada.

**Aplicação do HazOp aos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1.** O HazOp dos procedimentos de partida do reator IEA-R1 consistiu de uma revisão sistemática de cada etapa contida na Lista de Verificação Inicial [3], nos Procedimentos de Operação do Reator em Potências Inferiores a 200 kW [4] e nos Procedimentos de Operação do Reator em Potências Superiores a 200 kW [5], envolvendo a análise dos 54 procedimentos.

A análise foi realizada em cerca de 26 horas, distribuídas em 13 reuniões de uma equipe composta por:

- 1 a 2 analistas de segurança;
- 1 supervisor de operação;
- 1 operador;
- 1 especialista em eletrônica;
- 1 especialista em manutenção;
- 1 especialista em termo-hidráulica/análise de acidentes; e
- 1 supervisor de proteção radiológica.

Durante as reuniões, cada procedimento de partida do reator foi minuciosamente discutido, sendo analisados todos os possíveis desvios associados à sua execução, suas consequências, salvaguardas existentes e as formas de minimização dos riscos potenciais identificados.

A Tabela 1 do APÊNDICE mostra, como exemplo, alguns dos desvios analisados. O relatório técnico que contém a análise completa dos procedimentos de partida do Reator IEA-R1 encontra-se, atualmente, em fase de revisão.

A realização do HazOp mostrou que a partida segura do reator IEA-R1 é fortemente dependente da interface homem-máquina, já que descuidos ou erros em procedimentos podem, conforme será mencionado mais adiante, comprometer a segurança da instalação.

As causas de desvios de procedimentos foram atribuídas, de forma genérica, a:

- autoconfiança excessiva do operador durante a execução das rotinas de partida;
- interação inadequada entre os operadores (por exemplo, falta de comunicação, quando da ocorrência de alterações na instalação ou em procedimentos operacionais);
- erro na execução de procedimentos (desatenção, fadiga, etc.);
- erro na interpretação de instruções;
- erro na seqüência de execução dos procedimentos;
- acionamento acidental de algum dispositivo, etc.

No decorrer das reuniões, a equipe identificou uma série de suscetibilidades no processo de partida do reator, tanto a nível de projeto quanto de procedimentos. Para as mesmas, foram sugeridas uma série de melhorias que, se implementadas, podem contribuir para aumentar a segurança da instalação. Dentre as sugestões apresentadas, destacam-se:

(1) Alterações que podem ser implementadas aos procedimentos escritos, tais como:

(a) reformulação do texto de instruções, para melhorar a sua compreensão. Por exemplo, substituir a instrução "Manter em Condições de Operar o Sistema Pneumático de Irradiações" por "Ligar o Sistema Pneumático de Irradiações e Verificar se o mesmo está Operante";

(b) alteração na seqüência de execução de instruções: recomenda-se que o procedimento "Inspeccionar o Núcleo do Reator" seja colocado como o último item da lista de verificação inicial. Esta medida visa garantir a realização de uma inspeção final no núcleo do reator, antes da partida;

(c) inclusão de procedimentos informais executados rotineiramente pelos operadores, os quais têm se mostrado, na prática, adequados e eficientes no processo de partida do reator. Sugeriu-se, por exemplo, incluir um procedimento adicional de inspeção do núcleo, durante o processo de partida do reator para operação em potências superiores a 200 kW, para quando a potência atingir cerca de 50% da potência nominal. Nesta condição, o Efeito Cerenkov é suficiente para se visualizar se os canais de refrigeração dos elementos combustíveis não estão obstruídos e se os refletores e elementos de irradiação estão colocados corretamente. Outra sugestão foi a formalização da rotina para leitura do nitrogênio N-16, que é realizada para confirmação do nível de potência do reator.

(d) inclusão de instruções na lista de verificação inicial. Por exemplo, incluir instrução para verificar se as botoeiras "Header By-pass", " $\Delta P$  (diferencial de pressão do circuito primário) By-pass" estão na "posição ligada" ("ON") e se as botoeiras "Circuito Primário A By-pass" e "Circuito Primário B By-pass" estão energizadas.

(2) Alterações de projeto e em procedimentos operacionais, tais como:

(a) modernização ou, se possível, substituição da Mesa de Controle, a qual apresenta problemas como interferência eletrônica e baixa confiabilidade em seus dispositivos;

(b) adição de dispositivos de alarme visual e sonoro nos detectores de radiação não vinculados à cadeia scram, instalados no Saguão de Experimentos da Física Nuclear, para que as pessoas presentes nesta área, na eventualidade de um desvio operacional que resulte em elevação indevida dos níveis de radiação, possam ser alertadas;

(c) Instalar um detector adicional de radiação de área no Saguão da Piscina do Reator, com alarme visual e sonoro na Sala de Emergência. Esta medida garante a monitoração contínua dos níveis de radiação nesta área, já que o Sistema de Alarme de Radiação, o qual pertence à cadeia de scram, é desativado quando o reator é desligado;

(d) melhoria das formas de sinalização das condições do reator, como por exemplo, colocar um quadro com indicação luminosa na Sala de Emergência e outro no Saguão de Experimentos da Física Nuclear, mostrando situações como "EM MANUTENÇÃO", "CRÍTICO A 2 MW", "BAIXA POTÊNCIA", "DESLIGADO", "EM PARTIDA";

(e) estabelecimento do uso de dosímetro individual sonoro, em substituição aos atuais, para as pessoas que têm acesso às áreas quentes do Prédio do Reator;

(f) manutenção do saguão da piscina sempre iluminado, o monitor de circuito interno de televisão ligado e prever instrução para verificação periódica do nível da piscina via Sala de Emergência. Esta medida tem por objetivo permitir a monitoração remota do nível da piscina durante os finais de semana, ou quando o reator estiver desligado, sem a presença dos operadores na Sala de Controle. Outra possível medida é a instalação de alarme de nível da piscina (nível alto, para evitar transbordamento, conforme já ocorrido, e nível baixo,

para a detecção de eventual vazamento), com sinalização visual e sonora na Sala de Emergência;

(g) adição à cadeia de scram da condição de desligamento por período, em potências superiores a 200 kW. Esta sugestão está relacionada a desvios no procedimento de teste dos canais de potência (Safeties 1,2 e 3) do reator, os quais podem desabilitar ou levar o circuito de intertravamento para o desligamento rápido do reator (scram) a atuar fora dos limites impostos em projeto. Assim, como consequência deste desvio, existe o risco do reator ser desligado em níveis de potência superiores ao estabelecido em projeto (110% da potência nominal), em caso de um transiente de inserção rápida de reatividade, a ponto de comprometer a integridade do núcleo do reator. Neste caso, o desligamento por período atuaria a níveis de potência inferiores aos dos canais de potência, o que limitaria os possíveis danos causados por este transiente;

(h) A configuração atual do circuito elétrico-eletrônico da Mesa de Controle permite, para operações do reator a potências inferiores a 200 kW, a inibição de scram por "by-pass do header", "by-pass do  $\Delta P$  Core" e "by-pass do circuito primário". Esta condição habilita o procedimento indevido de elevação de potência do reator, acima de 200 kW, com o circuito primário de refrigeração do núcleo desligado. Para que a possibilidade deste evento possa ser descartada, sugere-se a implementação de um intertravamento que bloqueie a operação do reator em potências superiores a 200 kW sem a refrigeração do núcleo, conforme previsto no projeto de elevação de potência do reator IEA-R1 para 5 MW.

### III. CONCLUSÕES

O HazOp oferece um elenco vasto de possíveis melhorias para a instalação. Percebe-se, no entanto, que não foi estabelecida uma prioridade para a implementação das medidas sugeridas, uma vez que tal consideração não faz parte do escopo deste trabalho. Todavia, a hierarquização de tais medidas é essencial na definição de uma política de tratamento dos riscos e/ou problemas operacionais identificados.

É evidente que ações simples de serem implementadas e/ou de custo pouco representativo devem ser adotadas. Por outro lado, pode ser necessária a realização de análises adicionais quantitativas, talvez sofisticadas, para estimar parâmetros como a frequência dos desvios de procedimentos e das suas consequências, para que se possa decidir se as ações para reduzir tais parâmetros é desejável ou se o risco pode ser ignorado.

De qualquer maneira, todas as indicações de possíveis melhorias nos procedimentos e no projeto dos circuitos de partida do reator IEA-R1 obtidas com o HazOp mostram a eficácia desta técnica na detecção de problemas potenciais. Outro indicativo importante dos benefícios oferecidos pelo HazOp foi o crescente interesse manifestado pela equipe, à medida que o estudo avançava. Neste sentido, o grupo sugeriu a aplicação do HazOp aos sistemas do Reator IEA-R1.

### APÊNDICE

TABELA 1. Exemplos de Desvios de Procedimentos para a Partida do Reator IEA-R1

PROCEDIMENTO	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	SALVAGUARDAS EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS
Ligar SISTEMA DE ALARME DE RADIAÇÃO ( este sistema está vinculado aos monitores de área e as luzes indicativas dos alarmes são ligadas pela CHAVE POWER ON)	Não liga o SISTEMA DE ALARME DE RADIAÇÃO	Permanecerão desligados os alarmes de níveis altos de radiação (alerta e perigo) no Porão, no Saguão de Experimentos da Física Nuclear e no Saguão da Piscina, os quais são sinalizados na Sala de Controle.	Pode-se detectar que o Sistema de Monitoração da Radiação encontra-se desligado através das lâmpadas do painel C-1 na Sala de Controle. Em caso de scram, que ocorre quando a radiação atinge nível de perigo, existem outros alarmes visuais (ligados no procedimento 4) sinalizados através de lâmpadas na Mesa de Controle, as quais indicam a origem do sinal para o desligamento do reator.	1. Sugere-se a colocação de dispositivos de alarme visual e sonoro em todos os detetores de radiação de área não vinculados à cadeia de scram. 2. Instalar um detetor adicional de radiação de área no Saguão da Piscina do Reator, com alarme visual e sonoro na Sala de Emergência. 3. Reativar o Sistema de Sirenes Externas, que atualmente encontra-se desligado, e adequar o Plano de Evacuação com o Sistema de Monitoração de Alarmes de Radiação.

TABELA 1. Exemplos de Alguns Desvios de Procedimentos para a Partida do Reator IEA-R1 (continuação)

PROCEDIMENTO	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	SALVAGUARDAS EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS
Testar PERIOD LOG em mais três segundos. ( sua função é indicar o período para que se possa verificar se o instrumento está calibrado)	Não testa o PERIOD LOG	Problemas neste instrumento (se estiver descalibrado ou travado) pode conduzir o reator, durante a partida, a uma excursão de potência. Nesta condição, o reator não desligará por período, se a a potência estiver abaixo de 10% da potência nominal. Caso a potência exceda 10%, então o reator desligará pelos canais de segurança.	A detecção de falhas neste instrumento é feita durante a execução do procedimento de partida do reator: 1. sinal de audio ("audio-range"); 2. indicação do nível de potência no registrador log.	Nenhuma.
Testar SAFETIES 1, 2 e 3 nas posições zero (o ponteiro tem que estar indicando zero) e calibre (o ponteiro tem que estar indicando 100%).	Não testa SAFETIES 1, 2 e 3.	Pode ocorrer desligamento do reator acima de 110% da potência nominal, se 2 dos 3 canais de potência estiverem descalibrados.	1. Leitura / Indicação do medidor do nitrogênio N-16 no circuito primário de refrigeração (rotina informal de operação) 2. O nível de potência também pode ser verificado através da indicação do registrador LOG/LINEAR (Reactor Power) 3. Leitura do diferencial de temperatura do circuito primário.	1. Adicionar à cadeia de scram a condição de desligamento por período em potências superiores a 200 kW. O canal de período é atualmente utilizado para scram, apenas para níveis de potência inferiores aos dos canais de potência. O desligamento por período limita os possíveis danos causados ao núcleo, em caso de falha dos canais de segurança em desligar o reator, na eventualidade de ocorrência de transientes de inserção rápida de reatividade. 2. Formalizar a rotina para leitura do nitrogênio N-16, que é realizada para confirmação do nível de potência do reator.
Inspecionar o NÚCLEO DO REATOR (verificar se os refletores e os elementos de irradiação estão nas posições corretas; verificar se não existem objetos bloqueando os canais de refrigeração dos elementos combustíveis)	Não inspeciona o NÚCLEO DO REATOR	Possível não detecção de eventuais: a. bloqueios de canais de refrigeração do núcleo; b. mal posicionamento de elementos de irradiação, elementos combustíveis ou refletores.	Existe um procedimento informal de inspeção do núcleo, que é realizado pelos operadores e pela equipe de proteção radiológica: quando o reator está quase crítico, cerca de 50% da potência nominal, utiliza-se o Efeito Cerenkov para verificar se existe algum bloqueio de canal. Se for detectado algum problema, chama-se o supervisor.	1. Colocar o procedimento da instrução 29 ( Inspeccionar o Núcleo do Reator) após o último item da Lista de Verificação Inicial, para se garantir a realização de uma inspeção final no núcleo do reator, antes da partida. 2. Para operação do reator a potências superiores a 200 kW, formalizar o procedimento de inspeção do núcleo a 50% da potência nominal.

## REFERÊNCIAS

- [1] Kletz, T.A., **Eliminating Potential Process Hazards**, Chemical Engineering, p. 48-68, April 1985.
- [2] Collins, R.L., **Apply the HazOp Method to Batch Operations**, Chemical Engineering Progress, p. 48-51, April 1995.
- [3] Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), **Manual de Operação do Reator IEA-R1- Rotina de Preparação Geral para a Partida do Reator IEA-R1: Lista de Verificação Inicial do Reator IEA-R1**, vol. II, p. 1-8, rev. 1, Maio de 1991.
- [4] Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), **Manual de Operação do Reator IEA-R1- Rotina de Operação do Reator IEA-R1 em Potências Inferiores a 200 kW**, vol. II, p. 1-7, rev. 1, Maio de 1991.
- [5] Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), **Manual de Operação do Reator IEA-R1- Rotina de Operação do Reator IEA-R1 em Potências Superiores a 200 kW**, vol. II, p. 1-6, rev. 1, Maio de 1991.

## ABSTRACT

This work presents the Hazard and Operability Study (HazOp) applied to start up procedures of the 2 MW IEA-R1 Research Reactor situated at IPEN/CNEN-SP. The HazOp was developed by reviewing the procedures of start up of the installation, in order to identify hazards and/or operational problems caused by deviations in the execution of these routines. This paper summarizes this study, describing some potential problems of relevant importance to safety as well as preventives and/or correctives measures to avoid them to occur. Besides that, an evaluation of the benefits and limitations of the technique is made.