

AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DOS EVENTOS REPORTADOS A PARTIR DA EXPERIÊNCIA OPERACIONAL DO REATOR IEA-R1

*Patrícia da Silva Pagetti de Oliveira¹, Julio Benedito Marin
Tondin², José Antonio de Brito², Ana Maria de Almeida
Portante Fonseca², Alberto de Jesus Fernando²*

¹Centro de Engenharia Nuclear, IPEN – CNEN/SP

²Centro do Reator de Pesquisas, IPEN – CNEN/SP

Av. Professor Lineu Prestes, 2242

05508-000 São Paulo – SP

patricia@ipen.br

RESUMO

O levantamento de dados da experiência operacional do reator IEA-R1 é fundamental para o desenvolvimento de uma Análise Probabilística de Segurança para esta instalação. Os dados necessários para esta análise são, principalmente, taxas/probabilidades de falha de equipamentos, frequências de erros humanos na execução de procedimentos e frequências de ocorrência de eventos anormais que possam iniciar um acidente e comprometer a operação segura do reator. Estes dados podem ser extraídos dos registros efetuados durante a operação do reator e durante as atividades da equipe de manutenção. O processo de coleta e análise

dos dados da experiência operacional do reator IEA-R1 tem sido executado por vários profissionais do IPEN e incentivado pela gerência de operação do reator. Planilhas eletrônicas do Microsoft Excel, específicas para armazenar registros de falhas, ocorrências anormais/ não usuais, tempos de operação e número de demandas dos principais equipamentos da instalação, vêm sendo atualizadas e as informações mais relevantes incluídas no Relatório Mensal de Atividades do Reator IEA-R1, que é um documento interno gerado pelo Serviço de Operação do Reator de Pesquisa IEA-R1 (SEORE) do Centro do Reator de Pesquisas (CRPq) do IPEN. Neste trabalho são apresentados os formulários de coleta de dados e os principais relatórios gerados a partir das análises realizadas com os dados obtidos em campo.

1. INTRODUÇÃO

No período de Março de 2001 a Junho de 2004, o IPEN manteve um contrato com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) referente ao Projeto Coordenado de Pesquisa intitulado “Atualização e Expansão da Base de Dados de Confiabilidade da AIEA para Aplicação em Análise Probabilística de Segurança (APS) de Reatores de Pesquisa”. Participaram deste projeto onze países membros da AIEA e o Brasil foi representado por um grupo do IPEN composto de nove pesquisadores, dentre os quais seis integrantes do Centro de Engenharia Nuclear (CEENG) e três do Centro do Reator de Pesquisas (CRPq).

Com base nos objetivos estabelecidos pela AIEA, o grupo do IPEN passou a trabalhar no desenvolvimento de uma Base de Dados de Confiabilidade de Componentes específica para os reatores de pesquisa IEA-R1 (tipo piscina – 5 MW) e IPEN/MB-01 (conjunto crítico – potência nominal máxima de 100 W). As características gerais desta base de dados (definição conceitual, estrutura e conteúdo), a descrição do processo de coleta de dados nos reatores de pesquisa do IPEN e os principais resultados obtidos durante a execução do projeto da AIEA foram documentados em vários relatórios técnicos e artigos científicos [1-6]. No final do projeto, em Junho de 2004, foram fornecidas para a AIEA as estimativas das taxas/probabilidades de falha de componentes dos reatores de pesquisa do IPEN, que foram calculadas com base no histórico operacional de janeiro de 1999 a dezembro de 2003 para o reator IEA-R1 e no histórico de outubro de 1997 a março de 2004 para o reator IPEN/MB-01.

No caso do reator IEA-R1, o processo de coleta e análise dos dados da experiência operacional continua sendo executado até hoje e é incentivado pela gerência da instalação. Planilhas eletrônicas do Microsoft Excel, específicas

para armazenar registros de falhas, ocorrências anormais/ não usuais, tempos de operação e número de demandas dos principais equipamentos da instalação, vêm sendo atualizadas e as informações mais relevantes incluídas no Relatório Mensal de Atividades do Reator IEA-R1, que é um documento interno gerado pelo Serviço de Operação do Reator de Pesquisa IEA-R1 (SEORE) do Centro do Reator de Pesquisas (CRPq) do IPEN.

Além das atividades realizadas no CRPq, no CEENG foi produzido um trabalho acadêmico que teve por objetivo desenvolver um sistema computacional que fizesse o gerenciamento dos dados coletados no reator IEA-R1 [7]. Além de facilitar a entrada e atualização dos dados da experiência operacional do reator IEA-R1, este sistema permite que a base de dados seja acessada por pesquisadores do IPEN por meio da Intranet/Internet.

2. PLANILHAS ELETRÔNICAS DESENVOLVIDAS PARA COLETA E ANÁLISE DOS DADOS DA EXPERIÊNCIA OPERACIONAL DO REATOR IEA-R1

A coleta e análise de dados referentes à experiência operacional do reator nuclear de pesquisa IEA-R1 vem sendo conduzida, desde 2001, por uma especialista em Análise Probabilística de Segurança (APS) do CEENG e por pesquisadores do CRPq.

Apesar de o reator IEA-R1 operar há mais de sessenta anos, não foi possível recuperar toda a informação referente à sua experiência operacional, pois os registros mais antigos estão incompletos e são de difícil interpretação. Além disso, em 1976, o reator IEA-R1 já havia passado por uma reforma significativa, inclusive com a duplicação do Sistema de Resfriamento do Reator. Outra reforma importante ocorreu em 1996, na qual as alterações visaram ao aumento da potência de operação do reator de 2 MW para 5 MW. Deste modo, considerou-se razoável estabelecer como meta a recuperação do histórico desta instalação a partir do ano de 1999.

As planilhas eletrônicas (Microsoft Excel) usadas durante o processo de coleta e análise dos dados referentes ao reator IEA-R1 são descritas a seguir. Em linhas gerais, existem três tipos de planilhas desenvolvidas para este trabalho:

- **Tipo I** – planilhas para entrada, organização, avaliação preliminar e armazenamento dos dados brutos;
- **Tipo II** – planilhas intermediárias / memoriais de cálculo; e
- **Tipo III** – planilhas finais / relatórios.

2.1. Planilha de Falhas e Ocorrências Anormais/Não Usuais

Esta planilha é do Tipo I e contém o levantamento e a avaliação preliminar de eventos registrados como falhas ou situações anormais/ não usuais ocorridas durante a operação do reator ou durante atividades de manutenção.

Um modelo desta planilha, preenchida com ocorrências registradas em janeiro de 2013, encontra-se na Tabela 1. Para o preenchimento desta planilha, alguns procedimentos e critérios básicos devem ser seguidos e estão apresentados na ref. [5].

2.2. Planilha de Tempo Acumulado de Operação e Número de Demandas dos Principais Componentes

Esta planilha é do Tipo I e na Tabela 2 é apresentado um modelo preenchido para dois componentes do reator (mesa de controle e bomba B101-A do circuito primário de resfriamento).

Os tempos acumulados de operação dos principais componentes são obtidos por meio da leitura de horímetros instalados no reator e são registrados, semanalmente, em planilhas específicas. Do mesmo modo, os números acumulados de demandas dos componentes são registrados nestas planilhas, após a leitura de contadores. A tarefa de leitura de horímetros e contadores nas áreas do reator IEA-R1 é realizada por operadores desta instalação duas vezes por semana: na segunda-feira, antes do início das atividades no reator; e na sexta-feira, após o encerramento do expediente na instalação. Atualmente, encontram-se instalados 21 horímetros no reator IEA-R1, para a obtenção dos tempos exatos de operação de seus principais componentes e 16 contadores para obtenção do número exato de demandas de alguns componentes. Além disso, a planilha eletrônica mostrada na Tabela 2 possui um campo específico para anotação do tempo de operação do reator (*operation data sheet*), obtido a partir dos registros manuais feitos nas folhas de operação. Estes registros podem ser usados para se estimar o tempo de operação e o número de demandas de componentes que não possuem horímetros ou contadores instalados. Com base nesta planilha, é possível obter resultados semanais, mensais e anuais relacionados ao tempo de operação do reator e ao tempo de operação e número acumulado de demandas dos principais componentes.

2.3. Memorial de Cálculo Contendo Especificações Técnicas e o Histórico de Operação e Falhas dos Componentes

Este memorial de cálculo é uma planilha do Tipo II e foi desenvolvido para que as ocorrências referentes a falhas de componentes do reator pudessem passar por uma compilação especial na base de dados. Este memorial de cálculo reúne dados coletados nas planilhas descritas nos itens 2.1 e 2.2, além de incluir dados relativos às especificações técnicas dos componentes identificados. As especificações técnicas dos componentes devem ser obtidas em documentos arquivados no CRPq.

2.4. Planilha de Cálculo das Taxas/Probabilidades de Falha dos Componentes

Os valores médios das taxas/probabilidades de falha e os respectivos intervalos de confiança, para cada tipo de componente, são calculados por meio de algoritmos desenvolvidos pelo grupo de APS do CEENG. A planilha que contém estes algoritmos é do Tipo III, pois fornece resultados finais da análise efetuada com os dados da experiência operacional do reator IEA-R1.

Um exemplo da planilha de taxas/probabilidades de falha de componentes do reator IEA-R1 é ilustrado na Tabela 3, a qual está vinculada aos dados do memorial de cálculo descrito no item 2.3. O código do tipo de componente e o código do modo de falha estão baseados na padronização da AIEA [8-9] que também é usada nas planilhas descritas nos itens 2.1 e 2.3.

2.5. Outros Tipos de Relatórios Gerados a partir dos Dados da Experiência Operacional do Reator

Os principais relatórios (planilhas do Tipo III) gerados a partir da base de dados, e que têm sido usados pelos analistas do grupo de APS e pelo pessoal responsável pela operação e manutenção do reator IEA-R1, são apresentados a seguir.

- *Relatório de Avaliação Preliminar de Segurança das Ocorrências Anormais/Não Usuais Registradas durante a Operação do Reator IEA-R1* – Este relatório é gerado a partir da planilha de falhas, ocorrências anormais/não usuais descrita no item 2.1 e tem sido incluído no Relatório Mensal de Atividades do Reator IEA-R1, que é um documento interno gerado no pelo Serviço de Operação do Reator de Pesquisa IEA-R1 (SEORE) do Centro do Reator de Pesquisas (CRPq) do IPEN. Um exemplo deste relatório é apresentado na Tabela 4.

Tabela 1 – Modelo da planilha de levantamento e avaliação preliminar de ocorrências anormais/não usuais no reator IEA-R1

Oper. No.	Data (dd/mm/aa)	Hora	Ocorrências Registradas no Logbook	Avaliação preliminar do evento	Recuperação (Data/Hora)	Avaliação Preliminar*							Falha de Componente / Sistema				Cat. EI**	Erro humano	Coment.		
						1	2	3	4	5	6	7	RMC	Sistema	TAG	Id.				Tipo de Componente	Código IAEA
1	07-jan-13	08:46	Operação do reator a baixa potência p/ tomada de medida de referência na mudança de configuração do núcleo (249 p/ 250)	Procedimento de mudança de configuração do núcleo do reator (etapa 1)	-													-	-	MUDANÇA DE CONFIGURAÇÃO DO NÚCLEO DO REATOR	
						X															
2	10-jan-13	09:15	ventiladores da exaustão normal da área fria VG-004 e VG-005 não estão funcionando (correias quebradas); Obs.: eventos semelhantes já haviam sido registrados em 2012	falha em componentes do SYVAC do prédio do reator, na exaustão normal da área fria; evento não compromete a segurança do reator durante a operação, mas está relacionado à função de confinamento do prédio do reator	-														-	-	
						X	X										Exaustão Normal	XN-VGC-04/05			

																			MUDANÇA DE CONFIGURAÇÃO DO NÚCLEO DO REATOR
2	10-jan-13	09:39	Operação do reator a baixa potência p/ medida de ganho de reatividade e calibração das barras	Procedimento de mudança de configuração do núcleo do reator (etapa 2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	14-jan-13	07:52	ventiladores da exaustão normal da área fria VG-004 e VG-005 não estão funcionando; Obs.: ver evento registrado em 10/01/2013	idem à avaliação do evento registrado dia 10/01/2013 às 9h15	-	X	X	X	X	XN-VGC-04/05	VG-004/005	ventilador trifugo - área fria	QFV04/ QFV05	R	I	-	-	-	-
3	14-jan-13	15:12	SCRAM do reator devido a queda de tensão; operação reiniciada às 17h50; reator crítico às 18h08	SCRAM do reator devido a falha na rede elétrica externa; precursor de evento iniciador de acidente; não ocorreu falha de componente	-	1		1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	21-jan-13	07:30	ventiladores da exaustão normal da área fria VG-004 e VG-005 não estão funcionando; Obs.: ver eventos registrados em 10/01 e 14/01/2013	idem à avaliação do evento registrado dia 10/01/2013 às 9h15	-	X	X	X	X	XN-VGC-04/05	VG-004/005	ventilador trifugo - área fria	QFV04/ QFV05	R	I	-	-	-	-

4	21-jan-13	09:01	instrumentação associada à barra de segurança BS-1: o reator precisou ser desligado, antes da criticidade, devido a uma falha na instrumentação associada à barra de segurança BS-1 (indicação errônea de barra subindo); a chave da BS-1 na mesa de controle foi substituída; reator religado às 13h06; reator crítico às 13h24; ver RMC 1045	falha / funcionamento degradado de componente da mesa de controle, relacionado à instrumentação das barras absorvedoras (chaves up/down; indicador de posição; chave de desligamento; indicador de acoplamento) e ao sistema de controle de reatividade	22-jan-13 7:00	1	1	1045	Instru- mentação e Controle	IC- MSC-01	n/c	mesa de controle – indicador de posição da barra de segurança ou chave de movimento da barra	IAR01 ou UMC02	B	-	-	-
---	-----------	-------	--	---	----------------	---	---	------	-----------------------------	------------	-----	--	----------------	---	---	---	---

4	21-jan-13	câmara de fissão nuclear foi substituída (câmara e tubulão); saiu IC- CAF-12 e entrou a IC- CAF-11 (TUB 26 – Pos.18); ação realizada antes do reator ser religado	falha / funcionamento degradado de componente associado à instrumentação nuclear do reator; ruído eletrônico na câmara de fissão causa oscilação no canal log (canal de faixa ampla) na partida do reator, podendo gerar sinal de SCRAM por período na partida; evento impede que o reator seja ligado	-	1	Instru- mentação e Controle	IC- CAF-12	n/c	câmara de fissão	ACF	B	-	-
---	-----------	---	--	---	---	-----------------------------------	---------------	-----	---------------------	-----	---	---	---

(*) 1 – atividade de manutenção; 2 – evento iniciador de acidente; 3 – falha de componente; 4 – erro humano; 5 – falha de causa comum; 6 – SCRAM; 7 – perda de energia elétrica

(**) Categoria de evento iniciador: I – falha no confinamento ou falha do sistema de ventilação e ar-condicionado; II – falha do sistema normal de suprimento de energia elétrica; III – bloqueio de canal de resfriamento do núcleo

Tabela 2 – Modelo da planilha de levantamento dos tempos de operação e números de demandas dos principais componentes do reator IEA-R1

Oper. No.	Data	Mesa de Controle						Bomba do Circuito Primário de Refrigeração (B-101A)					
		Demanda	Folha de Operação	total	Contador	Horimetro	total	Demanda	Folha de Operação	total	Contador	Horimetro	total
	28/12/2012	Última leitura de 2012				27801,25						15173,57	
	01/01/2013	leitura antes da operação				-27801,25							-15173,57
	02/01/2013												
	03/01/2013	Leitura após a operação		0:00:00		0,00				0:00:00			0,00
	04/01/2013	TOTAL		0:00:00		-27801,25				0:00:00			-15173,57
	05/01/2013												
	06/01/2013												
1	07/01/2013	100 W	1	07:35	12:55	5:20:00				0,00			0,00
	08/01/2013												
	09/01/2013												
2	10/01/2013	100 W	1	08:45	17:16	8:31:00							
	10/01/2013	leitura após a operação				13:51:00				0,00			0,00
	11/01/2013	TOTAL				13:51:00				-27801,25			-15173,57
	12/01/2013												
	13/01/2013												
3	14/01/2013	leitura antes da operação								27820,89			15176,95
	14/01/2013	4,5 MW	1	07:30	15:12	7:42:00			1		08:30	15:12	6:42:00
	14/01/2013		1	17:30	23:59	6:29:00			1		17:42	23:59	6:17:00
	15/01/2013			00:00	23:59	23:59:00					00:00	23:59	23:59:00
	16/01/2013			00:00	21:10	21:10:00					00:00	23:00	23:00:00

	17/01/2013	leitura após a operação	59:20:00	27881,15	60,26					59:58:00	15237,02	60,07
	18/01/2013	TOTAL	73:11:00		79,90					59:58:00		63,45
	19/01/2013											
	20/01/2013											
4	21/01/2013	leitura antes da operação		27881,15	0,00						15237,02	0,00
	21/01/2013	4,5 MW	1	07:40	09:01	1:21:00		1	08:28	09:01	0:33:00	
	21/01/2013			09:01	23:59	14:58:00		1	12:57	23:59	11:02:00	
	22/01/2013			00:00	23:59	23:59:00			00:00	23:59	23:59:00	
	23/01/2013			00:00	21:10	21:10:00			00:00	23:00	23:00:00	
	24/01/2013	leitura após a operação	61:28:00	27943,71	62,56						15295,94	58,92
	25/01/2013	TOTAL	134:39:00		142,46							122,37
	26/01/2013											
	27/01/2013											
5	28/01/2013	leitura antes da operação		27943,71	0,00						15295,94	0,00
	28/01/2013	4,5 MW	1	07:30	23:59	16:29:00		1	08:35	23:59	15:24:00	
	29/01/2013			00:00	23:59	23:59:00			00:00	23:59	23:59:00	
	30/01/2013			00:00	21:10	21:10:00			00:00	23:00	23:00:00	
	31/01/2013	leitura após a operação	61:38:00	28004,85	61,14						15358,33	62,39
	01/02/2013	TOTAL	196:17:00		203,60							184,76

Tabela 3 – Relatório de taxas/probabilidades de falha de componentes do reator IEA-R1

BASE DE DADOS DE CONFIABILIDADE DE COMPONENTES – REATOR IEA-R1												
Código Componente	Tipo de Componente – Descrição	Reator	População de Componentes	Tempo Calendário Acumulado	Tempo de Operação Acumulado	Demandas	Modo de Falha	Falhas	Taxa de Falha	Probabilidade de Falha	Limites de Confiança 90%	
											#	horas
HCV01	Torre de Resfriamento – ventilador	BR01	2		1,21E+04		R	5	4,12E-04	-	1,62E-04	8,67E-04
HCV01	Torre de Resfriamento – ventilador	BR01	2		1,21E+04		B	2	1,65E-04	-	2,93E-05	5,19E-04
HCV01	Torre de Resfriamento – ventilador	BR01	2			163	S	1	-	6,13E-03	3,15E-04	2,88E-02
HCV02	Torre de Resfriamento – ventilador	BR01	2		4,05E+04		R	10	2,47E-04	-	1,34E-04	4,19E-04
HCV02	Torre de Resfriamento – ventilador	BR01	2		4,05E+04		B	3	7,41E-05	-	2,02E-05	1,91E-04
HCV02	Torre de Resfriamento – ventilador	BR01	2			1177	S	2	-	1,70E-03	3,02E-04	5,34E-03

Tabela 4 – Exemplo da tabela gerada a partir do levantamento de falhas, ocorrências anormais/ não usuais, incluída no Relatório Mensal de Atividades do Reator IEA-R1

DADOS DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS / OCORRÊNCIAS NÃO-USUAIS NO REATOR IEA-R1				
Oper. No.	Data (dd/mm/aa)	Hora	Ocorrências Registradas no Logbook	Avaliação preliminar do evento
24	11-mai-15	08:00	Painel de comando das bombas do Sistema de Retratamento: disjuntor desarmou e foi necessário religá-lo.	falha em componente de painel de comando associado ao Sistema de Retratamento de Água; ao longo do tempo, se a circulação de água na superfície da piscina não for restabelecida, pode haver aumento do nível de radiação no saguão da piscina; evento não compromete a segurança do reator durante a operação.
27	18-mai-15	08:57	SCRAM do reator devido a um sinal espúrio de vazão baixa no circuito primário; a bomba do circuito primário não havia desligado; reator religado às 9h08; reator crítico às 9h25; ver evento ocorrido em 27/04/2015 às 8h53.	SCRAM do reator devido a perda de vazão no circuito primário; precursor de evento iniciador de acidente; é recomendável que a causa da geração deste sinal de vazão seja investigada.
28	19-mai-15		Sistema de Retratamento: indicador de vazão apresentava medida de 0,13 gpm com o sistema já desligado.	falha em componente do painel de indicação dos parâmetros operacionais dos sistemas de Tratamento e Retratamento de Água; evento não implica em falha no funcionamento destes sistemas e não compromete a segurança do reator durante a operação.
	25-mai-15		câmara de fissão: falha no isolamento e no conector; foi necessário efetuar a troca e não houve operação do reator nesta data.	falha / funcionamento degradado de componente associado à instrumentação nuclear do reator; ruído eletrônico na câmara de fissão causa oscilação nos canais nucleares na partida do reator, podendo gerar sinal de SCRAM por período na partida; este tipo de evento pode impedir que o reator seja ligado.
30	26-mai-15	08:40	SCRAM do reator devido a um sinal espúrio de vazão baixa no circuito primário; reator religado às 8h46; reator crítico às 9h04; ver eventos ocorridos nos dias 27/04 e 18/05/2015.	SCRAM do reator devido a perda de vazão no circuito primário; precursor de evento iniciador de acidente; é recomendável que a causa da geração deste sinal de vazão seja investigada.
30	26-mai-15	13:48	SCRAM do reator devido a um sinal espúrio de vazão baixa no circuito primário; reator religado às 14h01; reator crítico às 14h18; ver eventos ocorridos nos dias 27/04, 18/05 e 26/05/2015 (8h40).	SCRAM do reator devido a perda de vazão no circuito primário; precursor de evento iniciador de acidente; é recomendável que a causa da geração deste sinal de vazão seja investigada.
	27-mai-15	07:50	retirada de mancha no EC# 226	ação corretiva para evitar a ocorrência de evento iniciador de acidente (bloqueio de canal de resfriamento); em geral, este tipo de problema não está associado à falha de componente; na maioria das vezes, a ação corretiva para retirada de mancha (objeto/resíduo) na região do núcleo deve ser tomada com o reator desligado (não há registro em RMC).

31	27-mai-15	10:13	SCRAM do reator devido a um sinal espúrio de vazão baixa no circuito primário; reator religado às 10h25; reator crítico às 10h45; ver eventos ocorridos nos dias 27/04, 18/05 e 26/05/2015 (2x); é provável que a falha esteja associada ao sensor ligado ao circuito de SCRAM.	SCRAM do reator devido a perda de vazão no circuito primário; precursor de evento iniciador de acidente; é recomendável que a causa da geração deste sinal de vazão seja investigada.
31	27-mai-15	13:29	SCRAM do reator devido a um sinal espúrio de vazão baixa no circuito primário; reator religado às 13h34; reator crítico às 13h53; ver eventos ocorridos nos dias 27/04, 18/05, 26/05 (2x) e 27/05/2015.	SCRAM do reator devido a perda de vazão no circuito primário; precursor de evento iniciador de acidente; é recomendável que a causa da geração deste sinal de vazão seja investigada.

- *Relatório de Tempos de Operação e Número de Demandas de Componentes do Reator IEA-R1* – Este relatório é gerado a partir da planilha de tempo acumulado de operação e número de demandas dos principais componentes, descrita no item 2.2, além de incluir informações extraídas da planilha citada no item 2.1 sobre o número de ocorrências de SCRAM e perda de energia elétrica externa para a instalação. Na Tabela 5 são apresentadas, como exemplo, algumas tabelas correspondentes ao período de 1999 a 2014.
- Neste ponto, alguns exemplos práticos podem ser dados, pois reforçam a importância da utilização dos dados armazenados na base descrita neste trabalho para o gerenciamento da operação e manutenção do reator IEA-R1. São estes:
 - No ano de 2014 houve uma substituição do compressor do Sistema de Ar Comprimido que fica instalado na Sala dos Geradores. As leituras do horímetro e do contador deste equipamento ficaram suspensas por alguns meses, até que estes instrumentos fossem reinstalados no local adequado. Com base no levantamento do número de demandas e tempo acumulado de operação do compressor do Sistema de Ar Comprimido, foi possível detectar que, na semana de 17 a 24 de março de 2014, estava ocorrendo um número excessivo de liga/desliga e tempo de funcionamento deste equipamento durante a operação do reator. Numa investigação posterior mais detalhada das causas dos eventos associados ao compressor, foi possível detectar um vazamento na linha de ar comprimido do sistema.
 - Com base nos tempos acumulados de operação das bombas do circuito primário de resfriamento (ver Tabela 5), foi possível verificar que o circuito A foi mais usado na operação do reator do que o circuito B. Considerando que não há uma justificativa técnica adequada para este tipo de procedimento e que, ao contrário, isto pode levar a um desgaste maior nos equipamentos do circuito primário A, foi feita

uma recomendação para que a gerência de operação do reator IEA-R1 promovesse um rodízio mais adequado destes circuitos ao programar as operações semanais.

Tabela 5 – Exemplo de relatório de tempos de operação e número de demandas de componentes do reator IEA-R1 para o período de 1999 a 2014

Ano	Tempo de operação do reator (hora:min:seg)	Tempo de operação do reator (horas)	Número de operações do reator	Operações do reator – Plena Potência	Operações do reator – Baixa Potência	Número de SCRAMs	Perda de Energia Elétrica Externa (LOSP)
1999	2445:57:30	2445,96	65	49	16	26	9
2000	2705:06:00	2705,10	69	57	12	21	17
2001	1923:42:00	1923,70	55	49	6	23	7
2002	1767:15:30	1767,26	73	50	23	10	8
2003	1606:11:00	1606,18	54	44	10	35	4
2004	2491:48:00	2491,80	77	46	31	17	8
2005	2873:56:00	2873,93	57	49	8	22	14
2006	2735:07:00	2735,12	70	50	20	38	19
2007	1440:27:00	1440,45	42	30	12	20	3
2008	2790:33:00	2790,55	68	52	16	30	15
2009	2584:33:00	2584,55	77	64	13	56	29
2010	2467:15:00	2467,25	63	46	17	26	11
2011	2709:04:00	2709,07	59	49	10	27	13
2012	2222:54:00	2222,90	53	44	9	26	15
2013	1487:41:00	1487,68	33	24	9	21	7
2014	1265:41:00	1265,68	29	21	8	16	5
Total	35517:11:00	35517,18	944	724	220	414	184

Tempo Calendário Acumulado		
Horas	Dias	Semanas
8760	365	52
17520	730	104
26280	1095	156
35040	1460	208
43800	1825	260
52560	2190	312
61320	2555	364
70080	2920	416
78840	3285	468
87600	3650	520
96360	4015	572
105120	4380	624
113880	4745	676
122640	5110	728
131400	5475	780
140160	5840	832

Valores Médios			
Horas de operação / ano	Número de operações / ano	SCRAM/ ano	LOSP/ ano
2.445,96	65,00	26,00	9,00
2.575,53	67,00	23,50	13,00
2.358,25	63,00	23,33	11,00
2.210,50	65,50	20,00	10,25
2.089,64	63,20	23,00	9,00
2.156,67	65,50	22,00	8,83
2.259,13	64,29	22,00	9,57
2.318,63	65,00	24,00	10,75
2.221,06	62,44	23,56	9,89
2.278,01	63,00	24,20	10,40
2.305,87	64,27	27,09	12,09
2.319,32	64,17	27,00	12,00
2.349,30	63,77	27,00	12,08
2.340,27	63,00	26,93	12,29
2.283,43	61,00	26,53	11,93
2.219,82	59,00	25,88	11,50

Ano	Mesa de Controle			Bomba do Circuito Primário de Refrigeração (B101-A / tag CP-BOM-01)			Bomba do Circuito Primário de Refrigeração (B101-B / tag CP-BOM-02)		
	No. de demandas	Dados da folha de operação (horas)	Horímetro (horas)	No. de demandas	Dados da folha de operação (horas)	Horímetro (horas)	No. de demandas	Dados da folha de operação (horas)	Horímetro (horas)
1999	71	2544:03:00	2544,05	27	1101:49:00	1101,82	34	1327:00:00	1327,00
2000	83	2834:37:00	2834,62	36	1284:35:00	1284,58	39	1477:03:00	1477,05
2001	71	2004:26:00	2004,43	59	1540:08:00	1540,13	16	378:15:00	378,25
2002/1	16	407:58:00	407,97	16	383:20:00	383,33	0	0:00:00	0,00
2002/2	52	1419:32:00	1595,50	15	462:04:00	466,48	26	885:41:00	894,44
2003	58	1646:32:30	1930,58	8	282:17:00	286,65	38	1161:40:00	1275,69
2004	78	2602:52:00	2725,50	58	1722:03:00	1746,71	23	711:23:00	727,80
2005	63	2962:45:00	3058,67	19	1109:08:00	1057,34	114	1581:34:00	1872,78
2006	85	2814:52:00	2939,04	42	1267:46:00	1314,91	83	1355:51:00	1307,99
2007	45	1481:00:00	1567,49	19	272:44:00	282,69	44	1149:48:00	1177,41
2008	82	2897:19:00	3027,00	59	2335:36:00	2355,65	31	445:46:00	395,29
2009	105	2693:34:00	2809,11	72	2080:07:00	2171,89	48	558:17:00	457,78
2010	67	2556:15:00	2717,06	55	1717:13:00	1768,49	39	734:22:00	721,81
2011	63	2831:53:00	2941,10	37	1713:48:00	1708,45	53	1051:47:00	1046,35
2012	55	2344:27:00	2424,99	58	1958:10:00	2013,31	19	334:13:00	335,50
2013	57	1478:00:00	1603,46	23	848:11:00	866,69	31	608:16:00	543,78
2014	51	1198:58:00	1473,94	52	608:25:00	619,60	22	572:06:00	533,34
Total	1101	36719:03:30	38604,51	655	20687:24:00	20968,73	660	14333:02:00	14472,26

3. CONCLUSÕES

É importante destacar que as taxas/ probabilidades de falha de componentes geradas com os dados armazenados e processados na base de dados apresentada neste trabalho podem ser aplicadas diretamente em análises de confiabilidade dos sistemas do reator IEA-R1 e na Análise Probabilística de Segurança (APS) desta instalação. Além disso, estes dados podem ser úteis para o gerenciamento da operação e manutenção do reator IEA-R1, principalmente no que diz respeito às decisões sobre a segurança desta instalação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o incentivo financeiro dado pela Agência Internacional de Energia Atômica por meio de um contrato de projeto coordenado de pesquisa que vigorou de março de 2001 a junho de 2004. Além disso, este trabalho não seria possível sem o apoio institucional dado por parte das gerências do Centro de Engenharia Nuclear e Centro do Reator de Pesquisas do IPEN.

REFERÊNCIAS

1. OLIVEIRA, P. S. P. Relatório de atividades (progress report) do projeto de pesquisa coordenado pela Agência Internacional de Energia Atômica: base de dados de confiabilidade para os reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2002. Relatório interno. (P&D.CENS.CENS.004.01/ RELT.001.00).
2. OLIVEIRA, P. S. P. *et al.* Base de dados de confiabilidade de componentes para os reatores de pesquisa IEA-R1 e IPEN/MB-01: objetivos, estrutura e conteúdo. *In: XIII ENFIR – NATIONAL MEETING OF REACTOR PHYSICS AND THERMAL HYDRAULICS*, 11-16 ago. 2002, Rio de Janeiro–RJ. *Anais [...]*, 2002. CD-ROM.
3. OLIVEIRA, P. S. P. Relatório de atividades (progress report) do projeto de pesquisa coordenado pela Agência Internacional de Energia Atômica: base de dados de confiabilidade para os reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), 2003. Relatório interno. (P&D.CENS.CENS.004.01/ RELT.002.00).
4. OLIVEIRA, P. S. P. *et al.* Sumário executivo e relatório final do projeto de pesquisa coordenado pela Agência Internacional de Energia Atômica: base de dados de confiabilidade para os reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), 2004. Relatório técnico. (P&D.CENS.CENS.004.01/ RELT.003.00).
5. OLIVEIRA, P. S. P. *et al.* Base de dados de confiabilidade de componentes para os reatores de pesquisa IEA-R1 e IPEN/MB-01: resultados e aplicações. *In: XIV ENFIR – NATIONAL MEETING OF REACTOR PHYSICS AND THERMAL HYDRAULICS*, 28 ago.-2 set. 2005, Santos–SP. *Anais [...]*, 2005. CD-ROM.
6. OLIVEIRA, P. S. P. *et al.* Reliability database of IEA-R1 brazilian research reactor: applications to the improvement of installation safety. *In: RRFM 2010 TRANSACTIONS*, 21-25 mar. 2010, Marrakech, Marrocos. *Proceedings [...]*. Bruxelas/Bélgica: European Nuclear Society, 2010. p. 285-292. Disponível em: <https://www.euronuclear.org/download/proceedings-rrfm-2010/>.
7. MACEDO, V. S. *Desenvolvimento de uma base de dados computacional para aplicação em Análise Probabilística de Segurança de reatores nucleares de pesquisa*. 2016. 104 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Reatores) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2016. DOI: 10.11606/D.85.2017.tde-23032017-151449.

8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Manual on reliability data collection for research reactor PSA*. IAEA-TECDOC-636. Viena/Áustria: IAEA, 1992. Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_636_web.pdf.

9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Generic component reliability data for research reactor PSA*. IAEA-TECDOC-930. Viena/Áustria: IAEA, 1997. Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_0930_scr.pdf.