

BASE DE DADOS DE CONFIABILIDADE DE COMPONENTES PARA OS REATORES DE PESQUISA IEA-R1 E IPEN/MB-01: RESULTADOS E APLICAÇÕES

Patrícia S. P. de Oliveira, Maria Eugênia L. J. Sauer, Eduardo P. Kurazumi, Antônio S. Vieira Neto, Julio Benedito M. Tondin, Walter Ricci Filho, Mauro O. Martins, Ulysses d'Utra Bitelli e Rogério Jerez

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Avenida Professor Lineu Prestes, 2242
05508-000 São Paulo, SP
patricia@ipen.br

RESUMO

Este artigo discorre sobre o desenvolvimento da base de dados de confiabilidade dos componentes dos reatores de pesquisa do *Ipen* e mostra os resultados da compilação de alguns dados de falhas obtidos do histórico operacional e dos registros de manutenção dos reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01. As características gerais da base de dados, como objetivo, estrutura, conteúdo e programa computacional de gerenciamento, já foram descritas no artigo apresentado no XIII ENFIR, no Rio de Janeiro, em Agosto de 2002. No presente trabalho, são abordadas também as principais aplicações da base de dados de confiabilidade na análise de segurança e nas áreas de operação e manutenção dos reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01.

1. INTRODUÇÃO

Em Julho de 2004, o *Ipen* concluiu o projeto de pesquisa coordenado e financiado pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), iniciado em Março de 2001, que consistiu no desenvolvimento de uma base de dados de confiabilidade de componentes para os reatores de pesquisa IEA-R1 (tipo piscina – 5 MW) e IPEN/MB-01 (unidade crítica – reator potência zero).

As características gerais desta base de dados, tais como, objetivo, estrutura, conteúdo e programa computacional de gerenciamento, encontram-se no artigo apresentado no XIII ENFIR, no Rio de Janeiro, em Agosto de 2002 [1]. Naquela ocasião, foi também apresentada uma breve descrição do processo de coleta dos dados de operação, falha e manutenção dos componentes dos reatores de pesquisa do *Ipen*.

O presente trabalho discorre sobre o estágio atual da base de dados de confiabilidade dos reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01 e mostra alguns resultados da compilação dos dados de falha dos principais componentes destas instalações. Para o reator IEA-R1, foi considerado o histórico operacional de Janeiro de 1999 a Dezembro de 2003, correspondendo a um período de observação de cinco anos. No caso do reator IPEN/MB-01, o período de observação abrangeu os registros de Outubro de 1997 a Março de 2004, ou seja, seis anos e cinco meses de operação. Estes dados foram enviados para a AIEA e serão publicados, junto com os dados dos demais países participantes do projeto, na nova versão da Base de Dados de Confiabilidade de Componentes de Reatores de Pesquisa, que substituirá o documento IAEA-

TECDOC-930 [2]. As melhorias efetuadas na nova versão da Base de Dados da AIEA em relação à publicação anterior [2] serão comentadas neste artigo, pois afetam diretamente a qualidade dos dados a serem fornecidos pela AIEA.

Este trabalho aborda, ainda, as principais aplicações da base de dados de confiabilidade na análise de segurança e nas áreas de operação e manutenção dos reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01. Para tanto, são apresentados alguns resultados da análise estatística dos dados de falha dos principais componentes destas instalações.

2. CARACTERÍSTICAS DA BASE DE DADOS DE CONFIABILIDADE DE COMPONENTES DOS REATORES DE PESQUISA IEA-R1 E IPEN/MB-01

A Base de Dados de Confiabilidade de Componentes dos Reatores de Pesquisa IEA-R1 e IPEN/MB-01 visa atender às necessidades de várias áreas técnicas do *Ipen*, além de poder fornecer subsídios importantes para estudos de confiabilidade e/ou segurança de instalações similares [1].

2.1. Programa de Gerenciamento da Base de Dados de Confiabilidade

O programa computacional de gerenciamento da base de dados tem como funções básicas o armazenamento e o tratamento dos dados de operação, falha e manutenção dos componentes dos reatores de pesquisa do *Ipen*. Também inclui o armazenamento dos dados técnicos destes componentes, assim como dos fluxogramas dos sistemas, desenhos esquemáticos ou fotografias dos componentes. O programa processa estas informações de modo a disponibilizar ao usuário diversos relatórios. Para um futuro próximo, está prevista a inclusão de uma opção que permita gerar arquivos formatados nos padrões de outros programas computacionais utilizados nas áreas de Análise Probabilística de Segurança (APS) e análise de confiabilidade / disponibilidade.

O programa computacional está sendo desenvolvido utilizando-se o *Microsoft Access*. A linguagem de programação *Visual Basic* está sendo utilizada na elaboração do aplicativo que permite ao usuário realizar tarefas como: entrada e atualização de dados, emissão de relatórios e pré-formatação dos dados para entrada em outro programa computacional. O programa opera num ambiente Windows 9x ou superior e está instalado numa rede interna de computadores (*Intranet*), para que possa ser acessado por vários usuários simultaneamente. Deste modo, todos acessam o banco de dados no computador designado como “servidor”. Cada usuário deve estar cadastrado a este sistema, para que possa receber um nível de acesso à base de dados, compatível com as tarefas que está designado a executar.

2.2. Conteúdo e Estrutura da Base de Dados de Confiabilidade

A Base de Dados de Confiabilidade de Componentes dos Reatores de Pesquisa IEA-R1 e IPEN/MB-01 é composta pelos seguintes módulos:

2.2.1. Módulo de Inventário e Códigos

Este módulo apresenta a lista de itens (instalações, sistemas / subsistemas e componentes) catalogados na base de dados. A partir deste módulo, o usuário pode verificar, rapidamente, se o item de interesse está incluído ou não na base de dados. As instalações catalogadas são

identificadas pelo nome, os sistemas / subsistemas pelos nomes e códigos adotados em cada instalação e os componentes serão reconhecidos pelo “Tag” que os identifica na instalação. Além disso, cada componente recebe um código padronizado pela AIEA, que o classificará por tipo. A princípio, qualquer tipo de componente relacionado, direta ou indiretamente, com a segurança da instalação poderá estar contido na base de dados.

2.2.2. Módulo de Entrada de Dados

Este módulo permite a entrada dos dados brutos coletados das especificações técnicas dos itens e dos históricos de operação, falha e manutenção das instalações. Estes dados podem aparecer em relatórios de saída no seu formato original, servindo também de entrada para o módulo estatístico, que fará o tratamento adequado dos dados para, então, gerar relatórios de saída com os resultados finais. O módulo de entrada de dados está subdividido, ainda, nas seguintes partes:

Entrada de Dados Técnicos de Engenharia dos Itens. Este submódulo permite a entrada de descrições resumidas, fluxogramas de engenharia atualizados, desenhos esquemáticos, lista de componentes, etc., de cada sistema / subsistema das instalações catalogadas. Na parte referente aos componentes, a base de dados é alimentada com dados gerais de fabricante, modelo, data de instalação, data de início de operação, data de substituição, localização, desenhos ou fotografias atualizados e, principalmente, com a definição exata da fronteira do componente.

Entrada de Dados de Operação dos Componentes. Este submódulo permite a entrada dos dados de operação de cada componente. Neste caso, são dados de operação os tempos de operação de cada componente até uma parada / desligamento da instalação ou outra interrupção que tire o componente de serviço. Neste mesmo submódulo serão armazenados os tempos acumulados de operação do componente, que poderão ser calculados até a data da consulta do usuário ou em qualquer período selecionado da vida do componente. Deverão ser inseridos e atualizados, também, os tempos “calendário” de cada componente da instalação (intervalo de tempo entre o início e o fim do período de observação de dados do componente). Finalmente, outro dado de operação importante a ser armazenado neste submódulo é o número de demandas impostas a cada componente durante a operação da instalação, isto é, o número de vezes em que cada componente foi solicitado a operar, considerando partidas e desligamentos que possam ter sido efetuados durante a operação. Neste caso, também serão fornecidos os valores acumulados correspondentes ao número total de demandas do componente durante a vida da instalação ou durante um período de tempo especificado.

Entrada de Dados de Manutenção dos Componentes. A entrada de dados neste submódulo deve ser feita registrando-se toda atividade de manutenção, quer seja preventiva, preditiva ou corretiva, realizada em cada componente da instalação. Neste registro estão incluídos alguns detalhes da atividade executada (tipo de atividade, intervalo programado, tempo de execução, etc.) além de desenhos e/ou fotografias, caso disponíveis, que ilustrem a tarefa realizada.

Entrada de Dados de Falha dos Componentes. Qualquer falha de componente deve ser notificada e avaliada no sentido de verificar suas causas, seus efeitos na operação do subsistema / sistema / instalação, ações tomadas e tempo de recuperação (inclui a duração dos serviços de manutenção e testes). Neste submódulo são armazenados os instantes exatos de

ocorrência e detecção da falha assim como o instante em que o componente volta a estar disponível para operação. Os modos de falha dos componentes são identificados e codificados segundo os documentos AIEA.

2.2.3. Módulo de Análise Estatística dos Dados

Parte dos dados armazenados no Módulo de Entrada de Dados deve receber um tratamento estatístico para que os parâmetros de interesse em análise de confiabilidade / disponibilidade sejam determinados. Num primeiro submódulo, adota-se a suposição de que a distribuição do tempo até a falha (ou tempo de vida) dos componentes obedece a uma distribuição exponencial, estimando-se um valor médio da taxa de falha e o respectivo intervalo de confiança. Pode-se estimar, também, a partir dos dados de entrada de manutenção, o tempo médio de reparo de cada componente. Para os casos em que não é razoável considerar a distribuição exponencial, recomenda-se gerar um arquivo de compilação dos tempos até a falha do componente, e formatá-lo como arquivo de entrada para outro programa computacional estatístico mais completo. Deste modo, uma distribuição de probabilidade mais adequada pode ser ajustada.

2.2.4. Módulo de Emissão de Relatórios

Neste módulo, o usuário pode selecionar o tipo de relatório que deseja obter, entre os vários oferecidos no menu. Estes relatórios estão sendo concebidos com formato e conteúdo que atendem as necessidades dos principais usuários da base de dados.

2.2.5. Módulo de Formatação de Arquivos de Saída

A inclusão futura deste módulo oferecerá ao usuário da base de dados a opção de gerar arquivos que sirvam como entrada para outros programas computacionais nas áreas de análise estatística de dados, análise de confiabilidade / disponibilidade e APS. Mais especificamente, está sendo estudada a possibilidade de formatar arquivos para os programas computacionais utilizados pelo grupo de APS do *Ipen*, que são: *Risk Spectrum* ® *PSA Professional*, *SAPHIRE for Windows*, *Weibull++*, *BlockSim* e *JMP 4 for Windows and Macintosh*.

2.3. Processo de Coleta dos Dados de Operação, Falha e Manutenção dos Componentes dos Reatores de Pesquisa do Ipen

A coleta de dados dos reatores de pesquisa IEA-R1 e IPEN/MB-01 vem sendo conduzida pelo pessoal de operação e manutenção destas instalações, com supervisão de especialistas em APS. Com relação a este processo, as seguintes informações merecem destaque:

- Os dados sobre ocorrências anormais / não usuais são extraídos dos registros de operação e manutenção das instalações (*Logbooks*, registros de manutenção corretiva, etc.).
- Os dados sobre ocorrências anormais / não usuais são interpretados pelo pessoal da instalação e pelos especialistas em APS para que sejam identificados os eventos que caracterizam falhas dos componentes ou falhas humanas.
- As falhas detectadas na manutenção preventiva ou no desligamento do reator podem ser computadas, caso haja indícios de que estas falhas possam ser reveladas na próxima etapa operacional do componente. Além disso, falhas detectadas durante as atividades de manutenção, geralmente, estão associadas à degradação do componente ou são falhas incipientes, que também são do interesse do pessoal da manutenção.

- Algumas ocorrências são classificadas como potenciais eventos iniciadores de acidente.
- As ocorrências relacionadas a desligamentos não programados / inadvertidos (“SCRAM”) do reator são consideradas à parte para que se tenha o registro do número de demandas do Sistema de Proteção do Reator.
- As ocorrências referentes a desligamentos não programados / inadvertidos (“SCRAM”) do reator causados por queda de tensão na rede elétrica externa são registrados para que se possa estimar o número de demandas dos grupos geradores a diesel “No-Break”.
- A cada falha de componente identificada, associa-se um código do tipo de componente envolvido, seguindo a codificação padronizada pela AIEA [2]. Exemplos: câmara de fissão – ACF; sensor de nível da água da piscina do reator – ALR; monitor de radiação – ARU; sensor de temperatura – ATA; gerador diesel – DGA; etc. Neste ponto, muita atenção deve ser dada à interpretação dos registros da instalação, para garantir que uma falha atribuída a um determinado tipo de componente ocorreu, de fato, em algum item incluído em sua fronteira.
- Os modos de falha dos componentes são identificados e codificados segundo os documentos da AIEA [2]. Exemplos: falha no funcionamento – F; componente degradado – B; atuação espúria – K; falha durante a operação – R; etc.
- Os tempos de operação dos componentes são registrados em planilhas específicas do *Microsoft Excel* para, então, serem introduzidos na Base de Dados.
- Foram instalados 15 “horímetros” no reator IEA-R1, para a obtenção dos tempos exatos de operação de seus principais componentes. No reator IPEN/MB-01, ainda não foram instalados estes dispositivos. Para os componentes que não têm horímetros, é possível obter estimativas dos tempos de operação a partir dos registros da instalação.
- Os valores médios das taxas de falha e os respectivos intervalos de confiança, para cada tipo de componente, são calculados por meio de algoritmos desenvolvidos em conjunto com os demais participantes do projeto da AIEA e tabulados em planilhas do *Microsoft Excel*.
- As falhas humanas não são computadas no cálculo da taxa de falha do componente, sendo modeladas separadamente.
- Descrições técnicas mais detalhadas dos componentes analisados são indexadas, para que seja feita uma consulta cruzada (pelo código do tipo de componente) com a tabela das taxas de falha destes componentes.
- Todos os dados coletados são verificados cuidadosamente antes de serem incorporados à Base de Dados.

3. RESULTADOS DA COMPILAÇÃO DOS DADOS DOS REATORES IEA-R1 E IPEN/MB-01

Os dados coletados e reportados neste estudo abrangem os principais componentes dos seguintes sistemas dos reatores de pesquisa do *Ipen*:

- Sistema de Refrigeração do Reator – Circuitos Primário e Secundário
- Sistema de Instrumentação e Controle
- Sistema de Suprimento de Energia Elétrica
- Sistema de Ventilação e Ar Condicionado
- Sistema de Ar Comprimido

Com relação ao reator IEA-R1, foram observadas falhas em 49 tipos distintos de componentes, entre Janeiro de 1999 e Dezembro de 2003. O tempo total de operação do reator IEA-R1 neste período foi de 10448 horas. A **Tabela 1** apresenta um trecho extraído da planilha de taxas de falhas e intervalos de confiança, os quais foram calculados a partir dos dados coletados no reator IEA-R1 referentes ao período mencionado. A **Tabela 2** apresenta alguns exemplos das descrições técnicas que acompanham a tabela de dados de falha dos componentes.

No caso do reator IPEN/MB-01, foram identificadas falhas em 59 tipos de componentes, entre Outubro de 1997 e Março de 2004. O tempo total de operação do reator IPEN/MB-01 neste período foi de 3814 horas.

Os arquivos eletrônicos contendo os resultados completos deste estudo foram enviados, via *Internet*, ao responsável técnico pelo projeto na AIEA, em Julho de 2004. Estes dados, junto com os dados dos demais reatores de pesquisa dos países participantes do projeto, irão compor a nova versão da Base de Dados de Confiabilidade de Componentes de Reatores de Pesquisa, que substituirá o documento IAEA-TECDOC-930 [2].

Tabela 1. Exemplo da Planilha de Dados de Falha do Reator IEA-R1

Code	Component type description	Reactor Code	Component Population #	Cumulative calendar time hs	Cumulative operating time hs	Demands #	Failure mode	Failures #	Failure rate 1/h	Failure probability 1/demand	90% Confidence bounds	
											5%	95%
ACF01	Fission Counter	BR01	2		1,09E+04		F	10	9,21E-04	-	5,00E-04	1,56E-03
ACF01	Fission Counter	BR01	2		1,09E+04		B	2	1,84E-04	-	3,27E-05	5,80E-04
ALR01	Sensor - pool water level	BR01	1	4,38E+04			K	4	9,13E-05	-	3,12E-05	2,09E-04
ARU01	Radiation monitoring alarm unit - duct monitor	BR01	4	1,75E+05			F	11	6,28E-05	-	3,52E-05	1,04E-04
ARU02	Radiation monitoring alarm unit - area monitor	BR01	9	3,94E+05			K	1	2,54E-06	-	1,30E-07	1,20E-05
ARU02	Radiation monitoring alarm unit - area monitor	BR01	9	3,94E+05			F	2	5,07E-06	-	9,01E-07	1,60E-05
ATA01	Sensor temperature	BR01	24		2,51E+05		F	5	1,99E-05	-	7,86E-06	4,19E-05
DGA01	Diesel generator - emergency AC	BR01	1		8,84E+02		R	4	4,52E-03	-	1,54E-03	1,03E-02
DGA02	Diesel generator - emergency AC	BR01	1		6,60E+02		R	2	3,03E-03	-	5,38E-04	9,54E-03
DGA03	Diesel generator - emergency AC	BR01	1		6,33E+02		R	5	7,89E-03	-	3,11E-03	1,66E-02
DGA04	Diesel generator - emergency AC	BR01	1		1,06E+01		R	1	9,42E-02	-	4,83E-03	4,47E-01

À medida que novos dados vão sendo coletados nos reatores de pesquisa do *Ipen*, as planilhas do modelo apresentado na Tabela 1, assim como as descrições técnicas detalhadas dos componentes envolvidos (Tabela 2), vão sendo atualizadas e disponibilizadas na rede de computadores interna do *Ipen*. Estes novos dados podem ser obtidos do histórico operacional anterior ao período já analisado (anterior a Janeiro de 1999, no caso do reator IEA-R1, e anterior a Outubro de 1997 para o reator IPEN/MB-01), ou podem ser os dados mais recentes dos registros de operação e manutenção dos reatores de 2004 e 2005.

Tabela 2. Exemplo das descrições técnicas dos componentes do Reator IEA-R1

Component Code	Description
ACF 01	Component: Fission chamber System: Instrumentation and Control System Population: 2 Manufacturer: Westinghouse; Model: WL-6376-A; 93% enriched U Operating duty: 1 fission chamber functioning, 1 standby Component Boundary: sensor and local power supply
ALR 01	Component: Sensor pool water level System: Instrumentation and Control System Population: 1 Manufacturer: NIVETEC; Type: LCD-580 Component Boundary: sensor and local power supply
ARU 01	Component: Radiation monitoring alarm unit – duct monitor System: Instrumentation and Control System Population: 4 Manufacturer: VICTOREEN – Model 942-A Component Boundary: detector, monitor
ARU 02	Component: Radiation monitoring alarm unit – area monitor System: Instrumentation and Control System Population: 9 Manufacturer: VICTOREEN - Model 956-A Component Boundary: detector, cabling from the detector
ATA 01	Component: Sensor temperature System: Instrumentation and Control System Population: 24 Manufacturer: ECIL; Type: thermocouple Component Boundary: sensor and local power supply
DGA01	Component: Diesel Generator – emergency AC (220V – Essential power) System: Electrical Power Supply System – Essential Power Population: 1 Engine: MWM, four-stroke, 8 cylinders, turbo charged, water cooled diesel; rated at 210 HP continuous operation at 1800 rpm; Alternator: Toshiba, synchronous, 3 Ø, 160 kVA, 220/127 V, 60 HZ at 1800 rpm Operating Duty: standby; Component Boundary: complete plant - including starting system, diesel motor, electric generator unit, control unit, lubrication system, cooling system, etc.
DGA02	Component: Diesel Generator – emergency AC (440V – Essential power) System: Electrical Power Supply System – Essential Power Population: 1 Engine: MWM, four-stroke, 12 cylinders, turbo charged, water cooled diesel; rated at 328 HP continuous operation at 1800 rpm; Alternator: Toshiba, synchronous, 3 Ø, 250 kVA, 440/380 V, 60 HZ at 1800 rpm Operating Duty: standby; Component Boundary: complete plant - including starting system, diesel motor, electric generator unit, control unit, lubrication system, cooling system, etc.
DGA03	Component: Diesel Generator – emergency AC (No-Break 440 V – Emergency power) System: Electrical Power Supply System – Vital Power Population: 1 Motor generator - Motor: Anel, asynchronous, 3 Ø; rated at 187 kW continuous operation at 1800 rpm; Alternator: Anel, synchronous, 3 Ø, 205 kVA, 440 V, 60 HZ at 1800 rpm Diesel motor: Caterpillar, four-stroke, 12 cylinders, turbo charged, water cooled diesel; rated at 210 HP continuous operation at 1800 rpm Operating Duty: standby; Component Boundary: complete plant - including starting system, motor generator, flywheel, electromagnetic clutch, diesel motor, control unit, lubrication system, fuel supply, cooling system, etc.
DGA04	Component: Diesel Generator – emergency AC (No-Break 220 V – Emergency power) System: Electrical Power Supply System – Vital Power Population: 1 Motor generator - Motor DC: Negrine, 230/310 V; rated at 25 kW continuous operation at 1800 rpm; Alternator: Negrine, synchronous, 3 Ø, 25 kVA, 220/127 V, 60 HZ at 1800 rpm Diesel generator - Diesel motor: Magirus-Deutz, four-stroke, 6 cylinders, turbo charged, water cooled diesel; rated at 110 HP continuous operation at 1800 rpm; Alternator: Negrine, synchronous, 3 Ø, 60 kVA, 220 V, 60 HZ at 1800 rpm Operating Duty: standby; Component Boundary: complete plant - including starting system, motor generator, flywheel, static converter, battery charger, batteries, diesel generator, control unit, lubrication system, fuel supply, cooling system, etc.

É importante citar que não há previsão, por parte da AIEA, de implantar um sistema eletrônico de atualização dos dados que serão publicados no documento que substituirá o IAEA-TECDOC-930 [2]. Por outro lado, durante o desenvolvimento do projeto, várias melhorias foram implementadas nesta nova versão da Base de Dados, para assegurar a qualidade dos dados a serem fornecidos pela AIEA. Dentre estas melhorias, pode-se destacar:

- Estabelecimento dos critérios para identificação e classificação dos eventos a serem computados como falhas dos componentes.
- Inclusão da descrição técnica detalhada dos componentes considerados na base de dados (em formato de tabela, uma tabela para cada reator, de forma a estabelecer uma referência cruzada, por tipo de componente, com a tabela que contém os dados numéricos).
- Inclusão da definição das fronteiras dos componentes (na descrição técnica dos componentes, exemplificada na Tabela 2).
- Cálculos revisados dos valores médios das taxas de falha dos componentes e equações corrigidas para cálculo dos intervalos de confiança destes parâmetros.
- Inclusão de uma descrição resumida de cada reator catalogado na base de dados.
- Compilação de falhas de causa comum de componentes e falhas humanas ocorridas nos reatores catalogados na base de dados, falhas estas identificadas por pesquisadores dos países participantes do projeto.
- Inclusão de um guia detalhado para o usuário da base de dados, abrangendo os principais tópicos sobre a preparação dos dados apresentados, assim como sobre o uso destes dados na Análise Probabilística de Segurança de Reatores de Pesquisa ou em outras aplicações correlatas.

4. ANÁLISE DOS DADOS E APLICAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS REATORES IEA-R1 E IPEN/MB-01

Os dados de falha dos componentes dos reatores de pesquisa IEA-R1 e IPEN/MB-01, resultantes deste trabalho, podem ser aplicados diretamente na Análise Probabilística de Segurança (APS) destas instalações, a qual consiste de uma avaliação qualitativa e quantitativa do risco associado à operação dos reatores. Na APS, são efetuadas análises de confiabilidade de vários sistemas dos reatores, incluindo os de segurança e os de suporte. O projeto de desenvolvimento da APS dos reatores de pesquisa do *Ipen* ainda não foi iniciado. Enquanto isso, as aplicações mais imediatas dos dados apresentados neste artigo têm sido nas áreas de operação e manutenção dos reatores.

Tomando-se como exemplo as falhas ocorridas nas bombas do Sistema de Refrigeração do Reator IEA-R1 no período de Janeiro de 1999 a Dezembro de 2003, e conforme ilustrado na **Figura 1**, pode-se verificar que vazamentos nas gaxetas das bombas do primário ocorreram, em média, a cada 1142,22 horas de operação destes componentes. Além disso, alguns problemas que implicavam numa operação degradada destas bombas, foram identificados a cada 1468,57 horas de operação destes componentes. Falhas durante a operação foram observadas, em média, a cada 3426,67 horas. No Plano de Manutenção do Reator IEA-R1, está prevista uma tarefa mensal de ajuste das gaxetas das bombas do primário. Com base nos dados dos tempos de operação destes componentes, pode-se inferir que, este intervalo corresponde a 180 horas de operação das bombas, em média. Existem tarefas com programação semestral (o que equivale a um intervalo de 1080 horas de operação das bombas, em média) e a manutenção geral das bombas do primário deve ser realizada a cada

cinco anos (correspondente a um intervalo de 10800 horas de operação das bombas do primário, em média). Estes resultados podem ser considerados pelo pessoal de manutenção do reator IEA-R1, na revisão dos intervalos programados atualmente para as principais tarefas de manutenção destes componentes.

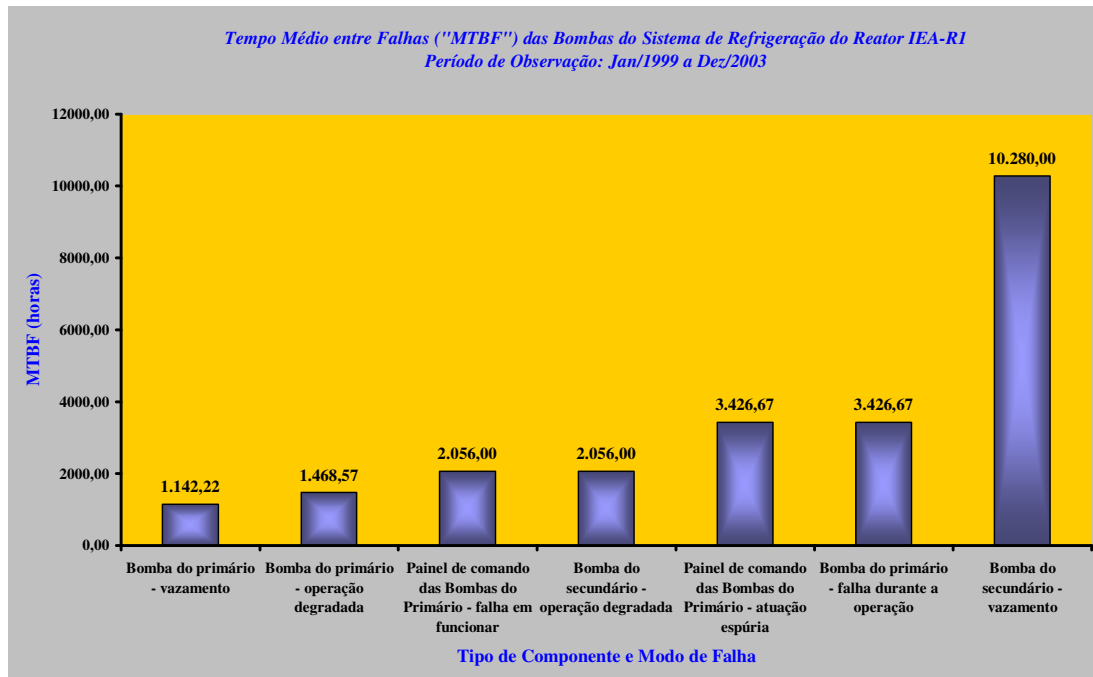


Figura 1. Dados de falha das bombas do Sistema de Refrigeração do Reator IEA-R1

No caso do reator IPEN/MB-01, a **Figura 2** mostra, como exemplo, que os compressores do Sistema de Ar de Instrumentos apresentam um tempo médio entre falhas de 12780 horas. Este sistema costuma operar de modo contínuo, aproximadamente 9 horas por dia, 200 dias por ano, resultando num tempo de operação anual de 1800 horas. Isto indica que a cada 7 anos, este sistema deveria ser inspecionado para eventuais trocas de seus componentes internos. Esta avaliação pode ser feita para os demais componentes dos principais sistemas do reator IPEN/MB-01. Assim, como contribuição imediata da Base de Dados de Confiabilidade para esta instalação, tem-se a revisão de seu programa de manutenção preventiva de componentes. No que diz respeito às manutenções corretivas dos componentes, as informações extraídas da base de dados podem ser aplicadas na previsão dos recursos necessários para estas atividades.

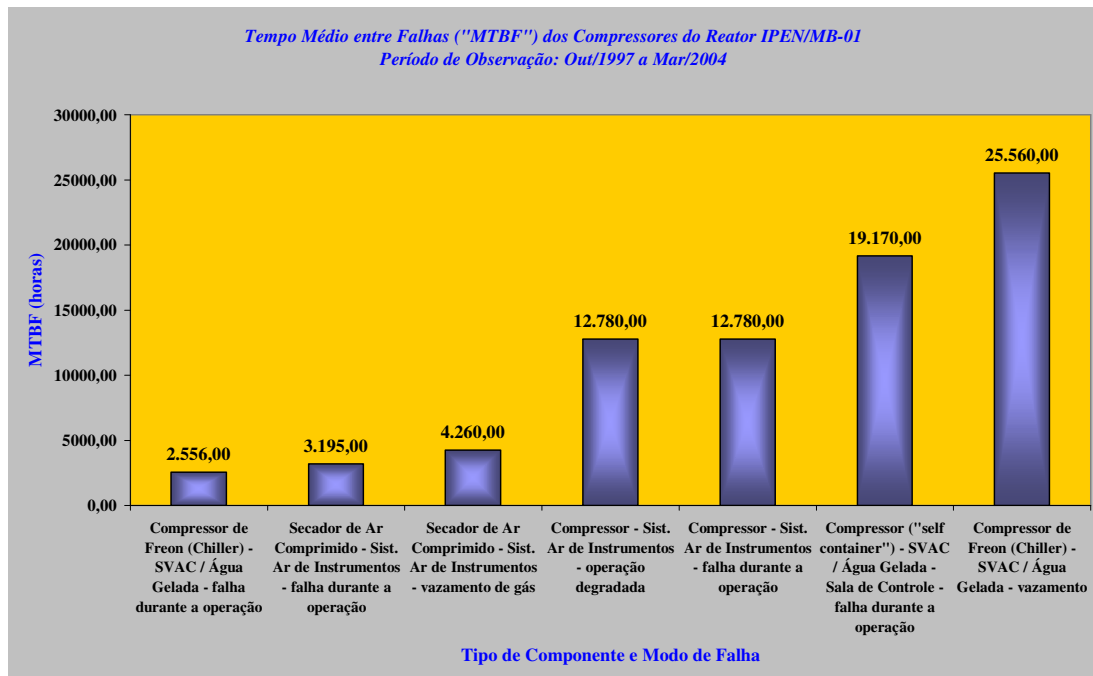


Figura 2. Dados de falha dos compressores do Reator IPEN/MB-01

5. CONCLUSÕES

A Base de Dados de Confiabilidade desenvolvida no *Ipen*, cujo projeto foi financiado pela AIEA, tem trazido inúmeros benefícios para este Instituto e despertado o interesse das gerências dos dois reatores, IEA-R1 e IPEN/MB-01, nos assuntos referentes à aplicação da Análise Probabilística de Segurança (APS) em instalações nucleares de pesquisa.

Nota-se que algumas melhorias já ocorreram no que diz respeito aos registros que compõem o histórico de operação e manutenção dos reatores. Pode-se citar como exemplo, descrições mais detalhadas dos eventos não usuais ou das falhas durante a operação dos reatores, dados mais precisos quanto aos instantes de ocorrência dos eventos registrados, inclusão de um novo formulário para registrar as leituras dos "horímetros" instalados nos principais componentes do reator IEA-R1, descrições mais detalhadas das atividades de manutenção corretiva dos componentes e registros mais precisos da duração destas atividades. Foram feitas pequenas alterações no formato e conteúdo dos registros de operação (*Logbook*) e em outros formulários usados nos reatores, com o objetivo de incluir algumas informações que alimentam a base de dados de confiabilidade. Quanto à análise estatística dos dados coletados nos reatores do *Ipen*, está sendo desenvolvido um estudo mais completo, por meio de um programa computacional denominado Weibull ++ 6 [3], específico para análise dos tempos de vida de componentes. Com este estudo, espera-se obter resultados mais realistas para as distribuições de probabilidade dos tempos de vida dos componentes, pois o modelo exponencial foi uma simplificação adotada no projeto da AIEA.

É importante citar que, os aspectos de segurança envolvidos nas falhas observadas durante a operação dos reatores tem sido discutidos com mais frequência nas reuniões gerenciais

realizadas nas instalações. Nestas discussões, foi possível verificar que, dentre as ocorrências analisadas no histórico operacional dos reatores do *Ipen*, poucos eventos podem ser considerados relevantes do ponto de vista da segurança nuclear destas instalações. No entanto, os resultados obtidos na análise dos dados de falha dos componentes podem contribuir significativamente para a melhoria dos procedimentos operacionais assim como para a revisão do programa de manutenção dos reatores. Neste ponto, a experiência do pessoal de operação e manutenção dos reatores e dos especialistas em APS tem papel fundamental na avaliação dos eventos e, portanto, na correta aplicação dos resultados a serem extraídos da base de dados.

Finalmente, o projeto de pesquisa conduzido no *Ipen* mostrou a importância de integrar as atividades de coleta de dados de confiabilidade às rotinas administrativas existentes nas instalações, já que possibilita otimizar os esforços dispendidos nesta área e, ao mesmo tempo, assegurar a qualidade dos dados.

APOIO FINANCEIRO

O projeto de pesquisa descrito neste artigo recebeu financiamento da AIEA, por intermédio da Seção de Administração de Contratos de Pesquisa (*Research Contracts Administration Section*), sendo coordenado, no que diz respeito ao aspecto científico, pela Divisão de Segurança de Instalações Nucleares (*Division of Nuclear Installation Safety*) do Departamento de Segurança Nuclear (*Department of Nuclear Safety*). Os profissionais que integram a equipe do projeto são remunerados pelo *Ipen / Cnen-SP* e a infra-estrutura de apoio é fornecida pelo Centro de Engenharia Nuclear (CEN) deste Instituto.

REFERÊNCIAS

1. Oliveira, P.S.P. et alii, "Base de Dados de Confiabilidade de Componentes para os Reatores de Pesquisa IEA-R1 e IPEN/MB-01: Objetivos, Estrutura e Conteúdo", *Anais do XIII ENFIR*, Rio de Janeiro, 11 a 16 de Agosto de 2002, CD-ROM (2002).
2. International Atomic Energy Agency, *Generic Component Reliability Data for Research Reactor PSA*, IAEA-TECDOC-930, Vienna, Austria (1997).
3. RELIASOFT CORPORATION, Weibull++ – Version 6.0, 2000.