

## UTILIZAÇÃO DO *CHECKLIST* DE SEGURANÇA NA ANÁLISE DO SISTEMA DE RETRATAMENTO DE ÁGUA DO REATOR IEA-R1

Maria Eugênia Lago Jacques Sauer<sup>1</sup>, Antonio Jorge Sara Neto, Toni Carlos Caboclo de Lima e Maria Alice Morato Ribeiro

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Av. Professor Lineu Prestes, 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
<sup>1</sup>melsauer@ipen.br

### RESUMO

No ano de 1999, a gerência do Reator de Pesquisa IEA-R1 (tipo piscina – 5 MW de potência), localizado no IPEN/CNEN-SP, iniciou o processo de avaliação do Sistema de Retratamento de Água da piscina da instalação, visando o levantamento de aspectos operacionais que pudessem comprometer a segurança dos operadores. O objetivo principal foi identificar e propor melhorias para um novo sistema que seria instalado, em substituição ao existente. A formalização deste processo deu-se por meio da realização de um estudo qualitativo do sistema em operação. Para a condução do estudo, constituiu-se uma equipe com profissionais da operação, manutenção e supervisão radiológica do reator e um analista de segurança. O estudo consistiu, basicamente, de inspeções locais, para verificar os estados físico e operacional de cada equipamento / componente e aspectos concernentes à execução das atividades de manutenção do sistema. Foram também considerados características de controle e procedimentos do operador associados ao processo de retratamento. A metodologia adotada no desenvolvimento do trabalho baseou-se na técnica de análise de perigos de processos (*Process Hazard Analysis*–PHA) conhecida como *Checklist* de Segurança [1]. Este artigo apresenta um resumo do estudo e os resultados principais obtidos com a aplicação do referido método [2]. São indicados alguns problemas de operação e de segurança detectados, os meios de prevenção e/ou correção dos mesmos e as sugestões e recomendações implementadas no projeto do atual Sistema de Retratamento do Reator IEA-R1, cuja instalação foi concluída em 2003.

### 1. INTRODUÇÃO

O *Checklist* de Segurança do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1 foi realizado no período de maio a outubro de 1999, como suporte à gerência do reator no processo de identificação de aspectos operacionais que pudessem comprometer a segurança dos operadores. O objetivo principal foi identificar e propor melhorias para um novo sistema que seria instalado, em substituição ao existente. As obras de instalação do sistema atualmente em operação foram concluídas no final do ano de 2003.

Neste artigo são apresentados o resumo do trabalho, os principais resultados obtidos, a contribuição do trabalho para o antigo sistema e para o projeto do sistema atualmente em funcionamento, assim como algumas recomendações para estudos futuros.

### 2. CHECKLIST DE SEGURANÇA DO SISTEMA DE RETRATAMENTO DE ÁGUA DO REATOR IEA-R1

#### 2.1 Descrição do Método

A metodologia adotada no desenvolvimento do trabalho, baseia-se na técnica qualitativa de análise de perigos de processos (*Process Hazard Analysis* - PHA) conhecida como *Checklist*

de Segurança [1]. Trata-se, essencialmente, de um procedimento de inspeção ou verificação, que é feita seguindo um formulário no qual consta uma lista completa de todos os itens / componentes do sistema ou processo considerado. O formato do formulário a ser preenchido, para o qual não existe um padrão fixo, é concebido de acordo com objetivos esperados com o estudo.

O *Checklist* de Segurança pode ser aplicado por uma ou mais pessoas com experiência no processo a ser avaliado. Durante as inspeções, todas as informações coletadas são registradas no formulário adotado. O ideal é que as inspeções sejam realizadas seguindo-se o fluxo normal do processo, de modo a garantir que todos os itens listados sejam verificados, ou, ainda, que outros sejam adicionados, o que pode acontecer nas situações em que a documentação de referência esteja incompleta ou desatualizada. Flexível e versátil, o método pode ser aplicado a todas as fases de desenvolvimento de um processo. No caso de processos químicos, por exemplo, pode ser utilizado desde a concepção até o descomissionamento da planta. É fácil de usar e provê resultados relativamente rápidos. É usado principalmente para verificar se o processo está em conformidade com as normas e práticas a ele aplicáveis. A extensão do *checklist* pode variar, mas tem sido um dos métodos mais rápidos e menos dispendiosos de avaliação de perigos de processos.

## **2.2 Aplicação do Checklist de Segurança na Análise do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1**

O *Checklist* de Segurança do Sistema de Retratamento do Reator IEA-R1 foi realizado por uma equipe composta por um analista de segurança, um operador e um especialista em manutenção. O desenvolvimento do trabalho contou, ainda, com o apoio de um supervisor de proteção radiológica e de um supervisor de operação do reator.

O padrão do formulário adotado para o *Checklist* foi elaborado pela equipe dedicada ao desenvolvimento do trabalho. No formulário foram listados os componentes do sistema a serem inspecionados. Esta lista foi elaborada a partir do fluxograma de processo do sistema [3] e de verificações locais, para evitar que algum item pudesse ser omitido. Para cada item listado, foram registrados dados técnicos retirados da documentação existente, como descrições, manuais de operação etc., e o diagnóstico foi efetuado a partir das observações de campo. No estudo, foram considerados os esquemas de alinhamentos para os estados previstos para o sistema, que são operação normal e parada para manutenção.

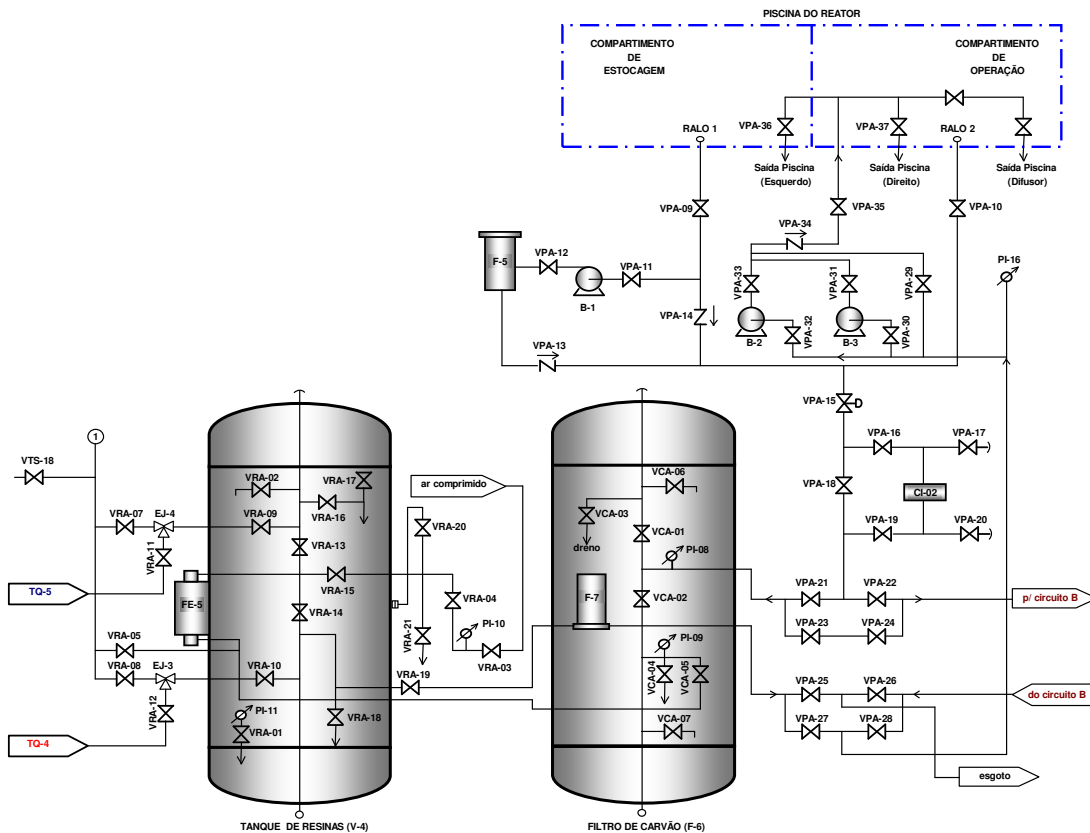
Durante as inspeções locais, foram verificados os estados físico e operacional de cada componente listado e aspectos concernentes à execução das atividades de manutenção. Características de controle e procedimentos do operador associados ao processo de retratamento também foram considerados. As informações coletadas contemplaram a avaliação da existência ou não de problemas reais ou potenciais, como, por exemplo, condições que pudessem comprometer o desempenho funcional do sistema e/ou a segurança dos operadores ou da instalação.

A complementação de informações coletadas em campo e o detalhamento do estudo foram feitos durante as reuniões técnicas da equipe de trabalho e também com informações retiradas dos seguintes documentos:

- Manual de Operação do Reator IEA-R1-Operação do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1-Proc. Nº 17-OP-024/B [4];
- Manual de Operação, Manutenção e Inspeção do Reator IEA-R1 [5]; e
- Relatório de Análise de Segurança (RAS) do Reator IEA-R1 [6].

A Figura 1 mostra a configuração simplificada do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1.

A função do sistema é manter a qualidade da água desmineralizada utilizada na piscina do reator dentro das especificações de projeto. O sistema é constituído, basicamente, de dois circuitos redundantes idênticos. Cada circuito dispõe de um filtro de carvão ativado (F-6 / F-8), para reter a matéria orgânica em suspensão e cloretos dissolvidos na água da piscina do reator e de um tanque de resinas de troca iônica (V-4 / V-5), do tipo leito misto, no qual são armazenadas as resinas utilizadas no retratamento da água. Acoplado aos circuitos A e B existe um circuito de bombeamento, responsável pela circulação da água da piscina do reator, durante o processo de retratamento. Em operação normal, opera apenas o circuito A ou B. O conjunto de válvulas do sistema possibilita o alinhamento adequado dos circuitos para os modos de operação normal ou parada para manutenção, enquanto que a instrumentação disposta nas linhas do sistema – vazão, pressão, condutividade da água etc. – é utilizada para monitorar e controlar o processo.



**Figura 1 – Fluxograma de Processo Simplificado do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1 – Circuito A**

Na Tabela 1 estão dispostos, como exemplo, alguns dos registros que resultaram da aplicação do *checklist* de segurança ao referido sistema.

**Tabela 1. Checklist de Segurança do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1 – Exemplo (fl. 1/3)**

ITEM	NOME	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO	DIAGNÓSTICO	RECOMENDAÇÃO / COMENTÁRIOS
1	VPA-09	Válvula manual do tipo gaveta, com vedação por gaxeta.	Isolar a piscina do reator do Sistema de Retratamento.	Apresenta pequeno vazamento externo: gotejamento. A válvula é antiga e a sua localização é crítica: está conectada ao ralo R-1 da piscina do reator. Por isso, como medida de precaução, os operadores normalmente não a acionam, para se reduzir a possibilidade de que o manuseio possa agravar o vazamento. Como esta válvula não é acionada, existe dificuldade para isolar o sistema e realizar a manutenção de alguns de seus componentes, como é o caso das válvulas VPA-13, VPA-14 e VPA-15. A manutenção desta válvula requer o fechamento do ralo R-1 e a parada do Sistema de Retratamento.	Eliminar o vazamento da válvula por meio de reparo ou substituição. Para o projeto de modernização do sistema, sugere-se utilizar válvula esfera ou gaveta do tipo “On/Off”, com acionamento rápido.
2	B-1	Bomba hidráulica, 3 HP, 3500 rpm, 5 m <sup>3</sup> /h, 26 mca. A bomba é de aço inoxidável e foi instalada em 1989.	Succionar água da (superfície) da piscina do reator.	Vazamento na gaxeta. Não se está conseguindo ajustar a gaxeta. A equipe de manutenção supõe que o eixo esteja desalinhado.	Sugere-se que a bomba seja retirada de operação para se fazer um diagnóstico mais detalhado do problema, antes da manutenção corretiva. Sugere-se também adicionar uma bomba em paralelo e redundante a B-1, em função do novo ritmo operacional do reator (120 horas semanais). Com isso, aumenta-se a disponibilidade do sistema, já que em caso de falha de B-1, não haveria necessidade de interromper o processo de retratamento.
3	F-7	Filtro tipo CUNO. Localizado dentro da blindagem que circunda os tanques de resinas e filtros de carvão.	Reter possíveis fugas de resina do tanque, que podem ocorrer através da tela do tanque de resinas A (V-4).	É muito antigo e apresenta vazamento. Não se tem acesso ao equipamento, o que impossibilita a realização de serviços de manutenção do mesmo.	Substituir o filtro e posicioná-lo fora da blindagem. Fora da blindagem, o filtro não imporia ao operador exposição a taxas altas de radiação (seria menor do que 2,5 mRem/hora) e possibilitaria a realização de manutenção.

**Tabela 1. Checklist de Segurança do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1 – Exemplo (fl. 2/3)**

ITEM	NOME	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO	DIAGNÓSTICO	RECOMENDAÇÃO / COMENTÁRIOS
4	VPA-21 / VPA-22	Válvula manual do tipo gaveta com vedação por gaxeta. Localizada dentro da blindagem que circunda os tanques de resinas e filtros de carvão. Possui uma extensão para fora da blindagem adaptada ao volante de acionamento. Fechada durante a lavagem em contracorrente do filtro de carvão A/B (F-6 / F-8), na fase de manutenção do sistema.	Permitir a entrada de água da piscina para o filtro de carvão F-6 / F-8 do circuito A / B.	Está operando, mas apresenta vazamento. Não se tem acesso à válvula e, por isso, não é possível fazer manutenção. A inspeção da válvula é feita com o uso de uma escada que permite a visualização do componente por cima da blindagem.	Sugere-se a substituição por uma válvula pneumática de 2 posições ("On"/"Off") . Considerando-se a mudança do regime de operação do reator para 120 horas semanais ininterruptas, pode ser necessário manusear a válvula durante a operação do reator, por exemplo, para realinhamento do sistema (troca da unidade A pela B ou vice-versa), em caso de saturação das resinas. Durante a operação do reator, o acesso ao porão é restrito em função dos altos níveis de dose de radiação.
5	V-4 / V-5	Tanque de resinas de troca iônica, do tipo leito misto. Material do tanque: aço inoxidável. Diâmetro do tanque= 609,6 mm. Altura do tanque: 1524 mm. Conteúdo do tanque: resinas. Volume de resina catiônica: 130 l. Volume de resina aniônica: 130 l.	Armazenar as resinas utilizadas no processo de retratamento da água da piscina do reator.	(a) As estruturas de sustentação do tanque (os pés e a base de apoio dos pés) estão corroídas, existindo o risco de ruptura/ quebra das mesmas e, conseqüentemente, queda do equipamento. Como medida preventiva, foram colocados calços provisórios, até que o problema seja solucionado; (b) A parte interna do tanque apresenta pontos de corrosão. Os íons liberados pelo processo de corrosão comprometem a eficiência das resinas; (c) Os visores do tanque estão oxidados.	Substituir o equipamento, quando for possível, analisando as seguintes alternativas: (a) instalar, em cada circuito do sistema, 3 tanques de resinas independentes, o que resultaria em um volume menor de resinas por tanque e, por conseguinte, menor dose acumulada. (b) Manter cada circuito com um leito misto, contendo o volume de resinas dimensionado para 5 MW, tendo em vista que o sistema já recebe água com condutividade abaixo dos limites máximos permitidos, que são mantidos por este mesmo sistema.

**Tabela 1. Checklist de Segurança do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1 – Exemplo (fl. 3/3)**

ITEM	NOME	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO	DIAGNÓSTICO	RECOMENDAÇÃO / COMENTÁRIOS
6	VCA-01 / VCB-01	Válvula manual do tipo gaveta, com vedação por gaxeta. Localizada dentro da blindagem que circunda os tanques de resinas e filtros de carvão. Possui uma extensão para fora da blindagem adaptada ao volante de acionamento. A fixação do engate da haste ao volante é feita por meio de chapas de aço parafusadas ao volante da válvula. Fechada durante a lavagem em contracorrente ( <i>backwash</i> ) do filtro de carvão (F-6/ F-8), na fase de manutenção do sistema.	Permitir a admissão de água da piscina do reator no filtro de carvão A/B (F-6/ F-8) durante retratamento da água da piscina do reator (operação normal do sistema).	Está operante. <u>Problemas para fazer manutenção:</u> (a) localização de difícil acesso; (b) atualmente não se faz qualquer tipo de manutenção preventiva na válv., pois a taxa de exposição do operador no local varia de 1,5 a 2,0 Rem/hora. Segundo o especialista em manutenção, o tempo médio estimado para substituir este equipamento é 1 hora. Para aperto da gaxeta, são necessários cerca de 15 minutos. <u>Problemas para fazer inspeção:</u> Em função dos altos níveis de radiação dentro da blindagem e do difícil acesso, a válv. não tem sido inspecionada. Por isso, não se tem também um diagnóstico das condições externas do equipamento. A extensão para atuação da válv. está inadequada: apresenta jogo no engate, que às vezes solta e trava no próprio volante, dando indicação errada da sua posição.	Reparar a haste da válvula. Para o projeto de modernização do sistema, sugere-se a substituição por uma válvula pneumática de 2 posições ("On"/ "Off"). Considerando-se a mudança do regime de operação do reator para 120 horas semanais ininterruptas, pode ser necessário manusear a válvula, por exemplo, para realinhamento do sistema (troca da unidade A pela B ou vice-versa), em caso de saturação das resinas. Durante a operação do reator, o acesso ao porão é restrito, em função dos altos níveis de radiação. Corrigir o TAG da válvula no fluxograma de processo, que indica VCA-06.
7	F-6 / F-8	Filtro de carvão ativado do circuito A / B. Material: aço inoxidável. Diâmetro: 914,4 mm. Altura: 1524 mm. Conteúdo: carvão ativado [6]. Volume de carvão: 500 l [6]. Granulometria do carvão: 10-20 malhas [6].	Reter matéria orgânica em suspensão e cloretos dissolvidos na água da piscina do reator.	A última troca de carvão foi efetuada em 1993 (há 6 anos). O filtro apresenta problemas estruturais: (a) Os pés e a base de apoio dos pés do tanque estão corroídos, existindo o risco de ruptura./ quebra dos mesmos e, conseqüentemente, de queda do equipamento. Como prevenção, foram colocados calços de madeira provisórios, até que o problema seja solucionado; (b) corpo do filtro apresenta pontos de corrosão.	Substituir o equipamento, quando for possível, pensando em um possível redimensionamento do mesmo, pois, em função do volume de carvão ser grande, a dose de radiação resultante da matéria orgânica acumulada é muito alta.
8	Linha de dreno com válvulas em série	Derivação da linha de retorno de água retratada dos tanques de resinas A/B p/ a piscina do reator. É uma linha de dreno para o <i>sump</i> , localizada após a válvula VPA-35, onde estão instaladas em série 1 válv. pneumática e uma válv. do tipo gaveta.	Drenagem do sistema de retratamento.	Esta linha não é usada e não consta no fluxograma do Sistema de Retratamento. A drenagem do sistema é feita atualmente de modo mais seguro por VRA/B-18.  Existe o risco de perder água da piscina (queda de cerca de 1,5m no nível), caso estas válvulas sejam indevidamente abertas, o que é possível, uma vez que não existe dispositivo de trava em nenhuma destas válvulas.	Recomenda-se eliminar este trecho.

### 3. RESULTADOS PRINCIPAIS E CONCLUSÕES

O *Checklist* de Segurança contemplou a vistoria de 113 componentes do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1.

As reuniões da equipe foram subdivididas em dois tipos de atividades: (1) inspeções locais para coleta de dados; e (2) reuniões fechadas para revisão, complementação e consolidação dos dados de campo e análise das informações. A equipe reunia-se, em média, dois dias por semana, durante uma hora e meia a duas horas, para analisar os itens listados. Foram realizadas 8 reuniões até que o *checklist* tivesse sido completado. O tempo total utilizado para a execução do trabalho foi de, aproximadamente, 64 horas.

Os problemas principais identificados no Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1, por meio da aplicação do *Checklist* de Segurança, foram:

- Problemas no estado de conservação física dos tanques de resinas (V-4 / V-5) e filtros de carvão ativado (F-6 / F-8):
  - (a) corrosão extensa na base dos pés e nos pés originais destes equipamentos, para os quais foram improvisados calços como estrutura de sustentação; e
  - (b) corpo dos tanques e dos filtros com pontos de corrosão. No caso dos tanques de resinas, os íons liberados no processo de corrosão na parede interna dos mesmos comprometem a eficiência das resinas.
- Componentes desativados e, portanto, sem função no sistema (VPA-30; B2, B-3; PI-10/14, etc.).
- Componentes inoperantes (PI-08/12; PI-09/15; PI-16).
- Dificuldade de acesso e de manuseio de componentes, associados aos altos níveis de radiação existentes no local onde se encontram instalados: A realização dos trabalhos de manutenção na maioria das válvulas (16 válvulas) situadas no interior da blindagem que cerca os tanques de resinas e os filtros de carvão exigiria do operador um tempo grande de exposição aos níveis altos de radiação. Por este motivo, o filtro de carvão ativado e a maioria das válvulas não estavam sendo submetidos à manutenção adequada.
- Nas válvulas situadas dentro da blindagem, foram adaptadas extensões às hastes de acionamento, para permitir que os operadores operem as válvulas pelo lado de fora da blindagem, evitando a exposição destes aos níveis altos de radiação emitidos pelos tanques de resinas e filtros de carvão ativado. Algumas destas hastes necessitam de manutenção (válvulas VCA/B-01 e VRB-03).
- Inconsistências entre os TAGs de equipamentos indicados no fluxograma de processo do sistema [3] e aqueles verificados em campo (problemas em 13 componentes, entre válvulas e instrumentos de processo).
- Dois trechos de linhas de dreno, não indicados no fluxograma de processo [3], nos quais estão instaladas válvulas (por exemplo, VPA-25 e VPA-26) que, se indevidamente abertas, causariam perda da água da piscina do reator. Recomendou-se eliminar estes trechos ou travar as válvulas que neles encontram-se instaladas. Os operadores passaram a drenar o Sistema de Retratamento por meio da válvula VRA/B-18, como medida de segurança preventiva.
- As rotinas de manutenção documentadas para este sistema estavam desatualizadas. Durante a realização do *Checklist*, os procedimentos de manutenção praticados na época foram sendo anotados e consolidados.

Como resultado do estudo, o projeto do novo Sistema de Retratamento, que teve a instalação concluída no final do ano de 2003, contou com as seguintes modificações:

1. Instalação de todas as válvulas do sistema externamente à blindagem dos tanques de resinas e filtros de carvão. Com esta medida, limita-se a exposição dos operadores à radiação durante as atividades de inspeção e manutenção do sistema.
2. O problema de corrosão nos tanques de resinas e filtros de carvão foi resolvido com a substituição destes componentes por similares, também em aço inoxidável. Os novos tanques de resinas contam com um volume de resinas, por tanque, menor do que nos antigos, o que reduz a dose acumulada de radiação.
3. Instalação de um sistema de bombeamento duplicado para a água da piscina do reator, a fim de aumentar a disponibilidade do sistema. No sistema antigo, apenas uma bomba das três existentes estava operacional.
4. Os tanques de soda ( $\text{NaOH}$ ) e de ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) estão localizados externamente à blindagem. A mistura ácido-base utilizada para a regeneração das resinas é obtida por meio de uma bomba dosadora, o que eliminou a necessidade da intervenção do operador no manuseio daquelas substâncias nesta etapa operacional.
5. A troca do circuito de retratamento A pelo B, e vice-versa, é feito por via remota, da sala de controle, conferindo maior rapidez à aplicação do procedimento de realinhamento dos circuitos e maior proteção aos operadores, já que o acesso ao porão é restrito durante a operação do reator.
6. Os componentes não operantes foram retirados.
7. Todos os Tags dos componentes foram refeitos. Atualmente, a instalação conta com plantas atualizadas do sistema.
8. Novas rotinas de operação e manutenção foram elaboradas para o sistema atualmente instalado.

A Figura 2 mostra o tanque de resinas e o filtro de carvão de um dos circuitos do sistema atualmente em operação. Na Figura 3 pode-se visualizar parte das válvulas do sistema instaladas fora da blindagem que circunda os tanques de resinas e filtros de carvão.



**Figura 2. Tanque de Resinas e Filtro de Carvão de um dos Circuitos do Sistema de Retratamento da Água do Reator IEA-R1 Atualmente em Operação.**





**Figura 3. Exemplo de Algumas das Válvulas do Atual Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1 Instaladas Fora da Blindagem que Circunda os Tanques de Resinas e Filtros de Carvão.**

Do ponto de vista global, seria interessante que a prática do *Checklist* de Segurança pudesse ser incorporada ao quadro de rotinas de manutenção dos sistemas do reator IEA-R1. Em função dos objetivos esperados, poderão ser elaborados e dimensionados *checklists* voltados à obtenção de informações que contribuam não apenas para se manter as condições adequadas de operação de sistemas do IEA-R1, mas que também sejam úteis na revisão de planos e/ou otimização de intervalos de manutenção de itens da instalação.

#### **REREFÊNCIAS**

1. American Institute of Chemical Engineers, “*Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*”, prepared by Batelle Columbus Division for The Center for Chemical Process Safety, NY, USA (1985).
2. Sauer, M.E.L.J. et alii, “Checklist de Segurança do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1”, relatório técnico PSI.CENS.IEAR1.001.00 – RELT.001.00 (2003).
3. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). “Fluxograma de Processo do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1” (s/d).
4. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). “Manual de Operação do Reator IEA-R1- Operação do Sistema de Retratamento de Água do Reator IEA-R1- Proc. Nº 17-OP-024/B” (1989).
5. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). “Manual de Operação, Manutenção e Inspeção do Reator IEA-R1”, Capítulo 2, p. 2.4-7 (s/d).
6. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). “Relatório de Análise de Segurança do Reator IEA-R1”, Volume I, Capítulo 6, p. 6.4-3, rev. 0 (1996).