

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO CIRCUITO TÉRMICO EXPERIMENTAL-150

Maria Eugênia Lago Jacques Sauer
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN
Rua do Matão, Travessa R, nº 400
05508-900, São Paulo, SP

RESUMO

A metodologia de árvore de falhas vem sendo progressivamente utilizada na indústria convencional, na análise de alternativas de projeto, identificação de pontos fracos de sistemas, determinação de alternativas de projeto, determinação de estratégias de testes e manutenção, etc., onde seja necessária a previsão do comportamento operacional do sistema ou instalação. Esta metodologia é usada na Análise de Confiabilidade do Circuito Térmico Experimental-150 do IPEN-CNEN/SP, para a determinação de modos de falha dominantes e avaliação da sua confiabilidade e disponibilidade.

INTRODUÇÃO

A Análise de Confiabilidade Preliminar do Circuito Térmico Experimental-150 (CTE-150) [1], cujo resumo é objeto deste trabalho, identifica os modos de falha mais relevantes para a sua indisponibilidade, fornecendo uma base para o estabelecimento de medidas corretivas prioritárias. Os resultados obtidos visam, ainda, a obtenção de dados iniciais de entrada para o Banco de Dados de Confiabilidade do CTE-150, cuja atualização será realizada a partir do seu histórico operacional. Esta base de dados permitirá a aferição periódica dos níveis de desempenho esperados para os componentes, sistemas, instalação, auxiliando na reelaboração de rotinas de testes, inspeção e manutenção programados.

DESCRIÇÃO DO CIRCUITO TÉRMICO EXPERIMENTAL (CTE-150)

A finalidade principal do Circuito Térmico Experimental (CTE) de 150 atmosferas é simular o funcionamento de uma central nuclear do tipo PWR, para avaliar o comportamento termo-hidráulico do reator, do gerador de vapor e do pressurizador em condições normais de operação e em transientes.

O CTE-150, como ilustra a Figura 1, consiste de três circuitos, sendo um de alta pressão para simular o circuito primário, um de média pressão para simular o secundário e um de baixa pressão para dissipar o calor gerado na instalação. Os circuitos primário e secundário, são acoplados termicamente pelo gerador de vapor e utilizam como fluido de trabalho água desaerada. O calor gerado por seus componentes é removido pelo Sistema de Água de Resfriamento, sendo dissipado para a atmosfera através da Torre de Resfriamento.

A operação do CTE-150 pode ser subdividida nas seguintes etapas: enchimento, aquecimento, partida, operação normal, desligamento e resfriamento.

Neste estudo, observou-se a operação normal em potência da instalação, cuja configuração simplificada é mostrada na Figura 2. Como operação normal do CTE-150 entende-se a simulação do funcionamento de uma planta nuclear, nos diversos níveis de potência estabelecidos para esta condição operacional.

Outros modos de operação do CTE-150 referem-se a ensaios destinados a testar individualmente o comportamento termo-hidráulico do reator (A4), gerador de vapor (S2) e do pressurizador (S3) e avaliar, em condições dinâmicas, a resposta da instalação à ocorrência de transitórios.

Em operação normal, a água desaerada que circula no primário à 138 bar é aquecida de 267° C à 284° C no aquecedor elétrico A4. A água aquecida em A4 passa pelos tubos em "U" da seção de testes do gerador de vapor (S2), onde transfere calor ao fluido de trabalho do circuito secundário, que escoia pela carcaça, produzindo vapor a 41 bar e 252° C.

O fluido primário que sai dos tubos de S2 é sucionado pela bomba centrífuga B1, que opera com uma vazão nominal constante de 125 m³/h,

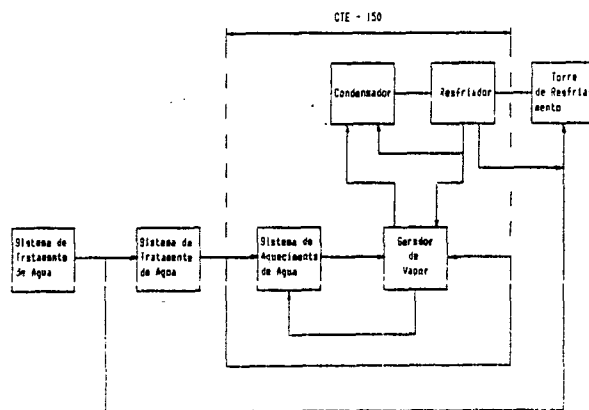


Figura 1 - Esquema do Circuito Térmico Experimental-150

para todas as condições de carga da instalação. Parte da vazão de B1 (100 m³/h) circula por A4 e o restante (25 m³/h) é desviado para a linha de recirculação da bomba.

No circuito secundário, o vapor produzido em S2 pela transferência de calor entre o fluido primário e o secundário é lançado inicialmente no secador de vapor (SV). O vapor que sai de SV é condensado por contato direto no condensador (CD), com água proveniente da bomba de alimentação (B2).

O condensado, na condição de líquido ligeiramente subresfriado, escoia pelo trocador de calor T2, onde rejeita calor para o sistema de água de resfriamento, que opera a 5 bar e 32° C, sendo sucionado pela bomba de alimentação B2. Parte da vazão de B2 (21 m³/h) retorna para o condensador (CD) e o restante (5 m³/h) é enviado para o aquecedor A5, onde a temperatura é ajustada no valor de projeto (177° C), antes de entrar na seção de testes do gerador de vapor (S2).

A redução de carga do circuito dá-se com o aumento da vazão de recirculação de B2 e a diminuição das vazões de água de alimentação da S2 e de água de condensação, por intervenção do Sistema de Controle da planta sobre as válvulas de controle do sistema.

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO CTE-150

Metodologia de Análise e Programa Computacional Utilizados. A análise dos eventos que podem comprometer a operação do CTE-150 foi feita através de um modelo lógico de árvore de falhas [2].

Para a determinação das medidas de desempenho da instalação, utilizou-se o programa computacional RALLY-M [3].

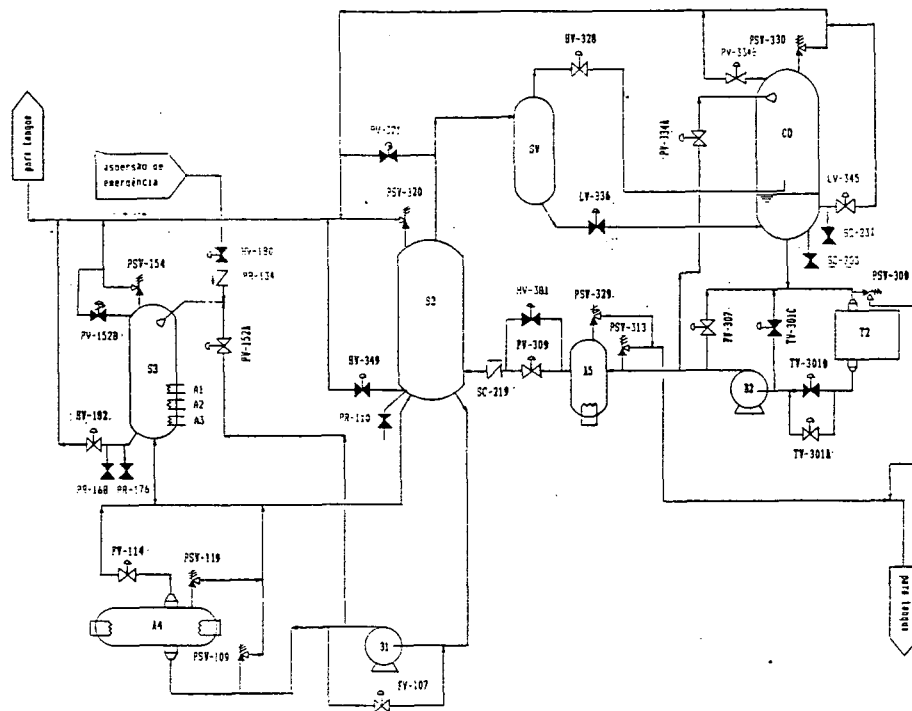


Figura 2 - Fluxograma de Processo Simplificado do CTE-150

Considerações para a Análise. A análise do CTE-150 foi realizada considerando-se o modo de operação normal da instalação, a 100% de carga.

Para que o CTE-150 atinja as condições estabelecidas em projeto para este modo operacional, as etapas de enchimento, aquecimento e partida da instalação devem ter sido realizadas com sucesso.

Na operação normal a 100% de carga, a configuração básica dos circuitos primário e secundário corresponde à da Figura 2. Nesta condição, falhas que resultam em alterações de estado de componentes foram consideradas somente se decorrentes de atuações automáticas.

Assumiu-se que, durante a operação, não ocorrerão erros do operador e nem falhas causadas por erros de manutenção.

As falhas foram consideradas como sendo não-reparáveis e estatisticamente independentes.

Tempo de Observação. O CTE-150 foi observado para um ciclo operacional ininterrupto de 15 dias, que corresponde a 360 horas.

Árvore de Falhas. A árvore de falhas do CTE-150 foi desenvolvida partindo-se do evento indesejável "Falha do CTE-150 durante a operação normal em potência a 100% de carga".

A falha do CTE-150 está caracterizada pela ocorrência de qualquer evento que cause a perda do circuito primário ou do secundário, durante a operação normal em potência.

A perda do primário é definida pela ocorrência de pelo menos um dos seguintes eventos:

- vazamento excessivo (acima da capacidade normal de reposição) do refrigerante,
- perda da vazão de refrigerante,
- despressurização ou sobrepressão, ou ainda
- falha da fonte de calor (aquecedor A4) do circuito.

A perda do secundário é definida pelos eventos:

- vazamento excessivo ou perda da vazão da água de alimentação ou
- falha do resfriador T2, ou ainda
- despressurização ou sobrepressão do circuito.

A árvore de falhas simplificada da instalação é mostrada na Figura 3.

Dados de Falha dos Componentes do CTE-150. As taxas/probabilidades de ocorrência atribuídas aos modos de falha dos

componentes do CTE-150 foram retirados de bases de dados genéricas de aplicação nuclear [4-7]. Embora sejam mais conservativos do que os obtidos na indústria convencional, estes valores serão, posteriormente, ajustados a partir de dados de falha reais da instalação.

Os dados de falha utilizados na quantificação dos eventos primários e as referências consultadas estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de Falha dos Componentes do CTE-150

COMPONENTE	MODO DE FALHA	PROBABIL. DE FALHA (falhas por demanda)		TAXA DE FALHA (falhas por hora)		REF.
		Mediana	Fator de Erro	Mediana	Fator de Erro	
Bomba Centrífuga (inclui o motor)	Falha durante a operação	-	-	3,0 E-03	10	[4]
Válvula de Alívio	Abertura prematura	-	-	4,0 E-06	3	[5]
Válvula de Segurança	Abertura prematura	-	-	3,0 E-06	3	[5]
Válvula Operada a Ar/Fluido	Falha para abrir	1,5 E-03	3	-	-	[4]
	Vazamento externo/Ruptura	-	-	1,0 E-07	10	
Válvula Manual	Vazamento Externo	-	-	1,0 E-07	10	[4]
Válvula de Retenção	Vazamento Externo	-	-	4,0 E-08	10	[6]
Atuador do Tipo Solenóide (normalmente aberto)	Abertura espúria	-	-	3,2 E-08	3	[5]
	Fechamento espúrio	-	-	5,68 E-07	3	
Atuador do Tipo Solenóide (normalmente fechado)	Abertura espúria	-	-	4,0 E-08	3	[5]
	Fechamento espúrio	-	-	7,2 E-07	3	
Tubos do Gerador de Vapor (1 tubo)	Vazamento externo/Ruptura	-	-	1,0 E-06	3	[7]
Aquecedor do Pressurizador	Falha para aquecer (não aquece)	-	-	2,95 E-07	20	[5]
Tubulação do Primário: 1/2" ≤ D < 2"	Vazamento externo/Ruptura	-	-	1,0 E-07	10	[7]
	Vazamento externo/Ruptura	-	-	6,0 E-09	10	
Tubulação do Secundário: 1/2" ≤ D < 2"	Vazamento externo/Ruptura	-	-	4,6 E-07	10	[7]
	Vazamento externo/Ruptura	-	-	1,0 E-08	10	
Aquecedor (geral)	Falha para aquecer	-	-	2,95 E-07	20	[6]
	Sobresaquecimento	-	-	1,90 E-08	20	
Trocador de Calor	Vazamento externo/Ruptura (carcaça)	-	-	1,13 E-06	10	[4]
	Ruptura de Tubos	-	-	1,13 E-09 (por tubo)	10	

CONCLUSÕES

O valor da indisponibilidade média do Circuito Térmico Experimental (CTE)-150 para o evento indesejável "Falha do CTE-150 Durante a Operação Normal em Potência, a 100% de Carga" é $4,1 \times 10^{-2}$, para 360 horas de observação da instalação, o que corresponde a um ciclo operacional de 15 dias. A frequência média de falhas e a não-confiabilidade do CTE-150 neste período são iguais a $8,0 \times 10^{-2}$. Estes dados indicam, respectivamente, que:

- nas 360 horas de operação, o CTE-150 poderá ficar indisponível cerca de 15 horas, em média,
- nas 360 horas de operação, o número médio de falhas esperado para a instalação é aproximadamente igual a 29 e que
- a probabilidade de que a instalação falhe neste período é $8,0 \times 10^{-2}$.

Cerca de 96,1% do valor total obtido para a indisponibilidade média do CTE-150 devem-se aos seguintes eventos:

- falha das bombas do primário (34,5%) e do secundário (34,5%);
- abertura inadvertida das válvulas de segurança do pressurizador (PSV-154) e de alívio/segurança do secundário (PSV-300/313/320/329/330) (11,4%);
- ruptura da carcaça do resfriador do secundário (T2), de tubos do gerador de vapor (S2) e das tubulações da instalação e falha do aquecedor do primário (A4) (7,3%) e
- ruptura das válvulas do primário e do secundário (8,4%).

Os 4,9% restantes são devidos a outras falhas simples e múltiplas.

Estes resultados fornecem uma indicação inicial do desempenho da instalação, nas condições estabelecidas, apontando os componentes que devem ser observados com mais atenção. Por outro lado, convém ressaltar que os dados de falha utilizados na avaliação da árvore de falhas do CTE-150 foram retirados de bases de dados nucleares genéricas. Assim, à medida que forem sendo coletados dados de falha reais dos componentes da instalação, sua análise de confiabilidade será atualizada.

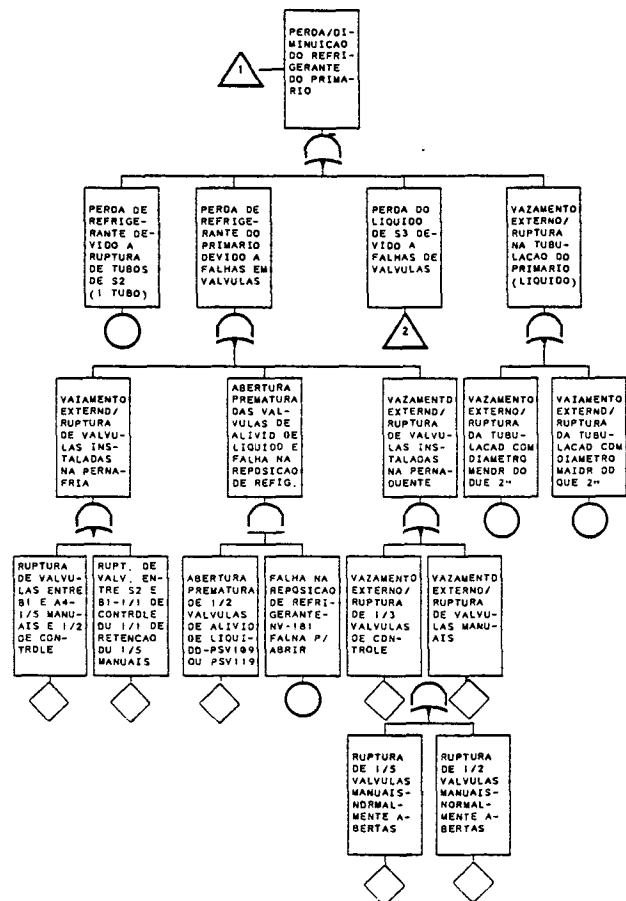
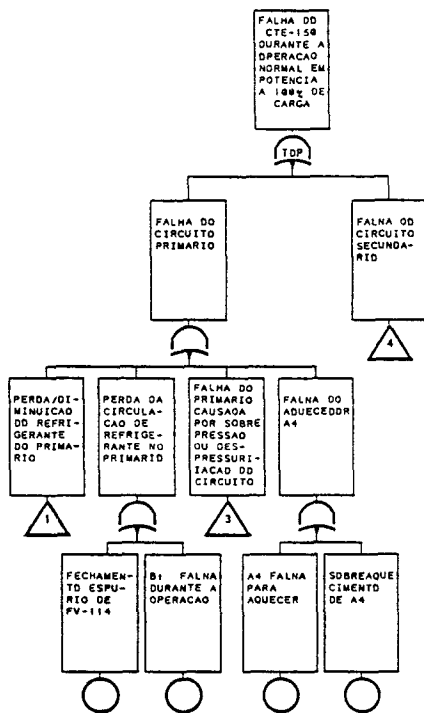


Figura 3 - Árvore de Falhas Simplificada do CTE-150 (continuação)

Figura 3 - Árvore de Falhas Simplificada do CTE-150

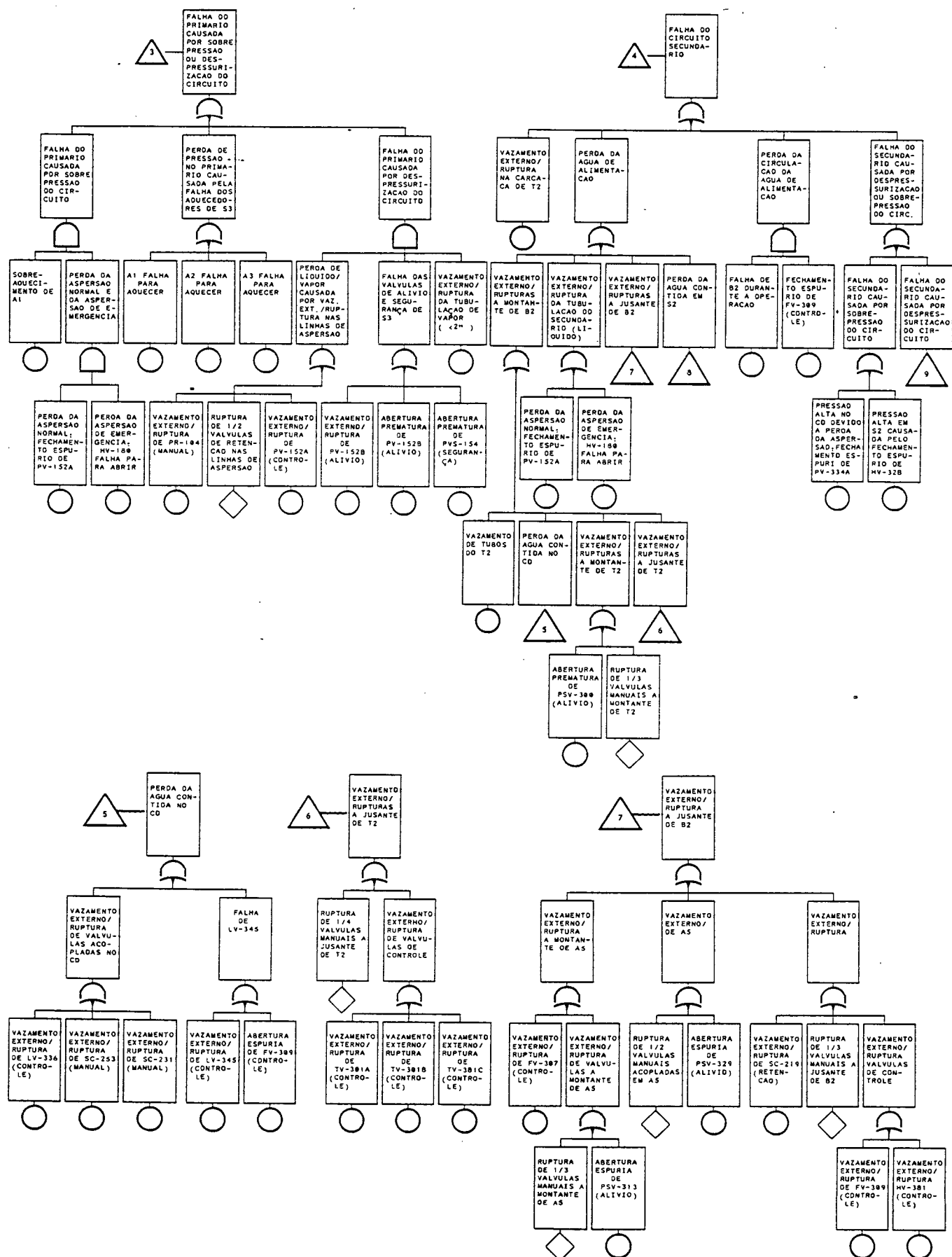
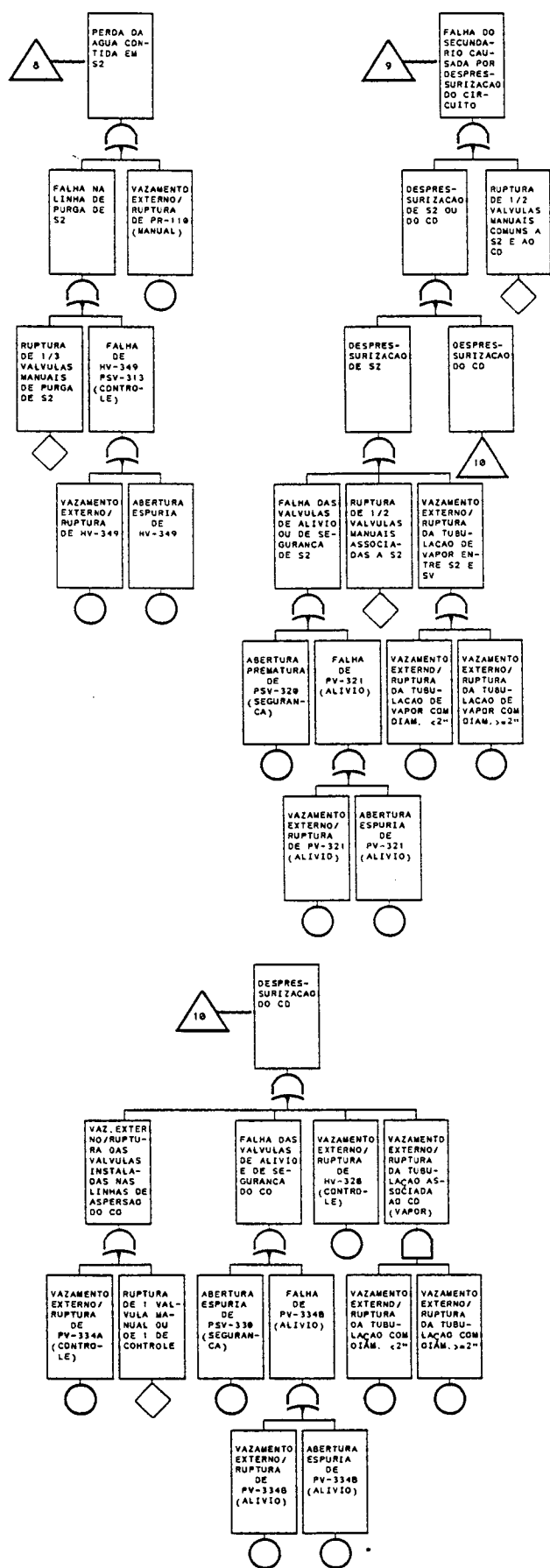


Figura 3 - Árvore de Falhas Simplificada do CTE-150 (continuação)



REFERÊNCIAS

- [1] SAUER, M.E.L.J. Análise de confiabilidade do circuito térmico experimental-150. São Paulo, COPESP, 1992. (RP840130S001)
- [2] D.F. HAASL, et alii. Fault tree handbook, NUREG-0492. Washington, D.C., Nuclear Regulatory Commission, 1981.
- [3] Vieira, A.S., Neto. Rally-M: um sistema computacional para a análise de confiabilidade. Dissertação de Mestrado, São Paulo. IPEN-CNEN/SP, 1988.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Component reliability data for use in probabilistic safety assessment. Vienna, IAEA, 1988. (IAEA-TECDOC-478)
- [5] THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE guide to the collection and presentation of electrical, electronic, sensing component, and mechanical equipment reliability data for nuclear-power generating stations. New York, IEEE, Inc., 1984. (IEEE-Std-1984)
- [6] MILLER C.F.; HUBBLE, W.H. Data summaries of licensee event reports of valves at U.S. commercial nuclear power plants. Idaho Falls, EG and G Idaho, INC., Idaho Falls, 1982. (NUREG/CR-1363)
- [7] PAGETTI, P.S.; JACQUES, M.E.L. Definição das Taxas de falha de componentes mecânicos do RENAP-11: tubulação. São Paulo, COPESP, 1991. (doc. no. RP12-0012-0054)

ABSTRACT

Fault tree methodology is progressively coming into favor to evaluate design alternatives, to identify systems' weak points and to determine tests and maintenance strategies, in conventional industries, when forecasting of plant or system operating performance becomes necessary. This methodology is used to determine dominant failure modes and evaluate reliability and availability of the IPEN-CNEN/SP 150 bar Experimental Thermal Loop.

Figura 3 - Árvore de Falhas Simplificada do CTE-150 (continuação)