

COPPETEC
ET-1876

BR8922487
COPPE/UFRJ

UFRJ - COPPE - GAPS -- 02 / 83

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA
DE REFRIGERAÇÃO E RECIRCULAÇÃO DO AR
DA CONTENÇÃO DE ANGRA I: UMA REAVALIAÇÃO

Grupo de Análise Probabilística de Segurança

(GAPS - 02/83)

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA
DE REFRIGERAÇÃO E RECIRCULAÇÃO DO AR
DA CONTENÇÃO DE ANGRA I: UMA REAVALIAÇÃO

GRUPO DE ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE SEGURANÇA

(GAPS - 02/83)

Projeto : Métodos Probabilísticos Aplicados à Segurança de Centrais Nucleares

Interessado : CNEN

Supervisor na CNEN : Luiz Alberto Ilha Arrieta

Pesquisadores : Luiz Fernando Seixas de Oliveira (Coordenador)
Paulo Victor Fleming
Paulo Fernando F. Frutuoso e Melo
Lauris Cristina Tayt-Sohn

JANEIRO/1983

I N D I C E

SUMÁRIO	I
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	IV
I. INTRODUÇÃO	01
II. FUNÇÕES DO SISTEMA	04
III. DESCRIÇÃO DO SISTEMA	05
IV. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	05
V. OPERAÇÃO DO SISTEMA	13
VI. TESTE E MANUTENÇÃO	17
VII. CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DAS ÁRVORES DE FALHAS	17
VII.1 - Avaliação da Não-Confabilidade do SRRAC com Potência Elétrica Disponível nos Dois Barramentos	18
VII.2 - Avaliação da Não-Confabilidade do SRRAC com Potência Elétrica Disponível em apenas um dos Barramentos	32
VIII. CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	

SUMÁRIO

O sistema de refrigeração e recirculação do ar da contenção consiste de quatro unidades de refrigeração, localizadas no prédio da contenção, sendo usadas após um LOCA para remover calor, desta forma controlando a pressão, e filtrar o ar da contenção, retirando partículas radioativas. Durante operação normal, três destas unidades são necessárias para manter a temperatura da contenção entre 65°F e 120°F. Após um LOCA, o sinal de injeção de segurança (Sinal "S") reduz automaticamente a velocidade das três unidades em funcionamento, para um valor igual à metade da velocidade de operação normal (isto também pode ser feito manualmente).

Uma operação em acidente tem sucesso se pelo menos duas das quatro unidades operam em baixa rotação por quanto tempo for necessário para resfriar a atmosfera da contenção removendo partículas radioativas.

O sistema possui interfaces com o sistema elétrico, dependendo deste para o funcionamento dos motores dos ventiladores e com o sistema de resfriamento de componentes, cuja função é a de trocar calor com o ar da contenção nas serpentinas, resfriando também os motores dos ventiladores.

A análise do SRRAC foi feita para uma futura utilização na avaliação das probabilidades de ocorrência das sequências de acidente⁽⁸⁾.

O sistema foi analisado para um período de funcionamento após acidente de 24 horas, sendo que na análise foram incluídas tanto falhas por demanda, como falhas temporais. Todas as falhas foram consideradas não-reparáveis sendo esta hipótese bastante razoável como explicaremos mais adiante.

Os resultados da análise probabilística do sistema estão sumarizados na Tabela 10 (seção VIII) a seguir e mostra que, dado que existe potência elétrica a não-disponibilidade mediana é de $3,62 \times 10^{-6}$. Se um dos dois barramentos (4A1 ou 3A1) está indisponível, a não-disponibilidade do sistema cresce. O valor obtido para a não-disponibilidade do sistema devido a perda do barramento MCC-3A1 é ligeiramente superior ao valor obtido quando o sistema perde o barramentos MCC-4A1. Isto se deve ao fato de uma das unidades (unidade D) estar em prontidão anteriormente ao acidente.

LISTA DE FIGURAS

FIG.1 - Esquema Simplificado do Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção	06
FIG.2 - Diagrama de Fluxo do SRS e SAS Fig. 9.2.1 da Ref. 2	08
FIG.3 - Árvore de Falhas para o Sistema de Refrigeração do Ar da Contenção	19
FIG.4 - Árvore de Falhas do SRRAC assumindo a Perda do Barramento MCC - 3 A 1	33
FIG.5 - Árvore de Falhas do SRRAC assumindo a Perda do Barramento MCC - 4 A 1	37

LISTA DE TABELAS

TAB.1 - Dados de Operação das Serpentinhas	10
TAB.2 - Especificações Técnicas das Serpentinhas	11
TAB.3 - Especificações Técnicas dos Ventiladores	11
TAB.4 - Dados de Operação dos Ventiladores	12
TAB.5 - Especificações Técnicas dos Motores	12
TAB.6 - Dados de Operação dos Motores	12
TAB.7 - Dados de Falha Utilizados no Cálculo da Não-Confia- bilidade do SRRAC	31
TAB.8 - Valores da Não-Confabilidade (T=24H) do SRRAC as- sumindo Potência Elétrica Disponível nos dois Bar- ramentos Alimentadores	30
TAB.9 - Valores da Não-Confabilidade do SRRAC assumindo a Perda de um dos Barramentos Alimentadores	41
TAB.10 - Resultados Alcançados na Análise do Sistema de Res- friamento da Contenção	42

I. INTRODUÇÃO

Esta reavaliação foi feita, devido ao fato de termos empregado, na primeira avaliação da não-confiabilidade do Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção, valores para a não-confiabilidade do Sistema de Resfriamento de Componentes muito superiores aos atuais (antigo-da ordem de 10^{-4} para a falha do sistema, atual-da ordem de 10^{-8}).

Os primeiros valores da não-disponibilidade do SRC e de seus trens, utilizados na análise do SRRAC, foram obtidos de uma análise preliminar, dada a necessidade que tínhamos naquela época de avaliar a não-disponibilidade do SRRAC com base em valores específicos do SRC para a unidade de Angra-1.

Obtidos os valores para o SRC e avaliadas as não-disponibilidades dos sistemas refrigerados por ele, concordamos que estes valores estavam muito altos para um sistema, do qual dependem vários outros sistemas de segurança, que não funcionariam por um período superior a 30 min sem refrigeração adequada.

Buscamos então na análise do SRC qual teria sido a contribuição (ou contribuições) que acarretou estes altos valores para a não-confiabilidade do sistema e descobrimos que deveriam ser feitas algumas modificações na modelagem empregada para a quantificação da não-confiabilidade deste (modificações estas que surgiram através de várias reanálises devido à complexidade do sistema), além de que a taxa de falha (mediana) utilizada na análise para o fechamento inadvertido de uma válvula operada a motor, e este foi o fator mais importante na modificação dos valores para a não-disponibilidade, tinha sido relativamente alta, 1.0×10^{-4} /hr, valor este retirada do WASH-1400⁽⁵⁾, tendo sido empregado na análise do Sistema de Spray da Contenção para a demanda (fase de injeção).

Após um estudo minucioso das taxas de falha utilizadas em todos os sistemas analisados pelo WASH-1400 chegamos a conclusão que o melhor valor para este modo de falha é dado pela Tabela III.4.1 do Apêndice III da Ref.(5) como sendo uma ta-

xa de falha de "stand-by" - λ_s - para válvulas operadas a motor com mediana 3.0×10^{-7} /hr e fator de erro 3.0.

Como o valor da não-confiabilidade do SRC empregado na presente análise é calculado para um período de 24 horas posteriores à demanda, este modo de falha torna-se dominante, tanto na análise do Sistema de Água de Serviço-SAS, que influencia diretamente o valor obtido para a não-confiabilidade do SRC, como para o próprio SRC. Logo, explica-se o porquê de um aumento tão grande na confiabilidade do SRC e de todos os sistemas resfriados por ele, como é o caso do SRRAC, em relação ao valor obtido anteriormente.

II. FUNÇÕES DO SISTEMA

A função do sistema e seus objetivos são:

a) Durante a operação normal:

Manter as condições ambientais apropriadas para a operação dos equipamentos na contenção.

b) Durante o desligamento do reator:

- Para permitir a entrada de pessoal na contenção sob condições normais de operação, dentro de um tempo relativamente curto, após o desligamento do reator

- Para manter condições ambientais apropriadas e prover ventilação adequada na contenção

c) Durante perda de potência externa:

Pelo menos 50% do sistema é operável já que, duas unidades de refrigeração podem ser manualmente ligadas aos geradores diesel de emergência

d) Após um LOCA

As unidades de refrigeração removem calor suficiente para assegurar que a pressão na contenção não exceda a pressão de projeto. O sistema também provê circulação do ar da atmosfera da contenção para facilitar a remoção de calor e mistura do ar da contenção

Nota: - O sistema possui redundância suficiente em equipamento e suprimento de potência para sustentar uma falha simples sem perda de função.

III. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema consiste de quatro unidades de resfriamento (A,B,C,D), uma descarga comum (plenum), dutos de distribuição de ar, instrumentação e controle.

Cada unidade de refrigeração consiste de um ventilador (VA - 2A, VA - 2B, VA - 2C e VA - 2D), uma serpentina, um motor refrigerado a água (VA - 5A, VA - 5B, VA - 5C e VA - 5D) um "damper" (abafador) e o alojamento da unidade.

A capacidade de cada unidade é de $90.000 \text{lt}^3/\text{min}$ para a operação normal e $45.000 \text{lt}^3/\text{min}$ para operação após acidente.

O meio trocador de calor é a água do sistema de resfriamento de componentes que circula dentro das serpentinas de refrigeração.

O ar resfriado é distribuído através de dutos de ar, não sendo necessária a tubulação de retorno já que o ar quente sobe através das várias aberturas do chão e retorna para o lado da sucção das unidades de refrigeração e ventilação.

A figura (1) mostra diagrama simplificado do sistema.

IV. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES

a) Serpentinhas de Refrigeração

As serpentinas de refrigeração são projetadas para remover a quantidade de calor que entra na atmosfera da contenção durante operação normal ou após um LOCA.

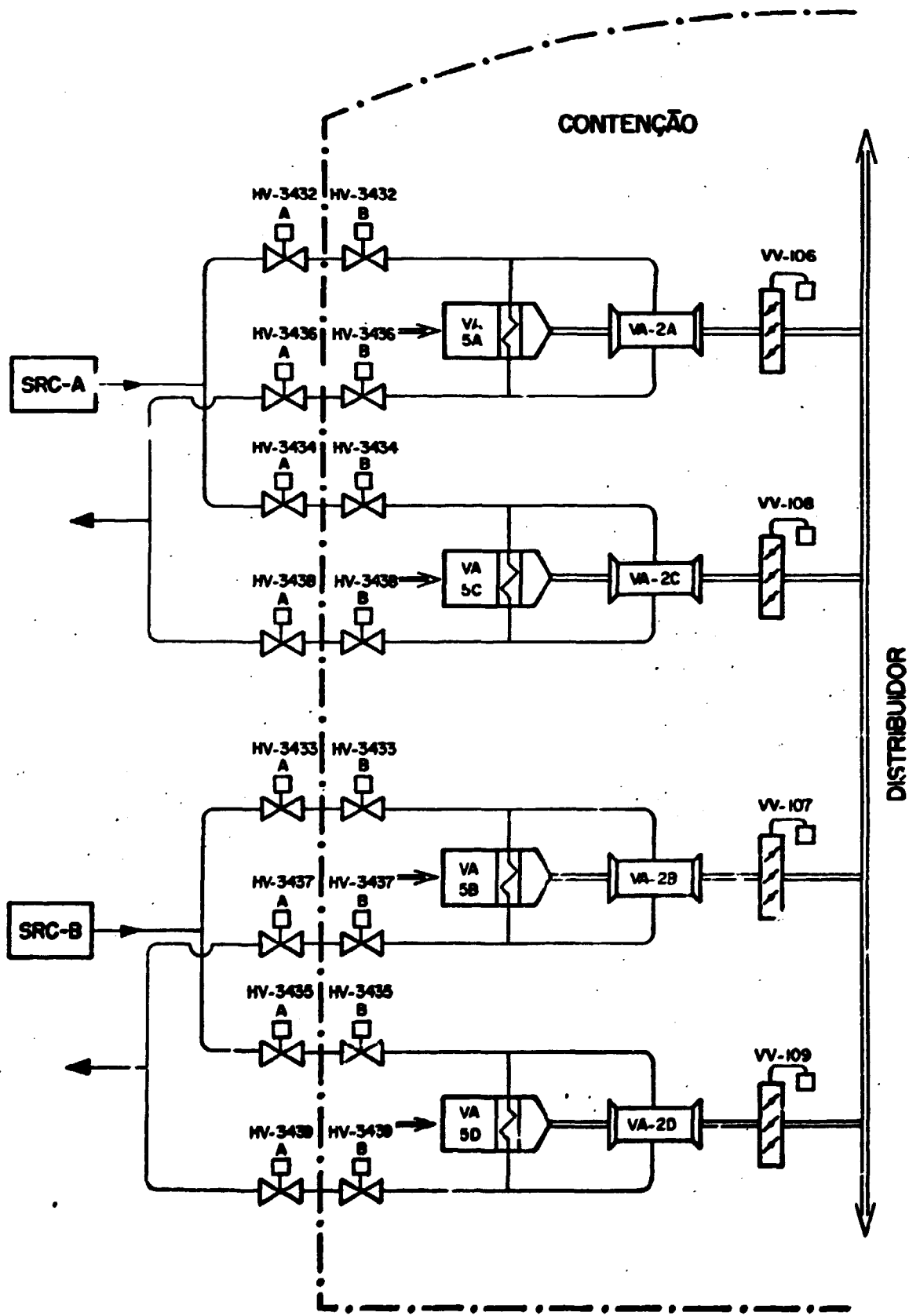


Figura 1 : Esquema Simplificado do Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.

Durante operação normal, o modo principal de remoção de calor é o resfriamento sensível, e durante operação pós-acidente, o modo principal é a condensação.

As serpentinas são trocadoras de calor do tipo ar-água. Cada serpentina consiste de tubos e dissipadores de cobre e tubulações distribuidoras com entradas de ar e drenos.

Cada unidade contém seis serpentinas em três blocos. O fluxo de ar é feito através das serpentinas para o "pleum" e daí para a sucção dos ventiladores.

Cada banco de serpentinas é suportado por uma estrutura, que coleta e drena a água condensado, de tal maneira que a água condensada por uma serpentina do bloco superior, não cai sobre a superfície ativa da serpentina do bloco inferior.

A água de refrigeração das serpentinas é fornecida pelo Sistema de Resfriamento de Componentes (SRC) como pode ser visto na fig.(2). Dados de operação e especificações técnicas podem ser encontrados nas tabelas 1 e 2.

b) Motor-Ventilador

Um motor de duas velocidades e enrolamento simples é usado para movimentar um ventilador axial. O ventilador opera em velocidade alta durante operação normal e a baixa velocidade durante operação pós-acidente.

Os motores são totalmente fechados com trocador de calor tipo ar-água. A fonte de refrigeração do motor é a mesma das serpentinas (SRC). A quantidade máxima de água requerida para a refrigeração de cada motor é de 50 gpm.

O alojamento do ventilador possui um sino de admissão para otimizar a entrada do fluxo de ar.

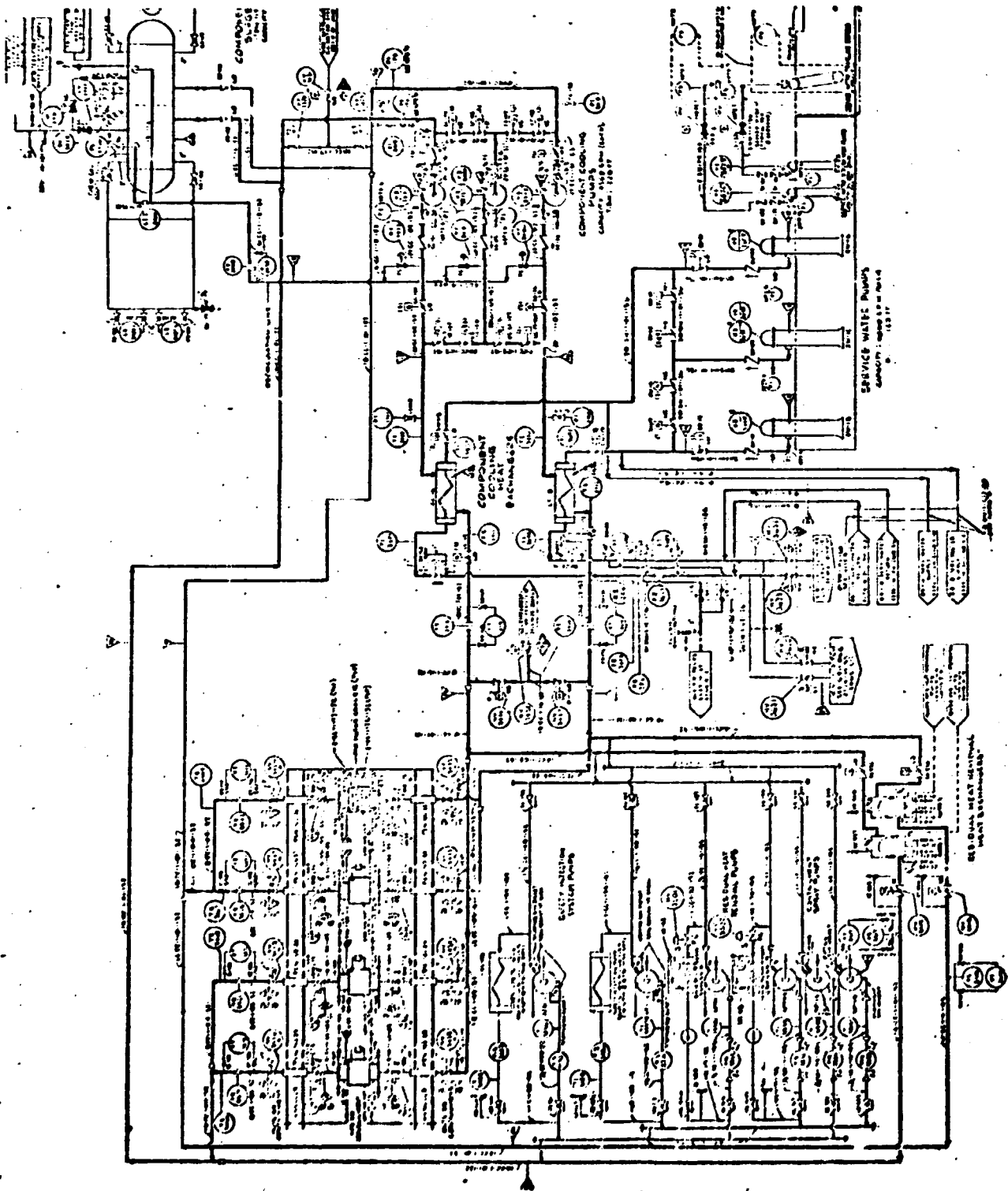


FIG. 2 - Diagrama de Fluxo do SRC e SAS (Fig. 9.2-1 da Ref. 2)

As especificações técnicas e os dados de operação dos ventiladores encontram-se nas Tabelas 3 e 4 respectivamente. As especificações técnicas e os dados de operações dos motores encontram-se nas tabelas 5 e 6 respectivamente.

c) Válvulas

As válvulas de controle de admissão de água de refrigeração de componentes para as serpentinas são ao todo 16, quatro para cada ventilador.

Assim para o ventilador:

VA-2A	{ HV - 3432 A HV - 3432 B HV - 3436 A HV - 3436 B	VA-2B	{ HV - 3433 A HV - 3433 B HV - 3437 A HV - 3437 B
VA-2C	{ HV - 3434 A HV - 3434 B HV - 3438 A HV - 3438 B	VA-2D	{ HV - 3435 A HV - 3435 B HV - 3439 A HV - 3439 B

As válvulas que terminam em A encontram-se fora da contenção e as que terminam em B estão dentro da contenção.

Características de funcionamento:

- Abrem com sinal T (fase A do Isolamento da contenção) caso estejam fechadas .
- O comando destas válvulas é feito através do Painel do Turbo-Gerador através de uma chave de três posições (uma para cada válvula) com retorno automático para a posição central(AUTO).

- Em caso de baixo fluxo de água de refrigeração, sentido pelo transmissor de fluxo existente na saída da água de resfriamento de componentes das serpentinas, após a válvula controladora de fluxo, as válvulas recebem um comando de fechamento, caso estejam abertas mesmo que simultaneamente ocorra um sinal T.

Maiores detalhes sobre o funcionamento destas válvulas podem ser encontrados na referência (1).

d) Dutos de distribuição de ar.

O sistema de distribuição de dutos para recirculação e resfriamento do ar da contenção, é projetado para proporcionar uma boa mistura do ar da contenção e para assegurar que o ar resfriado recirculado supra todas as áreas dentro da contenção. Durante a operação pós-acidente, o sistema promove a remoção de calor da contenção e previne o acúmulo de hidrogênio e produtos de fissão.

Não há necessidade de tubulação de retorno já que o ar quente sobe através das várias aberturas no chão e retorna para o lado da sucção das unidades de refrigeração e ventilação.

Maiores detalhes sobre a descrição do sistema e seu funcionamento podem ser encontrados na referências (2) e (3).

Tabela 1 - Dados de Operação das Serpentinhas.

	Operação Normal	Operação em Acidente
Fluxo de Água de Refrigeração	700gpm	1200gpm
Temp. de entrada da Água de Refrigeração	95°F	125°F
Capacidade de Remoção de Calor	1.87×10^6 BTU/HR	50.0×10^6 BTU/HR

Tabela 2 - Especificações Técnicas das Serpentinhas

Modelo	Westinghouse Sturtevant WC - 3396 - 8H
Quantidade	3 bancos
Tipo	Placas Dissipadoras
Material do Tubo	Cobre
Material do Dissipador	Cobre
Espessura do Tubo	0,035
Diâmetro externo	5/8"
Espessura do Dissipador	0,008
Código	ASME - SEÇÃO III
Classe de Segurança ANS	26

Tabela 3 - Especificações Técnicas dos Ventiladores.

4 Ventiladores Westinghouse R C F C Sturtevant (1054 Axiflex tipo VANE-Axial) Pás em aço fundido Centro de eixo em aço Barril reforçado Eixo suportado em mancais colantes Acoplamento flexível com motor
--

Tabela 4 - Dados de Operação dos Ventiladores

	Operação Normal	Operação em Acidente
Vazão de Ar (ft ³ /min)	50.000	45.000
Pressão Estática (inwg)	6,5	1,63
Temperatura (°F) na saída	120	272

Tabela 5 - Especificações Técnicas dos Motores

4 Motores de 480V
60 HZ
Enrolamento simples
Trifásicos
Refrigerados a água

Tabela 6 - Dados de Operação dos Motores

	Operação Normal	Operação em Acidente
Velocidade (rpm)	1760 (FAST)	800 (SLOW)
Potência (HP)	135	67,5
Temp. da Água de Ref. (°F)	95	125
Vazão Volumétrica de Água de Ref. (gpm)	50	50

V. OPERAÇÃO DO SISTEMA

O acidente básico de projeto (ABP) leva em consideração uma ruptura no circuito primário de refrigeração do reator. O resultado de um ABP é a liberação de refrigerante a alta-pressão e alta-temperatura que se transforma em vapor rapidamente.

O sistema de ventilação é projetado para condensar e refriar a mistura saturada vapor-ar que tende a pressurizar a contenção.

A operação do sistema evita que a pressão exceda a pressão do projeto e reduz seu valor, dentro de um tempo razoável, para o nível atmosférico aproximadamente.

a) Operação normal

Durante operação normal, 3 unidades quaisquer são suficientes para remover o calor liberado para a atmosfera da contenção e para manter a temperatura abaixo de 120°F.

O sistema é baseado em uma total recirculação de ar de 270.000 ft³/min, sendo que cada uma das quatro unidades tem capacidade de 90.000 ft³/min.

O suprimento de água de refrigeração de componentes para a unidade em "standby" é bloqueado, fechando-se a respectiva válvula de isolamento fora da contenção.

A sala de controle é provida de monitoração da temperatura do ar da descarga de cada unidade de modo a monitorar a eficiência e a operação correta das serpentinas.

b) Operação em emergência

Durante a operação em acidente, são necessários apenas duas das quatro unidades para assegurar que a pressão

não exceda os limites de projeto, proporcionando também a re circulação da atmosfera da contenção assegurando a remoção de calor e mistura do ar.

No evento de um ABP as quatro unidades são colocadas no modo de operação pós-acidente (baixa rotação dos ven tiladores) por atuação do sinal de injeção de segurança ou ma nualmente da sala de controle. Cabe ao operador desligar dois ventiladores, já que apenas dois são necessários.

Os dutos de ar e os alojamentos dos ventilado res são equipados com registros de alívio para equalizar o di ferencial de pressão após um LOCA. Os registros de alívio ("dampers") são projetados para equalizar uma diferença de pres são maior que 2psi em qualquer um dos lados.

Monitores de temperatura e vazão de água de res friamento, localizados fora da contenção, com leitura na sala de controle, definem o desempenho da troca de calor do sistema.

Em caso de um LOCA, os ventiladores entram em ação em 35 seg.

A mudança de velocidade dos motores (1800rpm para 900rpm) quando se passa de condições normais para condições de acidente é necessária para compensar o aumento de esforço dos ventiladores, quando estes bombeiam a atmosfera saturada da contenção após um acidente.

As unidades A e C, assim como B e D, estão in terligadas de modo que uma é automaticamente acionada quando a outra falha.

c) Desligamento do Sistema

Durante o desligamento do sistema os 3 ventila dores em operação podem ser desligados da sala de controle atra vés de suas respectivas chaves localizadas no painel principal

de controle. Contudo três ventiladores devem sempre estar em operação.

d) Operação Especial

No evento da sala de controle precisar ser evacuada, o controle dos ventiladores pode ser transferido para os painéis de emergência localizados no Edifício Auxiliar. A velocidade dos ventiladores pode também ser controlada desses painéis.

VI. TESTE E MANUTENÇÃO DO SISTEMA

Cada unidade de resfriamento e recirculação do ar da contenção é testada uma vez por mês, sem que o fluxo de água de refrigeração dos componentes seja desviado do seu percurso normal.

O teste é feito em um ventilador de cada vez, sendo que cada um deverá operar pelo menos 15 minutos em baixa rotação, excessão feita ao ventilador de prontidão que deverá funcionar também em 15 minutos em alta rotação.

O teste tem como objetivo garantir que os quatro ventiladores estão operáveis nas duas rotações, a referência (4) tem maiores detalhes sobre o procedimento de teste do sistema.

Após o teste e respectiva manutenção, se for o caso, um rodízio é feito na unidade que fica em prontidão. Desse modo, a cada mês teremos uma unidade diferente em prontidão.

Devido ao fato das unidades serem testadas no modo de acidente e sem desvio de fluxo, o sistema está sempre disponível em caso de acidente, assim sendo a contribuição para a não-disponibilidade do sistema devido a teste é desprezível.

barramento indisponível, após o início do acidente.

VII.1 - Avaliação da Não Confiabilidade do SRRAC
com Potência Elétrica Disponível nos Dois
Barramentos.

A partir do estudo minucioso da operação e do funcionamento do SRRAC em condições de acidente, construímos a árvore de falhas mostrada na Fig. 3, a qual inclui tanto falhas no instante da demanda (falhas por demanda) como falhas que ocorrem ao longo do tempo de funcionamento do sistema (falhas temporais). Todas as falhas foram consideradas não-reparáveis, o que é uma hipótese bastante realista para os componentes localizados no interior da contenção, tais como os componentes do SRRAC propriamente dito, em vista do alto nível de radioatividade presente na atmosfera da contenção em caso de acidente. Por outro lado, a hipótese de não-reparabilidade é bastante conservativa para os componentes situados fora da contenção (tais como aqueles relacionados com o sistema de Resfriamento de Componentes) sendo que o grau de conservatismo aumenta significativamente com o tempo de funcionamento considerado na análise do sistema. No presente trabalho, os resultados quantitativos foram obtidos para um período de funcionamento de 24 horas, não sendo, portanto, muito afetados pela hipótese de não-reparabilidade. Os valores obtidos representam as probabilidades de não-funcionamento contínuo de pelo menos duas unidades de resfriamento durante 24 horas após o início do acidente, incluindo a possibilidade de falha no tempo $t=0$, ou seja, na demanda.

Na elaboração da árvore mostrada na Fig. 3, fizemos ainda as seguintes considerações:

- 1) A unidade D é a que está em prontidão anteriormente ao acidente; esta unidade, como as demais, recebe o sinal S para partida no instante do acidente;

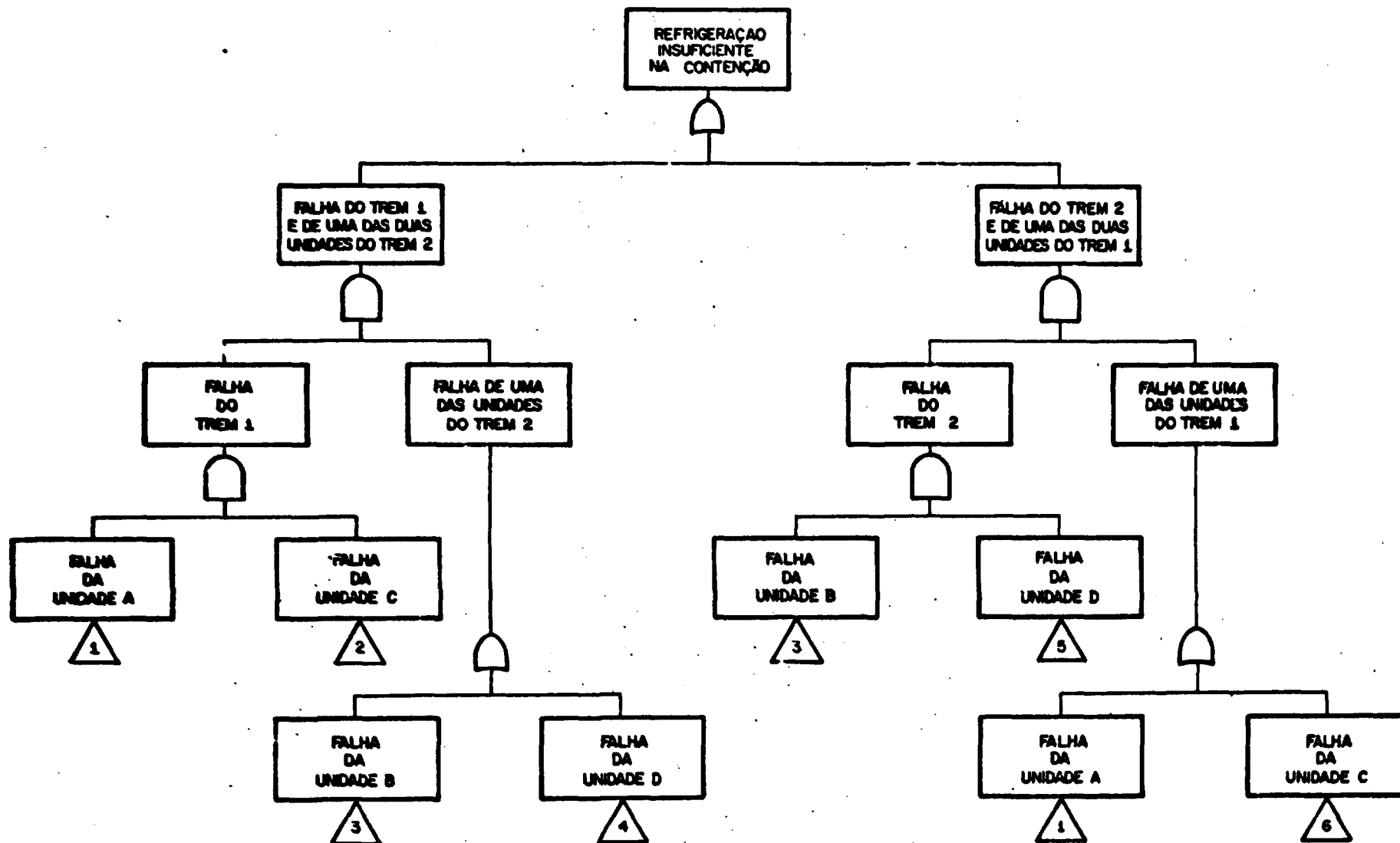
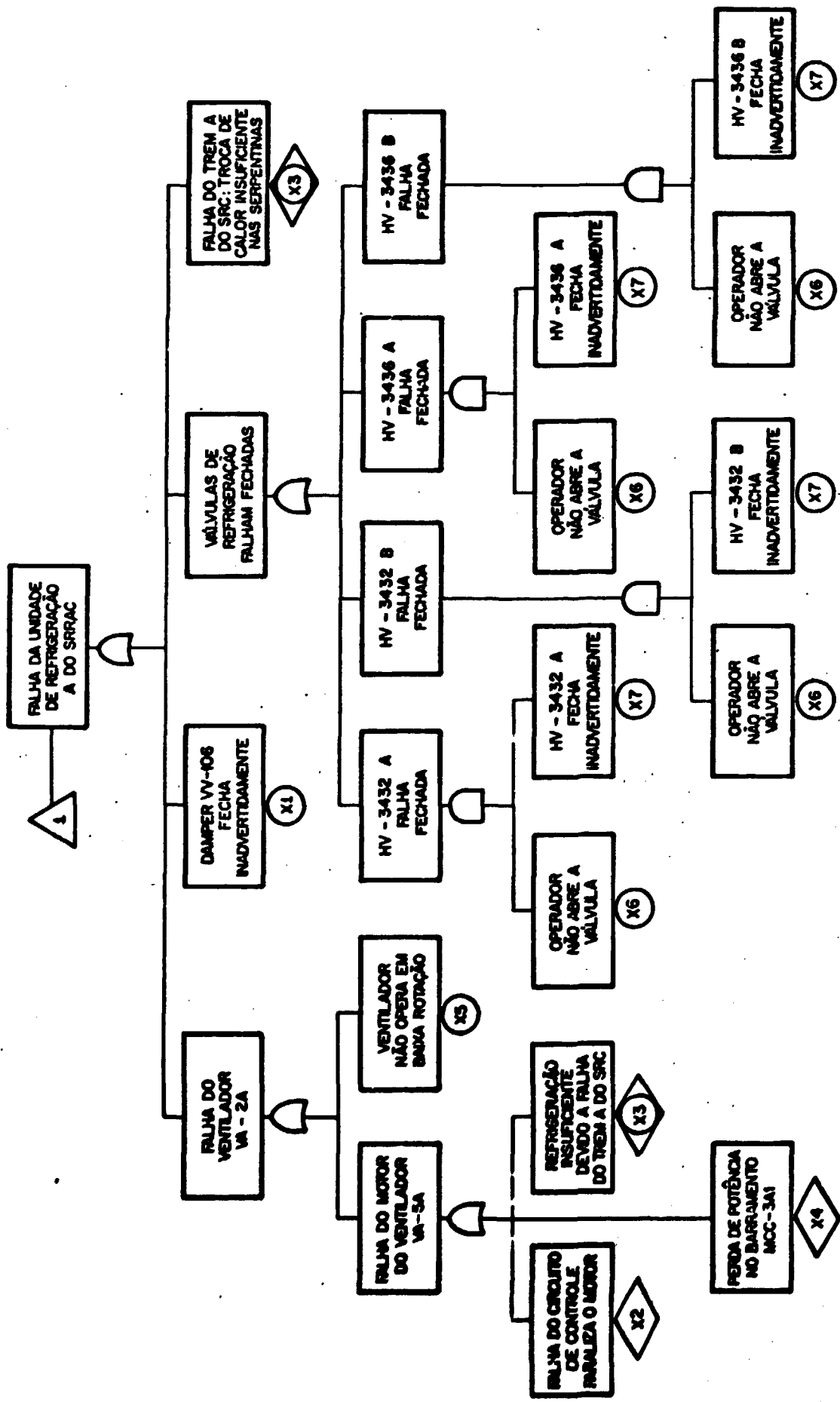
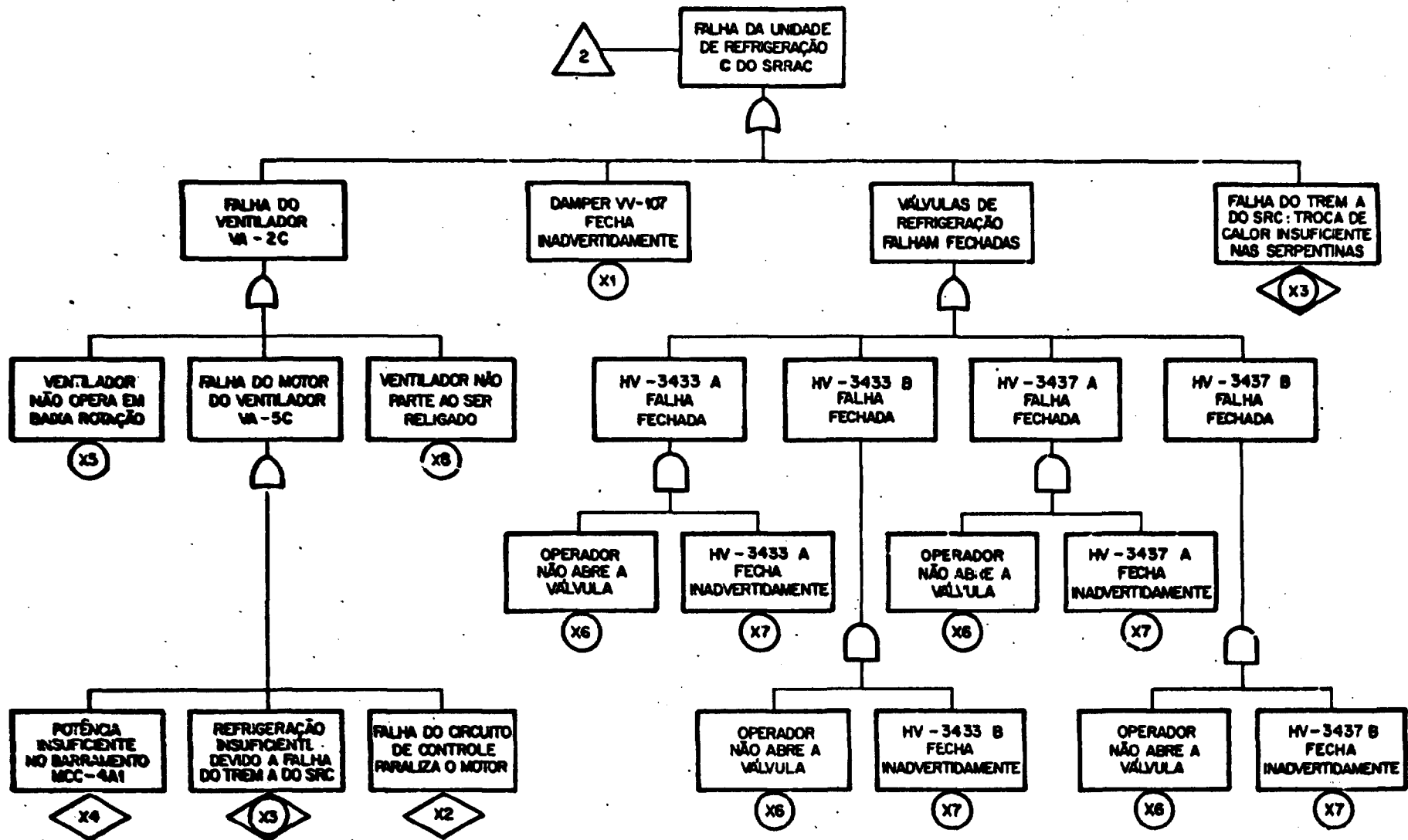


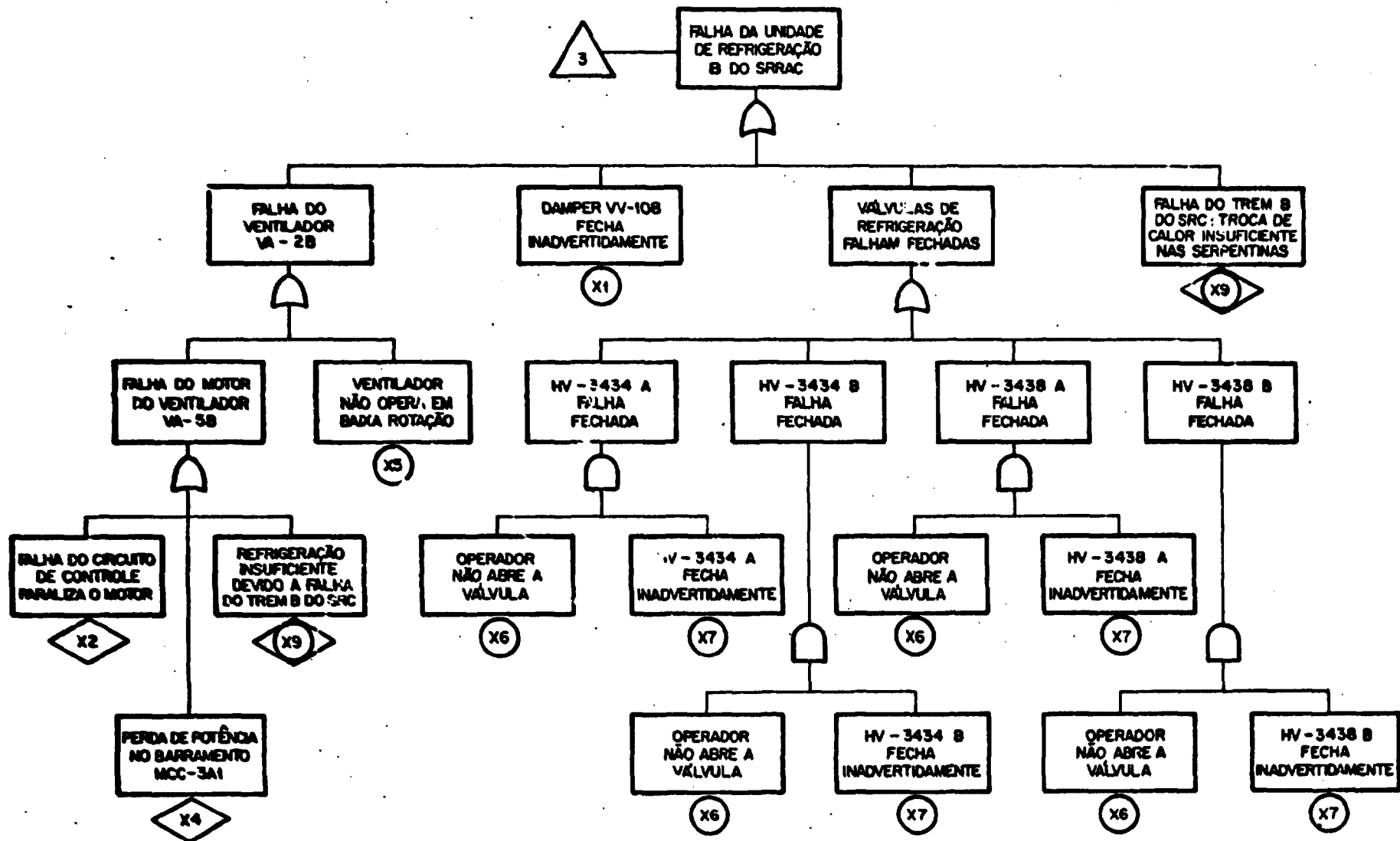
Figura 3 : Árvore de Falhas Para o Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.



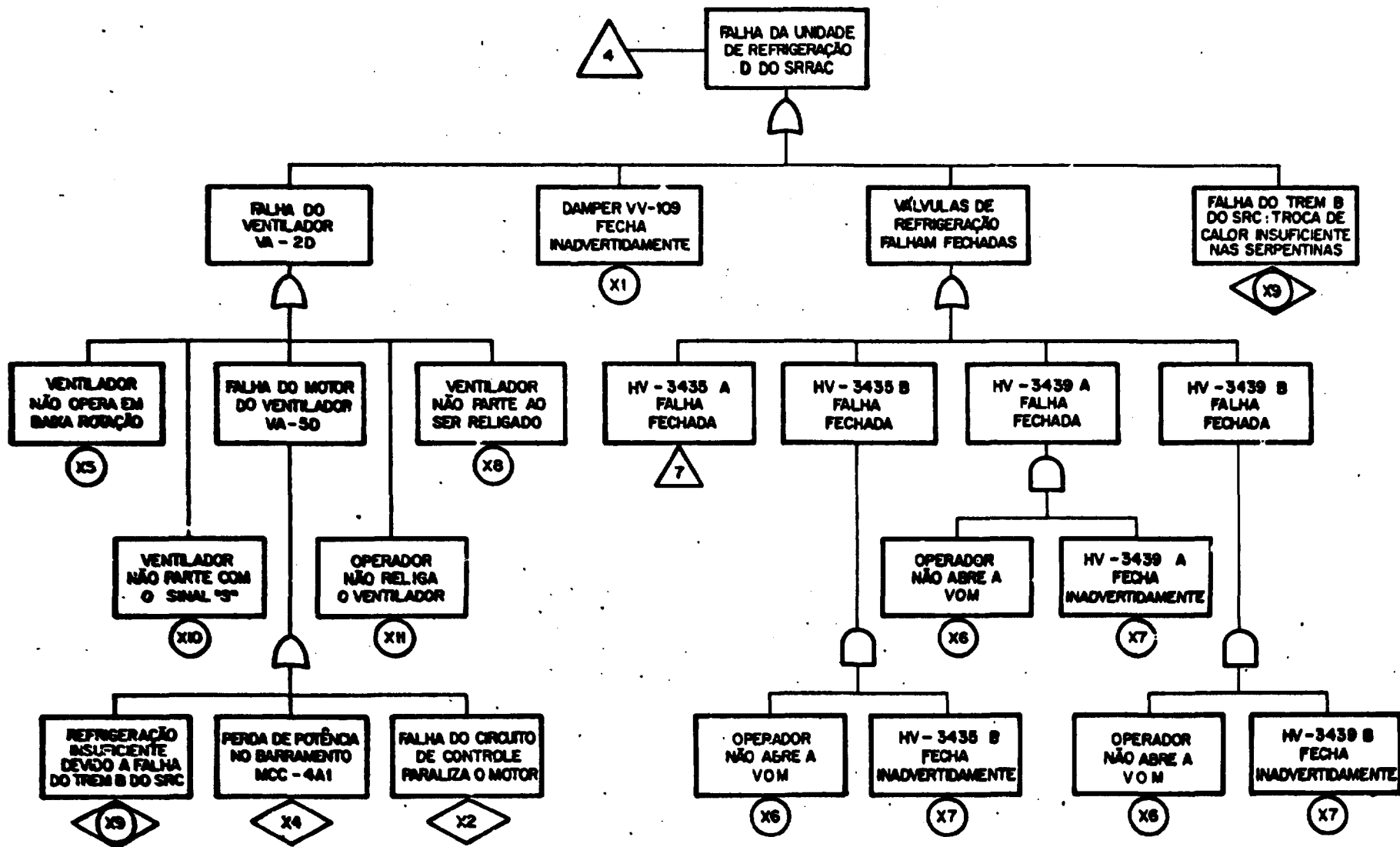
Cont. Figura 3 : Árvore de Falhas Para o Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.



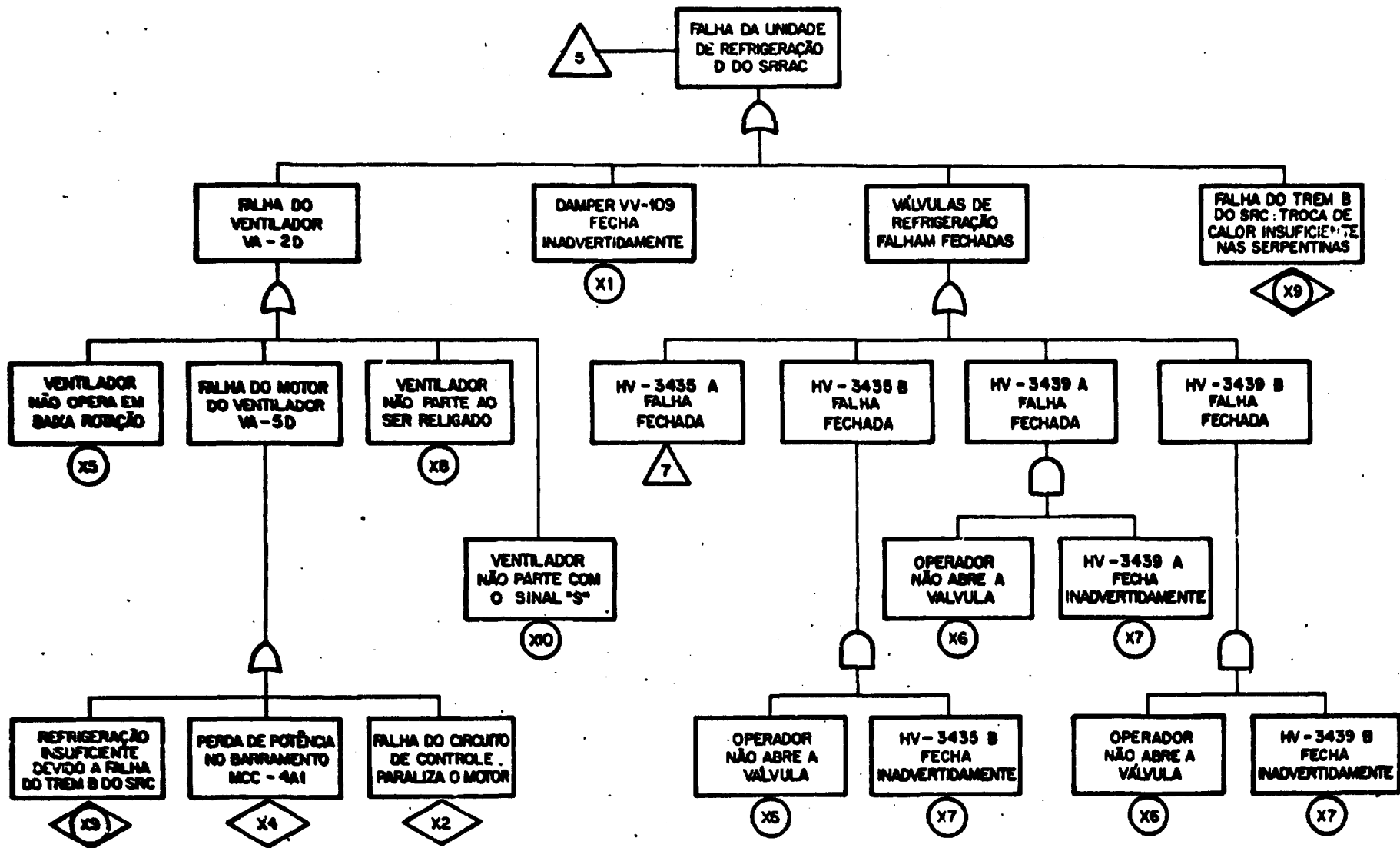
Cont. Figura 3 : Árvore de Falhas Para o Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.



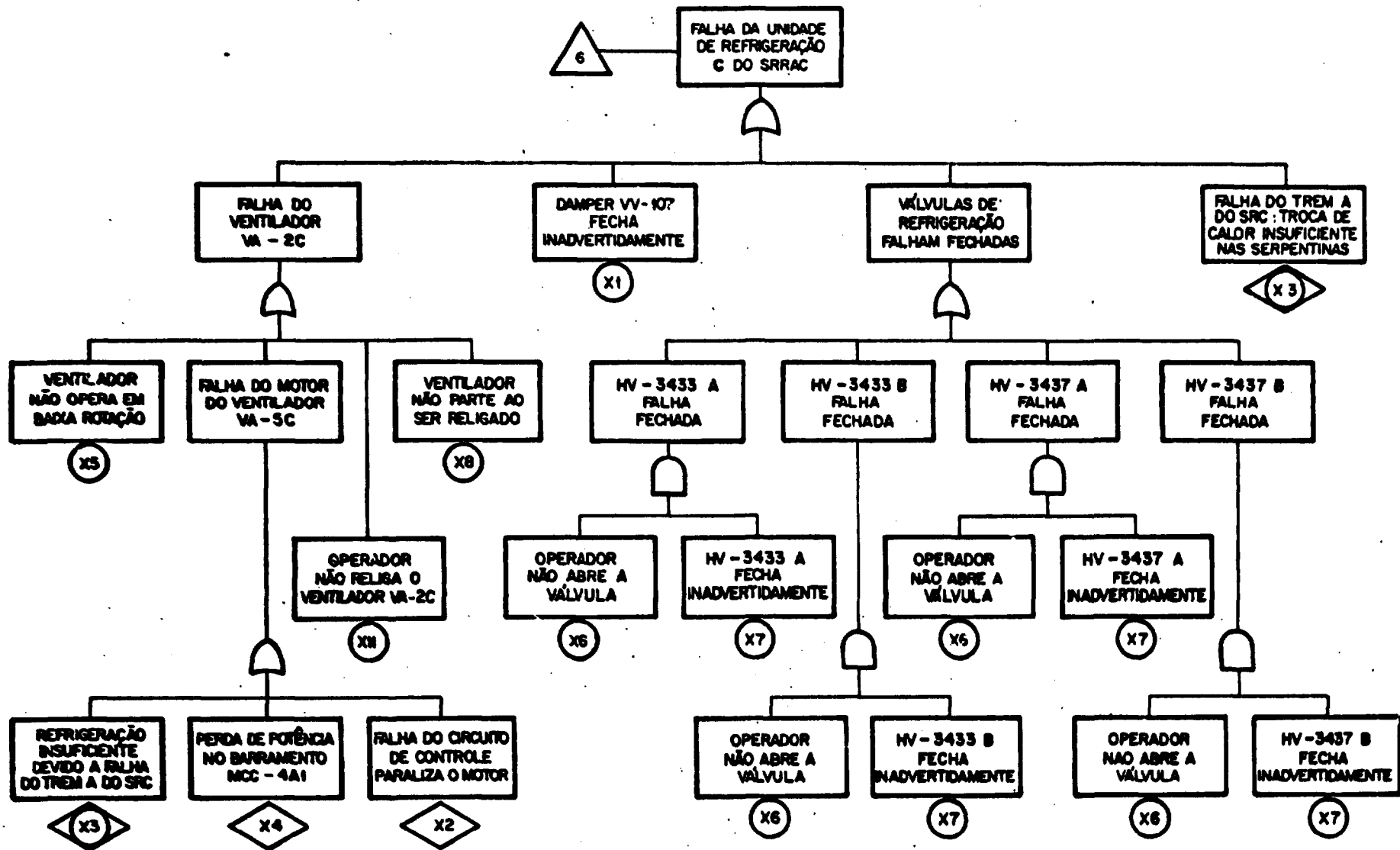
Cont. Figura 3 : Árvore de Falhas Para o Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.



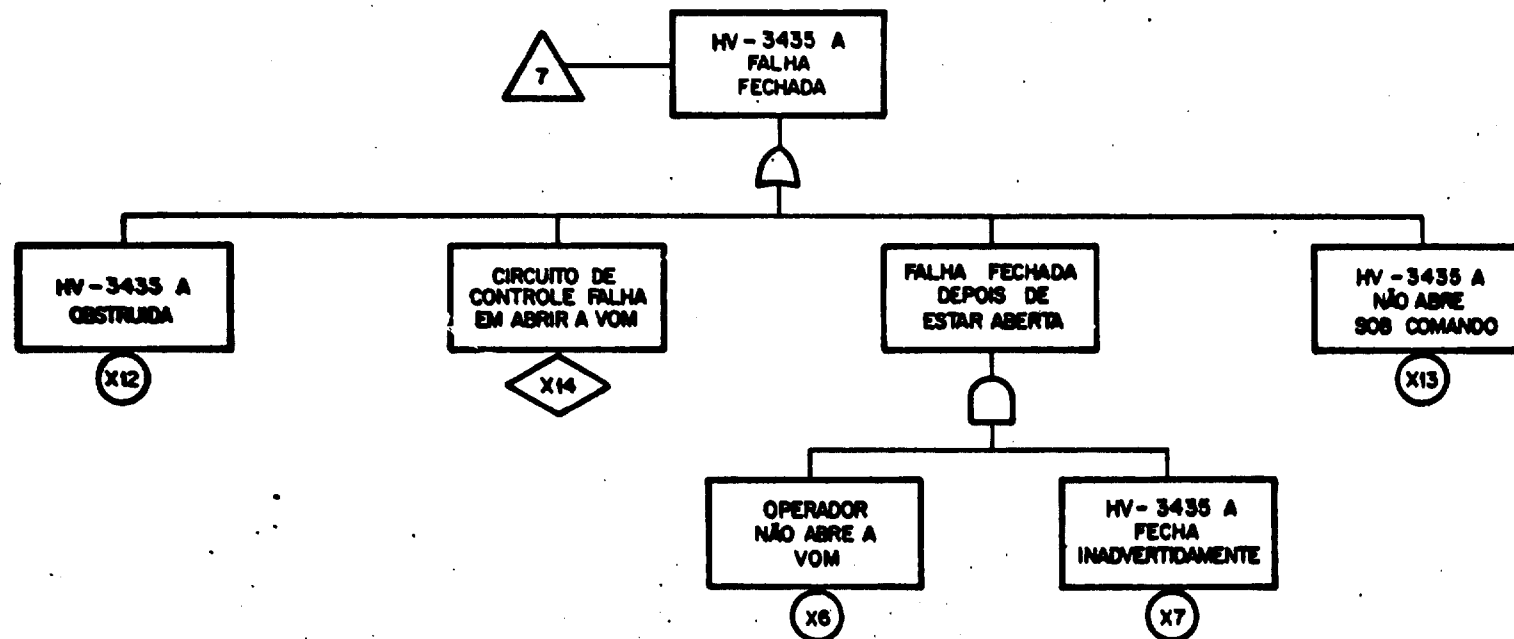
Cont. Figura 3 : Árvore de Falhas Para o Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.



Cont. Figura 3 : Árvore de Falhas Para o Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.



Cont. Figura 3 : Árvore de Falhas Para o Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.



Cont. Figura 3 : Árvore de Falhas Para o Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção.

- 2) Conforme sugerido no FSAR⁽²⁾, durante os primeiros momentos do acidente, o operador desliga as unidades C e D, deixando apenas as unidades A e B em funcionamento (em baixa rotação), sendo que as unidades desligadas são automática ou manualmente acionadas em caso de falha de A ou B;
- 3) A falha do Sistema de Resfriamento durante os primeiros minutos de funcionamento do SRRAC não é considerada relevante para a confiabilidade deste sistema, pois assumimos que os motores dos ventiladores podem funcionar sem refrigeração por um curto espaço de tempo.

Conforme mencionado no FSAR⁽²⁾, o sucesso deste sistema em seu modo de operação de emergência depende do perfeito funcionamento de pelo menos dois dos seus quatro ventiladores. Dessa forma, a falha do sistema exige a falha de pelo menos três dos quatro ventiladores.

O evento topo da árvore de falhas foi definido como: Refrigeração Insuficiente na Contenção Devido à Falha do SRRAC. Este evento pode ocorrer de dois modos distintos:

- a) Falha do trem 1 (unidades A e C) e de uma das unidades do trem 2 (B ou D)
- b) Falha do trem 2 (unidades B e D) e de uma das unidades do trem 1 (A ou C).

Esses dois modos aparecem diretamente ligados ao evento Topo através de um portão OU, como mostrado na Figura 3. Abaixo de cada modo encontra-se um portão E, conectando as falhas especificadas nos itens a) e b), acima.

Os seguintes modos de falha foram considerados no desenvolvimento de cada ramo da árvore:

- X1 - Abafador ("damper") fecha-se inadvertidamente
- X2 - Falha do circuito de controle paralisa o motor
- X3 - Refrigeração insuficiente devido à falha do Trem A do SRC
- X4 - Perda de potência no barramento MCC 3A-1 de 480V ligado ao IA3 (ventiladores A e B), ou
Perda de potência no barramento MCC 4A-1 de 480V ligado ao IA4 (ventiladores C e D)
- X5 - Ventilador não opera em baixa rotação
- X6 - Erro humano: operador não abre a VOM
- X7 - VOM fecha inadvertidamente (sinal espúrio de baixo fluxo está incluído neste modo de falha)
- X8 - Ventilador não parte ao ser ligado
- X9 - Refrigeração insuficiente devido à falha do trem B do SRC
- X10- Ventilador não parte com sinal S
- X11- Erro humano: operador não religa o ventilador
- X12- VOM obstruída (unidade em prontidão)
- X13- VOM não abre sob comando
- X14- Circuito de controle falha em abrir a VOM

Na tabela 7 apresentamos os dados de falha correspondente aos modos de falha listados acima, incluindo as fontes diretas de onde os valores numéricos foram extraídos.

As taxas de falha apresentadas na Tabela 7 correspondem a modos de falha possíveis de ocorrer durante o funcionamento do sistema, daí o tempo de interesse correspondente ser de 24 horas, pois os resultados incluídos neste trabalho foram obtidos para tal período de operação. Tendo em vista que a não-confiabilidade é dada (aproximadamente), por λt , sendo λ a taxa de falha e t o tempo de interesse, a análise pode ser facilmente estendida a outros períodos de tempo, simplesmente recalculando-se as medianas de cada evento básico e usando-se os novos valores no código SAMPLE. O que deve ser chamado à atenção mais uma vez é que, para tempos maiores, a não-consideração da possibilidade de reparo dos componentes situados fora da contenção pode introduzir um grau exagerado de conservatismo nos resultados.

Da árvore de falhas da Fig. 3, obtivemos a seguinte expressão para a probabilidade do evento Topo (após uma série de reduções booleanas):

$$\begin{aligned} P(\text{TOPO}) = & Y_6 + X_4^2 + 2 X_4X_3 + 2 X_4Y_1 + X_4Y_2 + X_3Y_1 + Y_1^2Y_2 + \\ & + X_3Y_3 + Y_1Y_2Y_3 + Y_1^2Y_4 + 2 X_4X_9 + X_4Y_4 + \\ & + X_9Y_1 + X_9Y_5 + Y_1Y_4Y_5, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{onde } Y_1 = X_1 + X_2 + X_5 + 4 X_6X_7$$

$$Y_2 = Y_1 + X_8$$

$$Y_3 = Y_2 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}$$

$$Y_4 = Y_2 + X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14}$$

$$Y_5 = Y_2 + X_{11}$$

$$Y_6 = X_3 \cdot X_9$$

O termo Y6 representa a falha dos dois trens do Sistema de Resfriamento de Componentes (SRC), que possuem algumas partes comuns. Na nossa análise do SRC, encontramos o valor 3.5×10^{-4} (FE = 3,0) para a probabilidade de ocorrência desse evento para um tempo de 24 h. Esse foi o valor usado para Y6 na Eq(1), em lugar de valor correspondente a X3X9.

Usando os valores da Tabela 7. e a Eq.(1) no código SAMPLE, obtivemos os valores para a não-confiabilidade do SRRAC mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores da não-confiabilidade (T=24 horas) do SRRAC assumindo Potência Elétrica Disponível nos dois Barramentos Alimentadores.

PERCENTIL	VALOR DA NÃO-CONFIABILIDADE
Limite Superior(95%)	$1,18 \times 10^{-5}$
Mediana (50%)	$3,62 \times 10^{-6}$
Limite Inferior(5%)	$1,23 \times 10^{-6}$

Uma rápida análise dos resultados e dos dados utilizados no cálculo mostra que a maior contribuição para a não-confiabilidade do SRRAC é dada pelo termo Y6, que representa a probabilidade de perda dos dois trens do Sistema de Resfriamento de Componentes.

Na nossa opinião, os valores obtidos estão dentro de uma faixa aceitável para o curto tempo de interesse (24 horas) considerado na presente análise. Contudo, convém lembrar que a consideração da possibilidade de reparo dos componentes situados fora da contenção, particularmente dos componentes do SRC, deverá causar um aumento da confiabilidade do SRRAC.

Tabela 7 - Dados de Falha Utilizados no Cálculo da não-confiabilidade do SRRAC

Eventos Básicos	Taxas de Falha	Tempo de Interesse	Não-Confabilidade ou Não-Disponibilidade. (mediana)	a) F.E.	Fonte (Ref.)
X1	$3,0 \times 10^{-7}/h$	24h	$7,2 \times 10^{-6}$	3,0	(5)e(6)
X2	$1,0 \times 10^{-5}/h$	24h	$2,4 \times 10^{-4}$	3,0	(5)
X3	-	24h	$1,69 \times 10^{-2}$	3,3	(9)
X4	$1,1 \times 10^{-5}/h$	24h	$2,64 \times 10^{-4}$	3,0	(5)
X5	-	-	$9,7 \times 10^{-4}$	3,0	(7)
X6	-	-	$3,0 \times 10^{-3}$	3,0	(5)
X7	$3,0 \times 10^{-7}/h$	24h	$7,2 \times 10^{-6}$	3,0	(5)
X8	-	-	$3,0 \times 10^{-4}$	3,0	(5)
X9	-	24h	$1,78 \times 10^{-2}$	3,3	(9)
X10	-	-	$3,0 \times 10^{-4}$	3,0	(5)
X11	-	-	$3,0 \times 10^{-3}$	3,0	(5)
X12	-	-	$1,0 \times 10^{-4}$	3,0	(5)
X13	-	-	$1,0 \times 10^{-3}$	3,0	(5)
X14	-	-	$3,5 \times 10^{-4}$	3,0	(5)

a) F.E. = Fator de Erro (assumindo uma lognormal).

VII.2 - Avaliação da Não-Confabilidade do SRRAC
Com Potência Elétrica Disponível em
apenas um dos Barramentos Alimentado-
res do Sistema.

Em Angra 1, o esquema de alimentação elétrica das unidades de resfriamento do SRRAC é a seguinte:

1) As unidades VA-2A (trem 1) e VA-2B (trem 2) estão ligadas ao barramento MCC-3A1, e

2) As unidades VA-2C (trem 1) e VA-2D (trem 2) estão ligadas ao barramento MCC-4A1.

Desse modo, no caso de perda de um dos barramentos, a central ainda fica com uma unidade de resfriamento disponível em cada um dos trens do SRC.

Como a unidade D está em prontidão anteriormente ao acidente, há um acréscimo na não-confabilidade do sistema no caso de perda do barramento MCC-3A1 em relação ao caso de perda do barramento MCC-4A1. Por isso, traçamos duas árvores de falhas, cada uma para a análise de um caso, as quais estão mostradas na Fig. 4 (perda do MCC-3A1) e 5 (perda do MCC-4A1).

Das Figs. 4 e 5 obtemos a seguinte função para a probabilidade dos respectivos eventos topos:

$$P(\text{TOPO}|\overline{3AT}) = 2 X_1 + 2 X_2 + X_3 + X_4 + 2 X_5 + 8 X_6 X_7 + \\ + X_9 + X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \quad (2)$$

$$P(\text{TOPO}|\overline{4AT}) = 2 X_1 + 2 X_2 + X_3 + X_4 + 2 X_5 + \\ + 3 X_6 X_7 + X_9 \quad (3)$$



Figura 4 : Árvore de Falhas do SRRAC Assumindo a Perda do Barramento MCC-3A1.

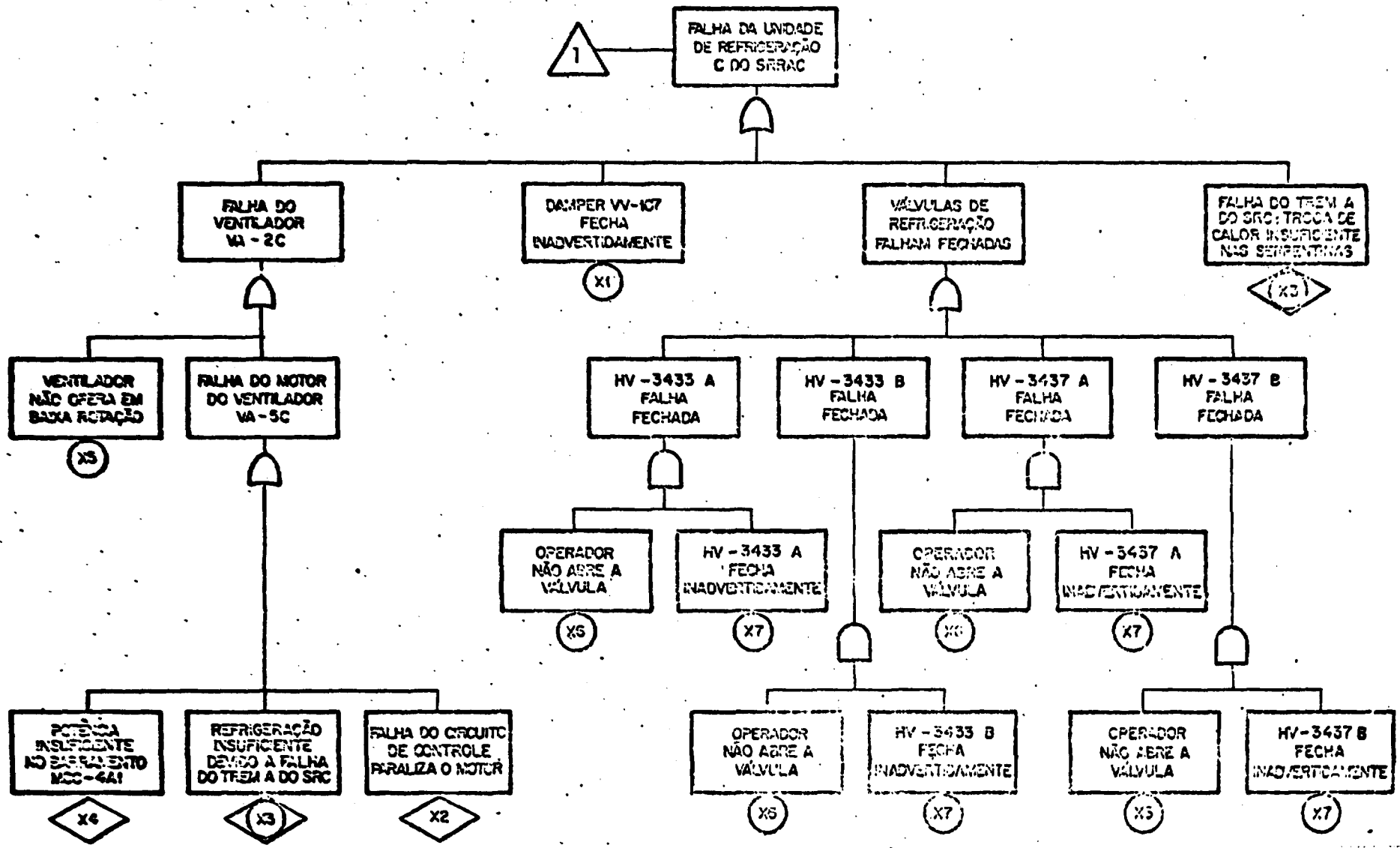


Figura 4 (cont.): Árvore de Falhas do SRRAC Assumindo a Perda do Barramento MCC-3A1.

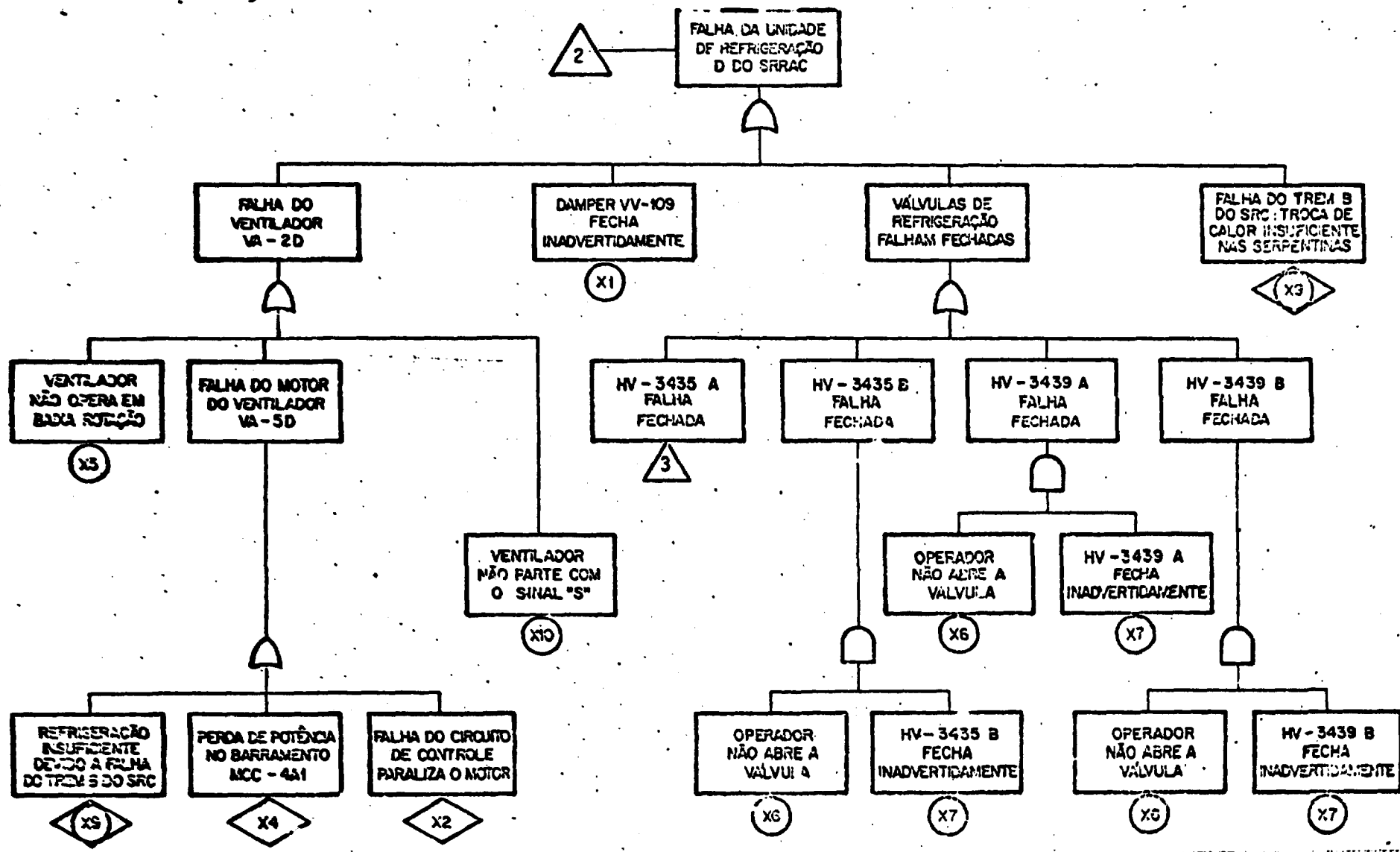


Figura 4 (cont.): Árvore de Falhas do SRRAC Assumindo a Perda do Barramento MCC - 3A1.

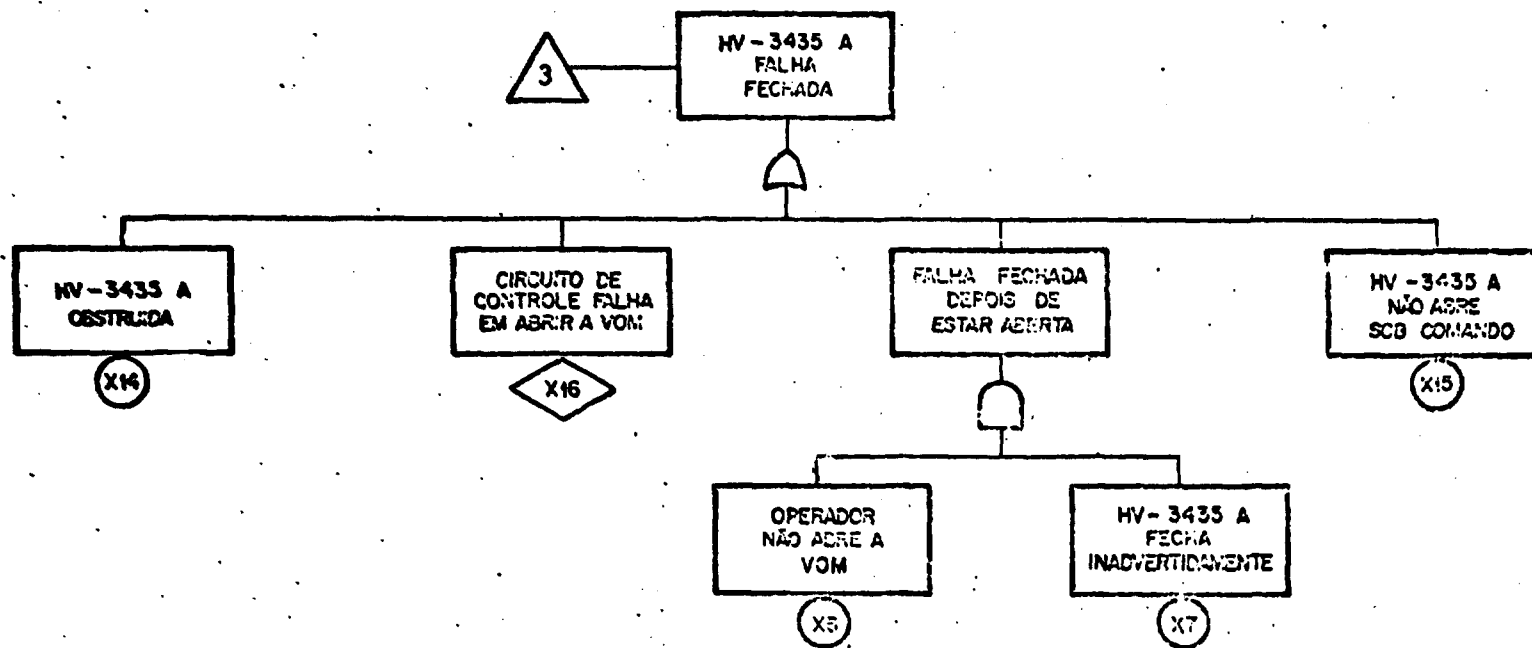


Figura 4 (cont.): Árvore de Falhas do SRRAC Assumindo a Perda do Barramento MCC-3A1.

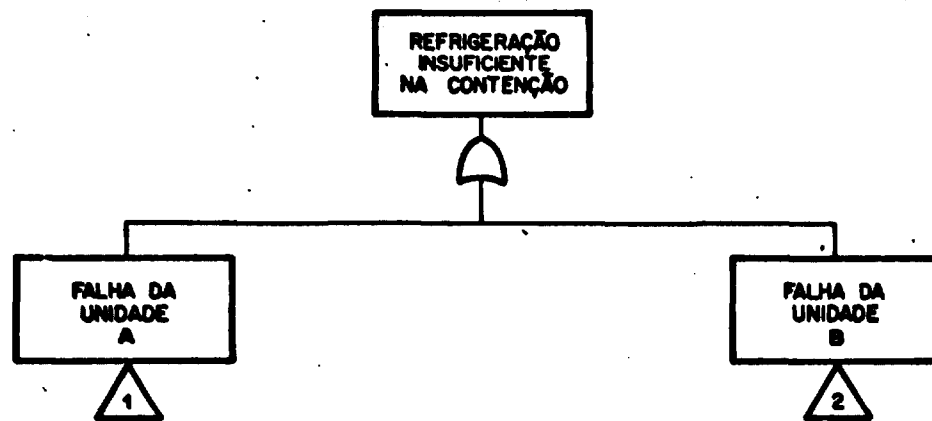


Figura 5 : Árvore de Falhas do SRRAC Assumindo a Perda do Barramento MCC-4A1.

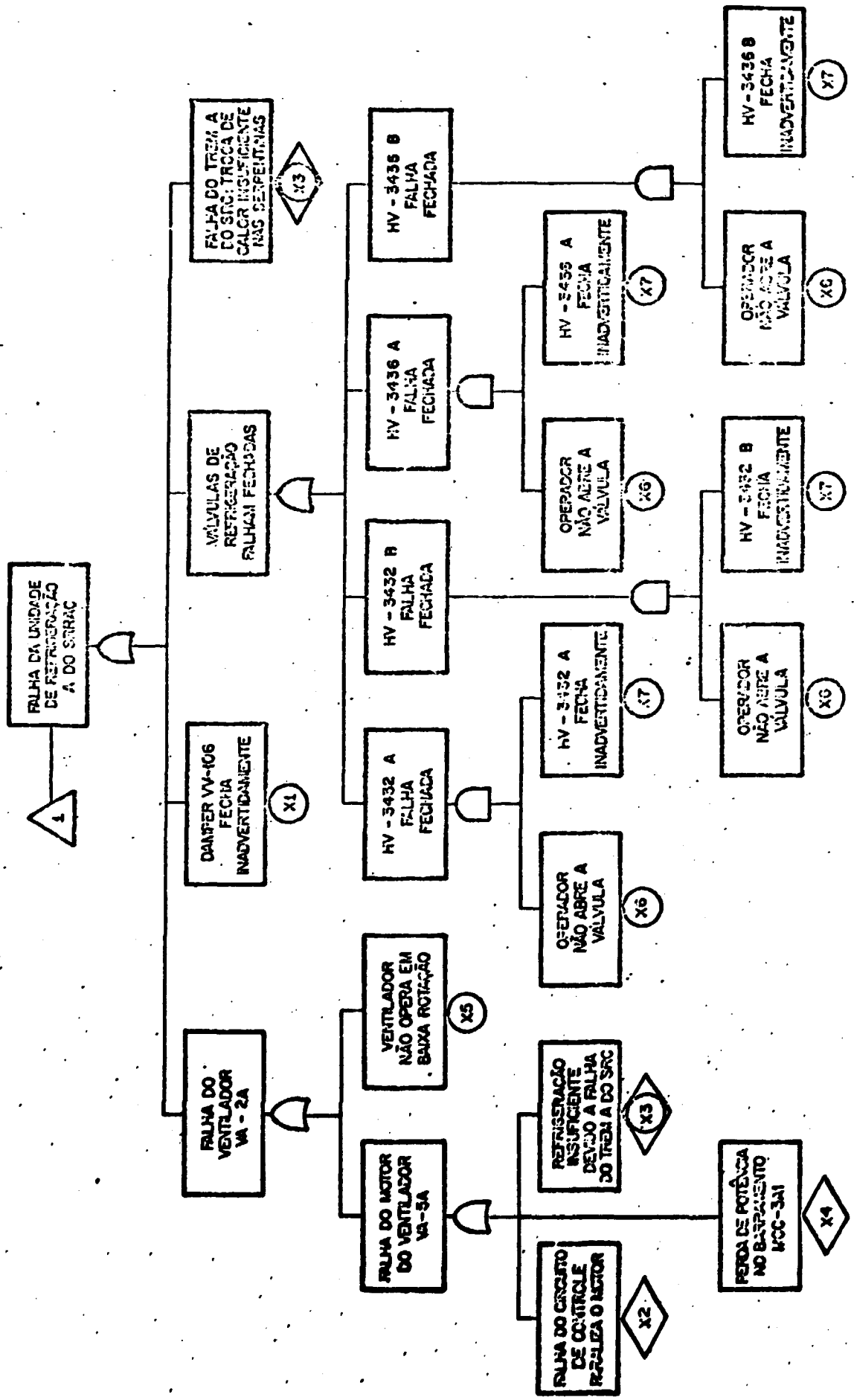


Figura 5 (cont.): Árvore de Falhas do SRRAC Assumindo a Perda do Barramento MCC-4A1.

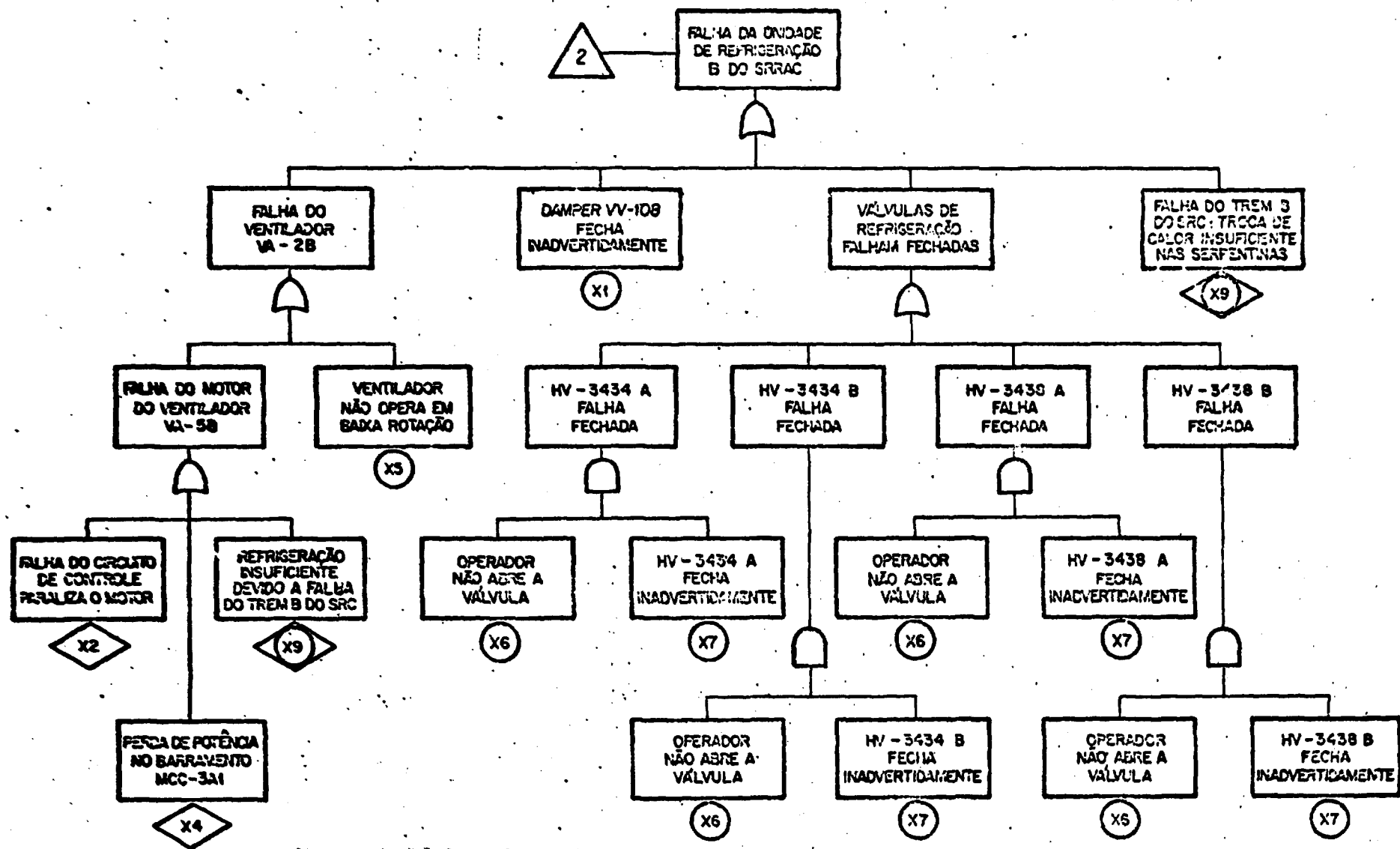


Figura 5 (cont.): Árvore de Falhas do SRRAC Assumindo a Perda do Barramento MCC-4A1.

As definições dos vários eventos básicos são as mesmas usadas no caso descrito na seção VII.1 e os respectivos dados de falha estão listados na Tabela 7. Usando os valores desta tabela e as Eqs.(2) e (3) no código SAMPLE, obtivemos os resultados mostrados na Tabela 9.

Os mesmos comentários tecidos a respeito dos resultados apresentados na seção VII.1 são igualmente pertinentes em relação aos mostrados na Tabela 9.

TABELA 9. - Valores da Não-Confabilidade do SRRAC Assumindo a Perda de um dos Barramentos Alimentadores^{a)}

Configuração Analisada	Lim.Superior (95%)	Mediana (50%)	Lim. Inferior (5%)
Ferda de MCC-3A1	$9,01 \times 10^{-3}$	$5,21 \times 10^{-3}$	$3,11 \times 10^{-3}$
Perda de MCC-4A1	$6,40 \times 10^{-3}$	$2,98 \times 10^{-3}$	$1,51 \times 10^{-3}$

a) Período considerado na análise: demanda + 24 horas

VIII. CONCLUSÕES

O Sistema de Refrigeração e Recirculação do Ar da Contenção obteve agora nesta reanálise, valores para sua não confiabilidade dentro de uma faixa mais aceitável, como pode ser visto na tabela⁽¹⁰⁾, o que era de se esperar para um sistema de quem depende, em parte, a integridade da contenção.

A principal contribuição para a não-confiabilidade de deste sistema, deve-se ao corte mínimo de primeira ordem dado pela perda dos dois trens do Sistema de Resfriamento de Componentes⁽⁹⁾; e pelo fato de não estarmos considerando a possibilidade de reparo em nenhum dos sistemas, envolvidos na presente análise, estamos contribuindo para que haja um aumento na não confiabilidade de todos eles e principalmente na do SRRAC, apesar de ser este um sistema com poucos componentes reparáveis pois sua grande maioria encontra-se dentro da contenção, logo estando inacessíveis no decorrer de um pós-acidente.

Uma análise do SAS e do SRC ao longo do tempo, considerando-se a probabilidade de reparo, iria influenciar positivamente todas as análises dos sistemas resfriados pelo SRC levando a um acréscimo da confiabilidade destes últimos, incluindo o SRRAC.

Esta análise deverá ser feita em trabalho futuro, mas desde já podemos adiantar não ser esta uma tarefa fácil e que para realizá-la teremos que lançar mão de algumas aproximações, devido a complexidade de análise destes dois sistemas, SAS e SRC, no tempo.

TABELA 10

Resultados Alcançados na Reavaliação no
Sistema de Resfriamento da Contenção⁽¹⁾

CONFIGURAÇÃO ANALISADA	INDISPONIBILIDADE		
	LIM. SUPERIOR	MEDIANA	LIM. INFERIOR
SISTEMA	$1,18 \times 10^{-5}$	$3,62 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-6}$
PERDA DO BARRA MENTO MCC-3A1	$9,01 \times 10^{-3}$	$5,21 \times 10^{-3}$	$3,11 \times 10^{-3}$
PERDA DO BARRA MENTO MCC-4A1	$6,40 \times 10^{-3}$	$2,98 \times 10^{-3}$	$1,51 \times 10^{-3}$

NOTA:

(1) Período considerado na análise: demanda + 24h (curto termo). Não foi considerada a possibilidade de reparo.

REFERÊNCIAS

1. Sistema de Refrigeração de Componentes
Apostila de Treinamento pgs. 17 à 19
Furnas Centrais Elétricas S.A.
2. Final Safety Analysis Report, FSAR,
Capítulos 6 e 9, Central Nuclear Almirante
Alvaro Alberto, Unidade I
3. System Description, Gibbs & Hill Inc.,
2224 - M - SD - 15, Revision 1, January 1978
Page 3 of 39.
4. Procedimentos de Inspeção e Testes Periódicos,
Volume X do Manual de Operação da
Usina - POTOS
5. Reactor Safety Study, An Assesment of Acident Risks in
V.S. Comercial Nuclear Plants, WASH-1400 (NUREG 75/104),
October 1975.
6. Rivera, R.R.J.M. - Análise de Confiabilidade para o Modo de
Recirculação do Sistema de Injeção de Segurança de Angra I,
M. Sc. (Tese), COPPE/UFRJ, 1981.
7. Zion Probabilistic Risk Analysis,
Commonwealth Edison Company, 1981.
8. Determinação das Principais Seqüências de Acidente para um
Grande LOCA: Análise Qualitativa.
A ser publicado.
9. Análise Probabilística do Sistema de Refriamento de Compo-
mentes de Angra I,
A ser publicado.