

ESTUDO EXPERIMENTAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE EMERGÊNCIA DO REATOR IEA-R1m DO IPEN-CNEN/SP

Walmir Maximo Torres*, Benedito Dias Baptista Filho, Daniel Kao Sun Ting

IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05508-900, São Paulo, Brasil
*e-mail: wmtorres@net.ipen.br

RESUMO

Este trabalho descreve resumidamente o Sistema de Resfriamento de Emergência projetado para o reator IEA-R1m e apresenta os experimentos realizados para o desenvolvimento do distribuidor de vazão de aspersão. São mostrados os principais resultados de distribuição de vazão de aspersão em uma seção de testes que simula o núcleo do reator IEA-R1m. Os resultados foram obtidos após a realização de diversos testes variando os tipos de bicos aspersores, a quantidade e disposição dos bicos aspersores ao longo do distribuidor, a posição angular dos bicos aspersores, a altura relativa do distribuidor com relação ao topo do núcleo e a vazão total do sistema.

Palavras-Chave: Reatores de Pesquisa, Acidente de Perda de Refrigerante, Resfriamento de Emergência.

I. INTRODUÇÃO

Para aumentar a capacidade na produção de radioisótopos e na realização de experimentos, foram iniciadas em 1995 as atividades de projeto visando o aumento da potência do Reator IEA-R1m de 2 MW para 5MW, e o aumento do tempo semanal de operação contínua.

Vários reatores de pesquisa existentes no mundo já passaram por reformas semelhantes [1,2], e para isso tiveram reavaliadas as suas condições de segurança. Para garantir a integridade do núcleo em condições de um Acidente de Perda de Refrigerante por grande ruptura (APR-gr) são necessários sistemas de segurança adicionais não previstos no projeto original de reatores mais antigos, tais como: sistema de resfriamento de emergência e/ou sistema anti-sifão.

Para mitigar as conseqüências de um APR-gr, foi projetado e instalado um Sistema de Resfriamento de Emergência para o reator IEA-R1, que promoverá o resfriamento dos combustíveis pela aspersão de água sobre o núcleo através de um distribuidor em forma de U com bicos aspersores.

O desenvolvimento de sistemas desse tipo requer informações sobre diversos parâmetros, tais como: a) a vazão de operação do sistema, determinada pela máxima

quantidade de calor que precisa ser removida pelo processo de aspersão; b) a distribuição da vazão sobre o núcleo, importante para garantir que todos os elementos combustíveis recebam uma quantidade de água suficiente para seu resfriamento e, c) o tempo mínimo de atuação do sistema, para remoção do calor de decaimento num período após o acidente até que os níveis de fluxo de calor sejam suficientemente pequenos para que o resfriamento possa ocorrer por convecção natural do ar sem causar danos aos combustíveis. Os itens a e b são importantes para o dimensionamento dos tanques de armazenamento de água do sistema.

Neste trabalho é descrito resumidamente o Sistema de Resfriamento de Emergência do IEA-R1m e o experimento projetado para estudar a distribuição de vazão de aspersão sobre o núcleo, que forneceu as informações para o desenvolvimento do distribuidor em U utilizado no sistema. São apresentados alguns dos principais resultados de distribuição de vazão.

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE EMERGÊNCIA

O sistema, mostrado na Fig. 1, utiliza 2 reservatórios elevados independentes com capacidade para 150 m³ (75 m³ cada), que podem alimentar, por gravidade, dois ramos independentes (A e B) com uma vazão de 3,5 m³/h. Chaves de nível instaladas nos reservatórios acusam

a ocorrência de nível mínimo, abaixo do qual não é permitida a operação do reator em potências superiores a 2 MW. A atuação do sistema é automática e ocorre se houver uma diminuição anormal do nível na piscina. O acionamento manual do sistema também é possível, através de comandos no painel de controle localizado na Sala de Emergência. O ramo B, que passa pela Sala de Emergência, possui uma válvula esfera que pode ser acionada manualmente pelos operadores. A abertura de

apenas uma das válvulas é suficiente para garantir a vazão de projeto. O sistema possui 2 distribuidores em forma de U com 7 bicos aspersores cada, sendo um em alumínio localizado dentro da piscina e outro em PVC, semelhante ao primeiro, no Salão de Experimentos, este último usado para testes semanais antes do início de cada operação. A conexão dos distribuidores à linha de alimentação do sistema é feita através de tubulação flexível e engates rápidos.

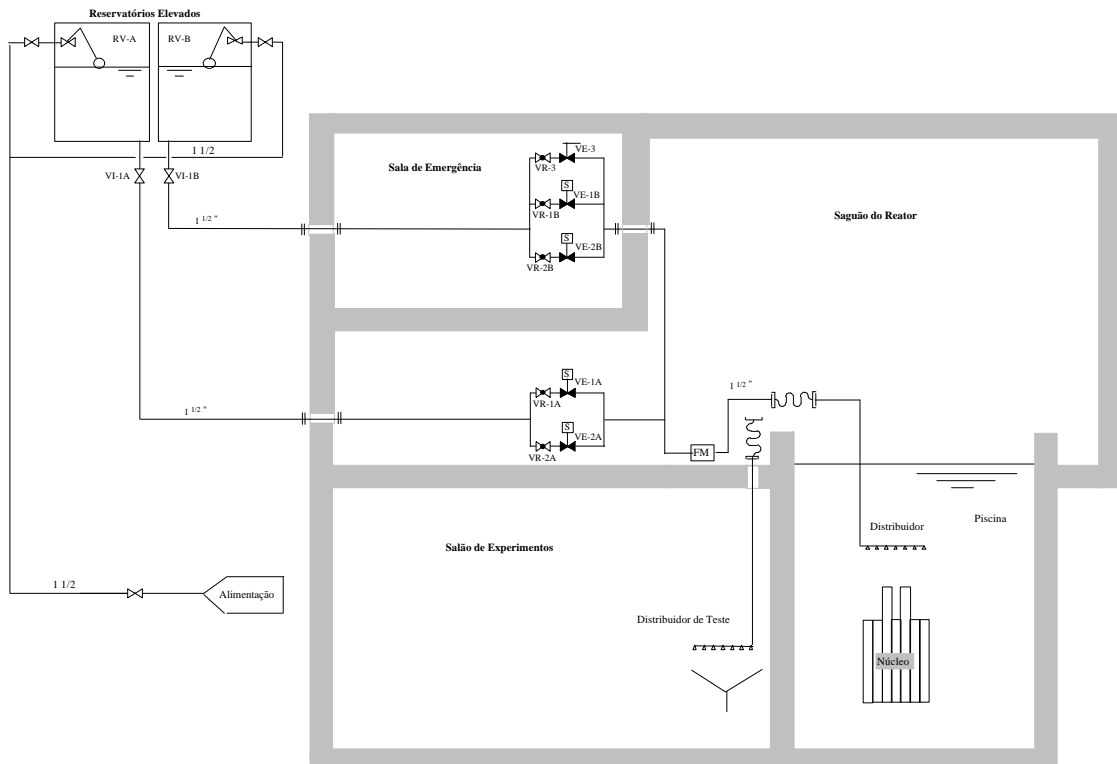


Figura 1. Fluxograma Esquemático do Sistema de Resfriamento de Emergência do IEA-R1m

III. MONTAGEM EXPERIMENTAL

Para definir o tipo, a quantidade e o posicionamento relativo ao núcleo dos bicos aspersores do distribuidor, foi montado um arranjo experimental em escala natural que é composto por uma seção de testes que representa o núcleo do reator e parte da estrutura em sua volta, e um distribuidor de vazão em forma de U com bicos aspersores. A razão para a realização deste experimento foi a verificação e diminuição dos efeitos de sombreamento provocados pelos elementos de controle sobre os elementos combustíveis. Além disso, esses elementos de controle também necessitam de resfriamento, pois neles existem 12 placas combustíveis. Neste caso, a água deve entrar através de janelas laterais que foram dimensionadas para operação normal do reator com circulação forçada, conforme mostra a Fig. 2.

A seção de testes é constituída por um conjunto de 72 elementos simuladores que representam os componentes do núcleo do reator IEA-R1m: elementos combustíveis, elementos de controle, refletores de grafite e câmaras de irradiação. Parte da estrutura de treliça que sustenta o núcleo e os detectores de nêutrons também foram representados no experimento. Os simuladores foram fabricados em tubo quadrado de alumínio de 3" (76,2x76,2 mm) e 2 mm de parede. O comprimento dos elementos simuladores não precisou ser reproduzido, apenas as alturas relativas foram mantidas para observar os efeitos de sombreamento. Todos os elementos foram montados em um arranjo retangular de 9x8 semelhante ao núcleo, conforme Fig. 2. Os simuladores de elemento combustível possuem a extremidade superior aberta e a outra extremidade fechada, com uma conexão tipo Polyflo e mangueira transparente tipo cristal de 6mm, que é encaminhada para um quadro onde é possível medir a

quantidade de água recebida pelos elementos. Os simuladores de elementos de controle possuem a extremidade superior fechada e 2 janelas laterais retangulares de 40x80 mm, posicionadas 5 mm acima da extremidade superior dos simuladores de elementos combustíveis.

O distribuidor consiste de uma montagem tubular em PVC de 2" de diâmetro em forma de U no qual foram instalados 7 bicos aspersores em conexões articuladas que permitem variações angulares no direcionamento dos bicos. Foi adotado o distribuidor em U pois esta forma possibilita envolver toda a região do núcleo, deixando livre a parte frontal deste para a movimentação dos seus componentes. O posicionamento dos bicos aspersores foi feito de modo que eles "enxergassem" a maior quantidade possível de elementos do núcleo ativo, e sempre objetivando a redução do sombreamento. Por isso, os bicos aspersores foram colocados frontalmente às fileiras de combustíveis.

O posicionamento dos bicos aspersores ao longo do tubo distribuidor é mostrado na Fig.3. Como mencionado anteriormente, este posicionamento foi feito de forma que os bicos ficassem frontalmente a determinadas fileiras de combustíveis, diminuindo assim os efeitos de sombreamento. Para que o bico B4 pudesse ser instalado nessa posição foi necessário deslocar um dos detectores de nêutrons que ficava exatamente na frente da fileira formada pelos elementos 3, 8, 13, 18 e 23. O detector foi reposicionado entre os bicos B1 e B2, sem com isso comprometer o funcionamento e o desempenho do instrumento.

Uma outra modificação foi realizada na câmara de irradiação de Silício, que teve seu projeto revisto, com redução em seu comprimento e diminuição no sombreamento que provocava principalmente nas posições 26, 27, 28, 29 e 30, que futuramente poderão ser ocupadas por elementos combustíveis. O critério de projeto que limita a altura dos dispositivos do núcleo deverá ser adotado nos futuros dispositivos a serem utilizados.

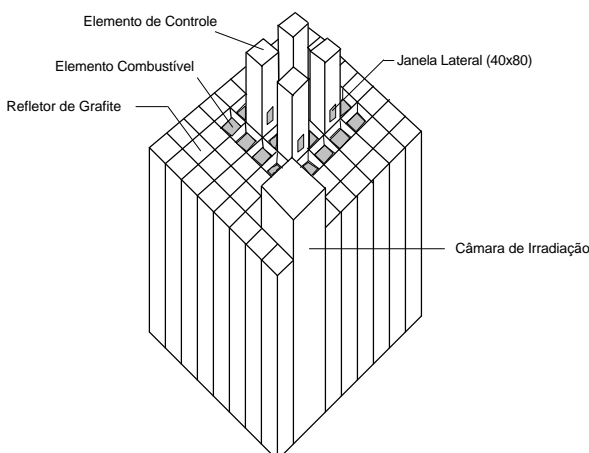


Figura 2. Desenho Esquemático da Seção de Testes

DISTRIBUIDOR em U

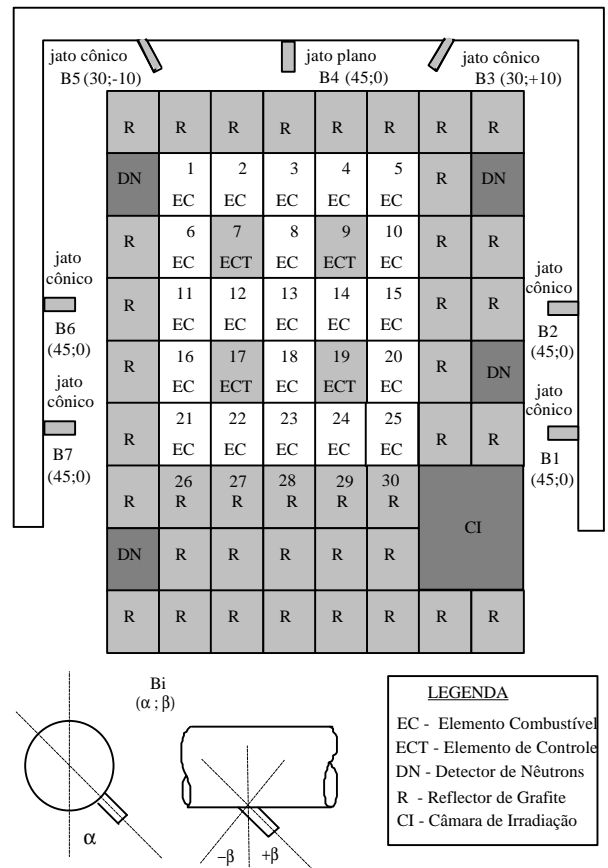


Figura 3 - Posicionamento dos Elementos no Núcleo e Distribuidor com bicos aspersores (Configuração 19)

Os testes foram realizados no circuito experimental mostrado na Fig. 4, onde foram montados a seção de testes e o distribuidor em forma de U. A vazão para o distribuidor é proporcionada por bombeamento e é medida por uma placa de orifício.

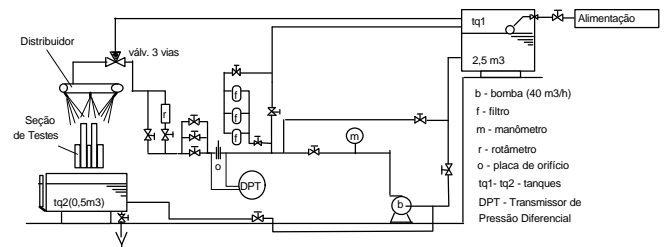


Figura 4. Circuito Experimental e Seção de Testes

O experimento consistiu em medir a quantidade de água recebida por cada um dos componentes do núcleo durante o intervalo de tempo de 2 minutos. Para isso, estabelecia-se a vazão de aspersão desejada bombeando

água do tanque tq1 para o distribuidor, com a válvula de 3 vias na posição 1. Uma vez estabelecida a vazão desejada, acionava-se a válvula de 3 vias para a posição 2, desviando o escoamento para o tanque tq1, permanecendo assim até o início de cada medida. Para a realização de cada medida, a válvula era acionada para a posição 1 e simultaneamente acionava-se o cronômetro. Após 2 minutos, retornava-se a válvula para a posição 2 e contabilizava-se as vazões em cada componente da seção de testes. Com esses dados determinou-se a distribuição normalizada de vazão no núcleo e calculou-se a eficiência de distribuição, dada pela relação entre a soma das vazões nos elementos e a vazão de aspersão total.

Para o cálculo da vazão de normalização utilizou-se como referência os resultados de um estudo realizado por Parkanski [3] com placas aquecidas eletricamente e fluxo de calor uniforme, onde foram obtidas as temperaturas máximas nas placas em função do fluxo de calor. Os resultados mostraram que é possível, com sistemas de aspersão fornecendo vazões entre 30 e 45 cm³/min/placa e com placas parcialmente submersas, atingir fluxos de calor da ordem de 4,5 W/cm², sem que a máxima temperatura da placa seja superior a 108 °C. Esses estudos foram realizados para o dimensionamento de um sistema de resfriamento por aspersão para o reator de 10 MW (RP-10) com combustível de placas do tipo MTR, semelhante ao utilizado no reator IEA-R1m. No caso do IEA-R1m, o máximo fluxo de calor após o descobrimento do núcleo (t=300s - estimado) é 1,13 W/cm². Adotou-se então a vazão de 30 cm³/min/placa na normalização das vazões dos elementos.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foram ensaiadas 26 configurações diferentes para o distribuidor, onde os parâmetros avaliados foram: a altura relativa da linha de centro do tubo distribuidor com relação ao topo dos elementos combustíveis (435 e 525 mm), 2 tipos de bicos aspersores, ângulos de direcionamento dos bicos aspersores e vazão total de aspersão.

Nas 14 primeiras configurações foram utilizados 7 bicos aspersores iguais do tipo jato cônico com 45° de ângulo de aspersão. Essas configurações não produziram distribuições de vazão adequadas, principalmente com relação ao elemento 18, que somente é enxergado pelo bico B4, conforme mostra a Fig. 5 referente à configuração 14. Devido à distância entre esse elemento e o bico, e ao ângulo de aspersão, apenas uma pequena quantidade de água conseguia atingi-lo. Variações angulares no direcionamento de B4 e vazões maiores foram testadas sem contudo conseguir aumentar a quantidade recebida pelo elemento 18. Convém lembrar que esse elemento está localizado na região mais central do núcleo, onde ocorrem os maiores fluxos de calor.

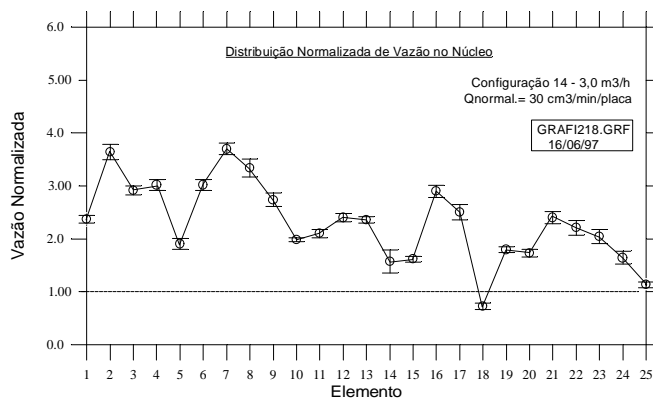


Figura 5 - Distribuição Normalizada de Vazão - Configuração 14 - 3,0 m³/h - 525 mm

Para solucionar esse problema optamos pela substituição do bico B4 por outro com características diferentes, ou seja, de jato plano com 30° de ângulo de aspersão. O bico foi instalado de forma que o jato plano ficasse na posição vertical, beneficiando assim os elementos 3, 8, 13, 18 e 23. A diferença na distribuição causada pela mudança pode ser claramente visualizada quando comparamos as Fig. 5 e 6. A partir deste ponto foram testadas variações angulares no direcionamento dos bicos até a configuração 22. Nas configurações 23, 24 e 25 realizou-se testes com bicos de jato plano nas posições B3, B4 e B5, sendo mantidos os demais de jato cônico. Os resultados obtidos não apresentaram boa distribuição de vazão. Na configuração 26 voltamos a usar 6 bicos de jato cônico e um de jato plano, porém com ângulos de direcionamento diferentes dos usados anteriormente.

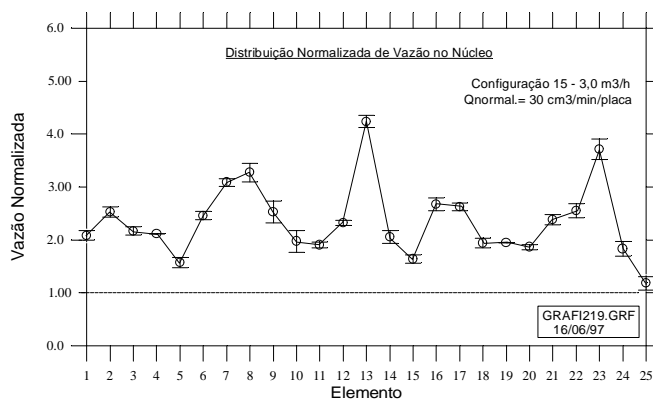


Figura 6 - Distribuição Normalizada de Vazão - Configuração 15 - 3,0 m³/h - 525 mm

Após análise dos resultados de distribuição das 26 configurações ensaiadas [4] concluiu-se que a eficiência de distribuição, calculada pela razão entre a soma das vazões individuais de recebidas por cada um dos elementos e a vazão total de aspersão, variou entre 55 e 60%, diferindo apenas na forma de distribuição. A configuração 19 foi adotada como base para o

detalhamento do distribuidor do sistema. Os resultados referentes a essa configuração podem ser vistos na Fig. 7, para as vazões de 2,0; 2,5 e 3,0 m³/h. Observa-se nessa figura, que a preocupação inicial quanto à dificuldade de atingir os elementos de controle (7, 9, 17 e 19) não procede, pois estes recebem boa quantidade de água. Para esses elementos foi observado um efeito favorável, no qual a água lançada escorria ao longo da parede e entrava através das janelas laterais. Além disso, parte da água entrava diretamente por estas janelas pelo processo de aspersão. Da Fig. 7 observa-se que, para a vazão de 3,0 m³/h, todos os elementos recebem vazões normalizadas acima de 1, ou seja, acima de 30 cm³/min/placa, sendo que o valor médio no núcleo foi de 2,1 (63 cm³/min/placa). Os elementos de controle apresentaram vazões praticamente iguais e da ordem de 2,25 (67,5

cm³/min/placa). Este foi um dos motivos para a adoção da configuração 19. Com relação ao elemento 18, que inicialmente apresentou problemas, pode-se observar que o problema foi solucionado.

A Fig. 8 mostra a distribuição espacial (2D) da vazão de aspersão relativa para a vazão total de 3,0 m³/h e configuração 19. Essa figura foi construída com o programa ISOPLOT, que gerou as linhas de potencial a partir dos dados experimentais da Fig. 7. Observa-se que as maiores vazões ocorrem na região mais central do núcleo, onde os fluxos de calor são mais elevados e que, existe uma simetria com relação à linha formada pelos elementos 3, 8, 13, 18 e 23, sendo esta simetria menos evidente com relação à linha formada pelos elementos 11,12,13,14 e 15.

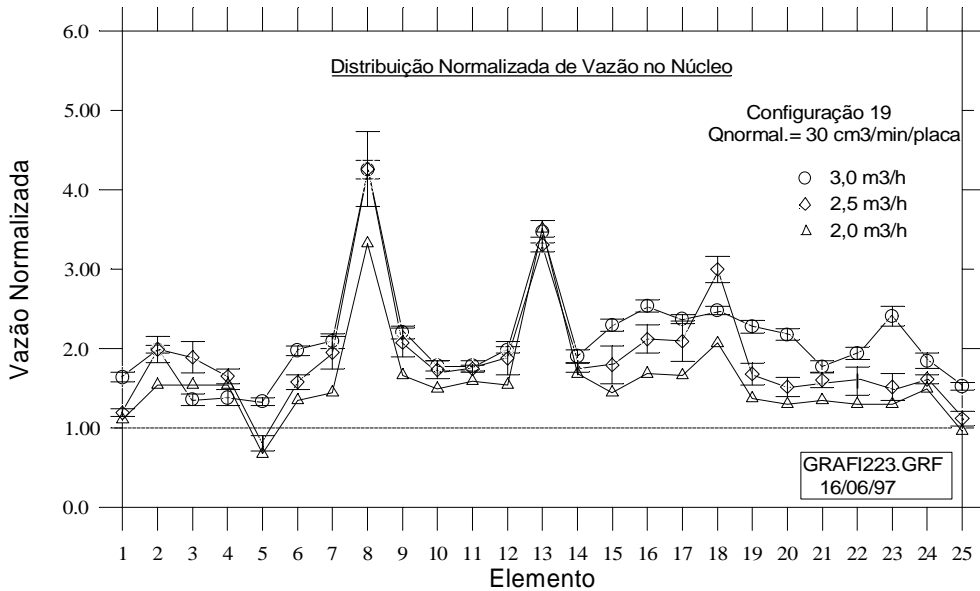


Figura 7 - Distribuição Normalizada de Vazão - Configuração 19 - 3,0; 2,5 e 2,0 m³/h - 525 mm

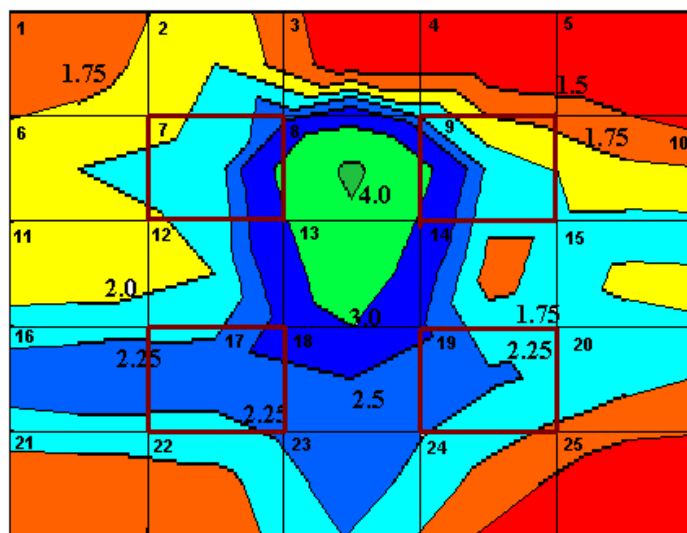


Figura 8 - Distribuição de Vazão de Aspersão (Configuração 19 - 3,0 m³/h) - Curvas de Potencial

V. CONCLUSÕES

Os experimentos de distribuição de vazão forneceram as informações necessárias para o projeto de detalhamento do distribuidor do Sistema de Resfriamento de Emergência do IEA-R1m, ou sejam:

- altura relativa entre a linha de centro do distribuidor e o topo dos elementos combustíveis.
- tipos e posicionamento longitudinal e angular dos bicos aspersores.
- necessidade de mudança do detector de nêutrons.
- revisão no projeto do irradiador de Silício com redução de tamanho

REFERÊNCIAS

[1]Williams,H.T., Stopinski,O.W., Yarnell,J.L.,Lyle,A.R., Warner,C.L., Maine,H.L., **Status Report on Omega West Reactor , with Revised Safety Analysis**, LA-4192, 1969

[2]Gehre ,G., Hieronymus ,W., Kampf ,T., Ringel ,V., Roßbänder ,W., **The Modification of Rossendorf Research Reactor - Technical Performance and Responsibility of Control and Licence Authorities**, Proceedings of International Symposium on Research Reactor Safety Operations and Modifications, vol.3, 1989, Ontario-Canada

[3]Parkanski, D., **Sistema de Refrigeracion por Rociado de um Reactor Tipo Piscina**, Proceedings of IV-CGEN-Congresso Geral de Energia Nuclear, vol.1, 1992

[4]Torres, W. M. ,**Distribuição de Vazão para Definição do Distribuidor do Sistema de Resfriamento de Emergência do Reator IEA-R1m**, Relatório Técnico IPEN no. PSI.RES.IEAR1.002 - RELT.006.R00 - junho 1997

ABSTRACT

This paper presents a brief description of the Emergency Core Cooling System designed for the IEA-R1m Reactor and the experimental results of flow distribution over the core. Several parameters were evaluated, such as: relative position of spray header to the reactor core; type and quantity of spray nozzles; spray nozzles position on spray header; and total spray flow. The main conclusions are presented.