



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GIA-22
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XI
GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

**SISTEMA DE CONTROLE AMBIENTAL (SCA)
CENTRAL NUCLEAR ALMIRANTE ÁLVARO ALBERTO UNIDADE 2**

Barbara O. dos Santos*
ETN

Jorge E. S. Mendes
ETN

Alberto Coe
ETN

RESUMO

O Sistema de Controle Ambiental (SCA) da Usina Nuclear Angra 2 está sendo desenvolvido com o objetivo principal de ser uma ferramenta auxiliar para o pessoal encarregado de gerenciar uma eventual situação de emergência, envolvendo uma liberação acidental de radionuclídeos para o meio ambiente. Trata-se de um sistema em tempo real, cuja função primordial é auxiliar a tomada de decisões pelo pessoal encarregado pelas medidas de proteção na área do entorno das usinas Angra 1 e Angra 2. Deve ser ressaltado que o SCA-A2 pode operar tanto na situação de emergência (modo fundamental e prioritário) quanto no modo simulado (reprodução de situações de emergência para fins de análise ou treinamento).

PALAVRAS-CHAVE

Termo fonte, acidente, dose, dispersão atmosférica, campo de vento

1.0 - INTRODUÇÃO

O impacto ambiental do transporte de radionuclídeos e distribuição de poluentes atmosféricos a partir de uma fonte tem se tornado incrivelmente importante em anos recentes. O Sistema de Controle Ambiental (SCA) que está sendo desenvolvido em Angra 2, consiste na avaliação, em tempo real, da dose no meio ambiente, no caso de ocorrência de liberação acidental de material radioativo na Usina Angra 2. Este modelo que está sendo desenvolvido em Angra 2, tem como base o modelo existente em Angra 1, sendo que todo o

módulo referente ao termo fonte foi desenvolvido tendo como base o projeto da usina de Angra 2.

O sistema tem a capacidade de determinar os valores das doses no meio ambiente devido à liberação de radioisótopos. Para que sejam efetuados os cálculos de dose, é preciso determinar como a concentração de radionuclídeos liberados varia espacialmente e temporalmente na atmosfera.

Para o cômputo da distribuição espacial e da evolução temporal da pluma radioativa, é necessário que seja calculada a quantidade de material radioativo liberado durante o acidente, bem como o percurso seguido pela pluma e sua difusão. Esta quantidade de material radioativo liberada é denominada de termo fonte.

As usinas de Angra 1 e Angra 2 estão situadas numa região de topografia bastante complexa. Isto impõem a necessidade de uma modelagem mais trabalhosa do que do modelo de difusão gaussiana com trajetória em linha reta, que é amplamente utilizado. No modelo, é implementado um campo de vento tridimensional que incorpora apropriadamente os efeitos da topografia complexa da região.

Está implícito no modelo um conceito fundamental que a dispersão atmosférica de uma pluma resultante de uma liberação contínua de radioatividade pode ser simulada pela dispersão de uma sucessão de bufadas liberadas instantaneamente a intervalos de tempo discretos, contendo a mesma quantidade total de atividade.

Os cálculos do modelo SCA são executados a cada intervalo de tempo de 15 minutos, considerando a variação com o tempo das condições meteorológicas e a quantidade de radioisótopos liberados.

Durante cada ciclo de cálculo as condições meteorológicas são mantidas constantes e os seguintes cálculos são efetuados:

- (a) avaliação da taxa de liberação de radionuclídeos para a atmosfera;
- (b) determinação do campo de velocidade do vento;
- (c) cálculo do transporte e difusão do material radioativo na atmosfera;
- (d) cálculo da dose; e
- (e) cálculo da dose decorrente de projeções do ciclo atual.

A avaliação da taxa de liberação é feita a partir do diagnóstico do acidente ocorrido, que deve ser um dos dez acidentes bases de projetos contidos no Relatório Final de Análise de Segurança de Angra 2.

Uma vez diagnosticado o acidente, a atividade total liberada no ciclo é calculada pelo módulo termo fonte, fazendo um balanço de atividade através de cada caminho possível de liberação, e de acordo com o "status" dos diversos componentes dos sistemas.

A taxa de liberação média no ciclo é obtida dividindo-se a atividade total liberada no ciclo pelo número de bufadas liberadas no mesmo (em Bq/min). Este valor é tomado como a atividade carregada por uma bufada no ciclo.

A distribuição espacial do campo de velocidade do vento é calculada em uma malha fixa tridimensional, com base nos valores médios, no ciclo, da velocidade do vento nos locais das torres meteorológicas. Após um processo de extrapolação e interpolação dos valores fornecidos, o campo de vento é tornado consistente em massa, através de um processo iterativo de eliminação das divergências do campo interpolado.

O cálculo do transporte e difusão dos radionuclídeos na atmosfera é feito através de um modelo de bufadas tridimensional com trajetória lagrangeana variável e difusão gaussiana. Cada bufada liberada é transportada durante um intervalo de advecção com a velocidade local do campo de vento no ponto correspondente ao início do intervalo de advecção.

A concentração em cada ponto é calculada somando-se as contribuições médias de todas as bufadas existentes na malha durante o ciclo que estiver sendo processado.

No módulo de transporte e difusão são considerados os seguintes efeitos físicos:

- (a) efeito de esteira (building wake)
- (b) elevação de pluma (plume rise)
- (c) depleção seca
- (d) depleção molhada
- (e) decaimento radioativo
- (f) reflexão no solo
- (g) variação do coeficiente de dispersão quando a trajetória da bufada atravessa regiões com diferentes classes de estabilidade.

Ao término de cada ciclo são calculadas a dose na tireóide devido a inalação de iodos, a dose no pulmão devido a inalação de iodos, particulados e gases nobres e a dose de corpo inteiro devido a imersão na nuvem (gases nobres).

O SCA fornece ainda valores de dose projetada para tempos de uma e duas horas, contados a partir do final do ciclo atual.

2.0 - MÓDULO TERMO FONTE

Na ocorrência de um acidente com liberação de radionuclídeos para a atmosfera, o cálculo da dose e da previsão da dose recebida por um indivíduo à uma certa distância do ponto de liberação (usina) dependem da quantidade de atividade que foi liberada. Esta atividade liberada na forma de particulados e gases nobres é denominada de termo fonte.

O termo fonte é calculado determinando-se, dado que ocorreu um acidente, a atividade inicial disponível para liberação e identificando-se os caminhos pelos quais esta liberação pode ocorrer.

A atividade inicial de cada radionuclídeo disponível para liberação depende do tipo de acidente. Os caminhos de liberação variam de acordo com a evolução do acidente e com o "status" dos sistemas de ventilação e equipamentos da usina.

O "status" dos componentes envolvidos no cálculo do termo fonte é continuamente monitorado, sendo fornecidos, a cada ciclo de cálculo, os valores médios e a configuração média destes sistemas.

3.0 - MÓDULO CAMPO DE VENTO

O material radioativo liberado na atmosfera é transportado pelo vento. Para descrever a distribuição espacial do vento na região de interesse, utiliza-se um campo de velocidade tridimensional e não divergente, isto é, que verifica a conservação de massa de fluido incompressível.

O campo de vento é determinado a partir de medidas de velocidade e de dados sobre a estabilidade atmosférica, obtidos na área de aplicação, e levando em consideração os efeitos da topografia da mesma.

A metodologia usada para gerar o campo de velocidade de vento é baseada no modelo WEST (Wind Extrapolated from Stability and Terrain).

A topografia da região é representada por células obstáculos.

Para produzir um campo de velocidade de vento tridimensional e não divergente, é usado o seguinte procedimento:

- (1) medidas de velocidade, módulo e direção no plano horizontal são fornecidas como dado de entrada.
- (2) são fornecidos também dados sobre as condições de estabilidade atmosférica
- (3) os valores observados nas torres meteorológicas para o módulo e a direção da velocidade são extrapolados ao longo da coordenada vertical
- (4) as componentes horizontais da velocidade são determinadas nas células com velocidades medidas ou extrapoladas

- (5) um campo de velocidade é gerado fazendo-se uma interpolação das velocidades medidas e/ou extrapoladas
- (6) o campo de velocidade obtido é ajustado afim de que seja satisfeita, e cada célula, a condição de não divergência

4.0 - MÓDULO TRANSPORTE E DIFUSÃO

A dispersão de material radioativo liberado na atmosfera, em situações de acidentes, é descrita por um modelo tridimensional baseado nas seguintes hipóteses:

- (1) a liberação contínua de material radioativo pode ser representada pela emissão de uma seqüência de bufadas discretas.
- (2) o transporte e a difusão do material, cujas influências combinadas caracterizam a dispersão atmosférica, podem ser tratados separadamente. Esta hipótese permite que se considere que a bufada é advectada como um ponto e que a difusão em torno do centro da bufada seja avaliada considerando a distância percorrida pela mesma.

O módulo calcula a distribuição média de radionuclídeos na atmosfera, baseado num modelo de difusão Gaussiano com trajetória Lagrangeana variável definida por um campo de velocidade de vento tridirecional, sob diversas condições:

- campos de vento que variam com a posição e com o tempo
- condições de calmaria
- elevação de pluma
- deposição seca e molhada
- decaimento radioativo
- parâmetros de difusão que variam com a distância
- efeito de esteira

5.0 - MÓDULO DE CÁLCULO DE DOSE

O modelo de cálculo de dose adotado no SCA-Angra 2 compreende os seguintes tipos:

- (1) dose na tireóide devido a inalação
- (2) dose no pulmão devido a inalação
- (3) dose de corpo inteiro devido a imersão na pluma

5.1 - CÁLCULO DA DOSE POR INALAÇÃO

São calculadas as doses por inalação para os órgãos mais críticos, a saber: a tireóide e o pulmão. Neste cálculo são usados os fatores de dose e a taxa de respiração referentes ao grupo de indivíduos mais críticos da população, que é aquele formado pelas crianças de até um ano de idade.

No cálculo da dose na tireóide, apenas os iodios são considerados.

No cálculo da dose no pulmão são considerados os gases nobres, os radioiodios e os particulados.

Os cálculos da dose na tireóide e no pulmão são baseados na referência /6/.

5.2 - CÁLCULO DA DOSE POR IMERSÃO NA NUVEM

Apenas os gases nobres são considerados no cálculo da dose de corpo inteiro por imersão. Este cálculo é realizado pelo modelo de pluma finita.

A equação básica do modelo de pluma finita foi extraída da ref/7/.

O modelo de pluma finita implementado no SCA-A2 segue o seguinte procedimento:

- (1) para cada ponto da malha horizontal, tomado no centro da face ao nível do solo, o modelo de transporte e difusão fornece as concentrações ao nível do solo e em três outros pontos situados a 50m, 125m e 275m de altura em relação ao terreno
- (2) a cada um dos quatro pontos referidos, é associado um volume de 500m nas direções horizontais e alturas iguais a 25m, 50m, 100m e 200m, respectivamente
- (3) assumindo que cada volume contém uma concentração uniforme, igual ao valor calculado para o seu centro, então a contribuição de cada volume é calculada

5.3 - MÓDULO PROJEÇÃO

Tendo por base os resultados do cenário atual de um acidente com liberação de material radioativo na atmosfera, é efetuada uma estimativa, para tempos futuros de até duas horas, das doses a que poderão estar sujeitos receptores na área de interesse.

A projeção de doses é realizada supondo que:

- (a) as condições meteorológicas do ciclo atual persistirão durante todo o tempo considerado. Portanto, o campo de velocidade de vento que governa o transporte do material na atmosfera bem como o de estabilidade atmosférica são os mesmos do ciclo atual;
- (b) são conhecidas as taxas de emissão dos radionuclídeos que seriam liberados durante o período de projeção (por exemplo, primeira hora seguinte ao ciclo atual), bem como o tempo de duração desta liberação.

6.0 - INTERFACE COM O USUÁRIO

O SCA-A2 é constituído de um conjunto de telas que tem como objetivo, o monitoramento de uma nuvem radioativa durante uma eventual situação de emergência em Angra 2.

O propósito do SCA-A2 é exibir graficamente dados de monitoração ou simulação de acidentes, e também disponibilizar informação geográfica fornecendo meios para subsidiar treinamentos e tomada de decisões diante de um eventual acidente.

As telas do sistema seguirão padrão Windows, disponibilizando funções através de menus, teclas de atalho, botões e utilização do mouse.

A janela de representação da pluma radioativa conterá todos os dados relevantes como: tipo do acidente, data/hora do ciclo, ciclo, tipo de monitoração, etc...

7.0 - CONCLUSÃO

O SCA-A2 é uma excelente ferramenta auxiliar para o pessoal encarregado de gerenciar uma eventual situação de emergência em Angra 2, envolvendo liberação acidental de radionuclídeos para o meio ambiente, por se tratar de um sistema em tempo real.

Como uma situação de emergência exige tomada de decisões baseadas em informações rápidas, o SCA permite que os vários órgãos envolvidos acompanhem, simultaneamente, o deslocamento de uma nuvem radioativa e fornece valores calculados de doses para a situação atual e projetada para 1 e 2 horas, na região abrangida pela malha do sistema.

O SCA é um sistema a ser usado fundamentalmente em situações de emergência quando da ocorrência de uma potencial liberação de atividade para o meio ambiente.

Secundariamente, em situação normal, o SCA pode ser usado no modo simulado para fins de análise ou treinamento.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Relatório Final de Análise de Segurança - FSAR - Angra 2
- (2) West.Furnas - Versão 1P, programa-fonte fornecido pelo DCS.N Furnas Centrais Elétricas S.A.
- (3) Brenk, H.D. et alli, "Transport of Radionuclides in the Atmosphere", in Radiological Assessment - A Textbook on Environmental Dose Analysis, ed. Till, E.J. and Meyer, H.R., U.S. - NRC, NUREG/CR3332, ORNL-5968 (1983)
- (4) U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Atmospheric Dispersion Models for Potential Accident Consequence Assessments at Nuclear Power Plants", Regulatory Guide 1.145 (1979)
- (5) Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting, IAEA Safety Guides, Safety series No 50-SG-S3 (1980)
- (6) U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR Part 50, Appendix I", Regulatory Guide 1.109, Washington, D.C. (1977)
- (7) U.S. Nuclear Regulatory Commission,, "Nomograms for Evaluation of Dose from Finite Noble Gas Clouds", NUREG-0851, (1983).