

## ANÁLISE DE SISTEMA DE CÁLCULO PARA BLINDAGEM DE RADIAÇÃO

Wilson J. Vieira\*, Luiz H. Claro\*, Artur F. Dias\* e Shizuca Ono\*,  
Arlindo G. Mendonça\*\*, Gelson T. Otani\*\* e Alfredo Abe\*\*\*

\*Instituto de Estudos Avançados, CTA/IEAv  
Caixa Postal 6044  
12231-970, São José dos Campos, SP

\*\*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP  
Travessa R, 400 Cidade Universitária  
05508-900 São Paulo, SP

\*\*\*Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, CTMSP  
Av. Professor Lineu Prestes, 2242  
05596-900 Cidade Universitária, São Paulo, SP

### RESUMO

Este trabalho consiste da implementação de um sistema computacional de análise de blindagens para reatores nucleares. O sistema tem como objetivos facilitar a instalação da estrutura de cálculo, a montagem dos problemas e a análise dos resultados. Para isso foram escolhidos vários programas computacionais comumente utilizados para preparação de seções de choque e para o transporte de radiação. Este trabalho representa a capacitação necessária para o projeto de blindagens para reatores nucleares e aceleradores de partículas, para auxiliar nos experimentos e na utilização de técnicas nucleares, e para pesquisas teóricas em geral que requeiram o estabelecimento do campo de radiação.

O sistema foi implementado em ambiente PC-DOS e consiste de programas necessários e suficientes para a geração de seções de choque, constantes de grupo, fatores de autoblindagem e geração de fontes de ativação; e para o cálculo de fluência de nêutrons e gamas, taxas de dose e outros tipos de funções resposta.

### I. INTRODUÇÃO

Como primeiro passo para o cálculo de blindagem para radiação, é feita a implementação dos programas computacionais. Nesta fase a maior dificuldade é a operação satisfatória destes programas no sistema operacional escolhido. Neste trabalho foi escolhido o sistema operacional DOS por diversos motivos: preço menor do equipamento e manutenção, transportabilidade do sistema, flexibilidade na escolha e padronização de softwares e periféricos, etc. Outro motivo é que uma vez implementado neste, um programa pode ser facilmente implementado também em estação de trabalho. Outra razão é a maior disponibilidade de PCs. Estes também podem ser responsáveis pela maioria dos cálculos, deixando para estações de trabalho ou supercomputadores alguns cálculos mais exigentes em capacidade de hardware. Atualmente, a facilidade de comunicação favorece o aparecimento de

centros de supercomputadores que podem ser utilizados por pesquisadores de todo o país. O sistema implementado não é compatível com WINDOWS por causa dos compiladores FORTRAN utilizados. Porém, é esperado que em futuro próximo o sistema esteja disponível também em WINDOWS. A configuração de um PC para utilização confortável do sistema é: 32 Mb de RAM, 1 Gb de disco rígido e processador de 166 Mhz.

O resultado final a ser obtido é um sistema mais eficiente para geração de seções de choque, constantes de grupo, fatores de autoblindagem, cálculo de fluência de nêutrons e gamas, taxas de dose, geração de fontes de ativação e outros tipos de funções resposta.

A seguir é feita uma descrição da metodologia utilizada e os critérios para análise do sistema. Na seção Projeto Lógico são mostrados os diagramas da análise de sistemas e na seção Projeto Físico são comentados os programas implementados.

## II. METODOLOGIA

Os programas mais utilizados mundialmente para cálculo de transporte de radiação e geração de parâmetros nucleares foram selecionados e implementados em computador pessoal. Os casos exemplos foram resolvidos e documentados apropriadamente para auxiliar na programação e solução de novos casos. Foram estabelecidos contatos com outros laboratórios de pesquisa nuclear para aproveitar o trabalho feito por outros pesquisadores e também de difundir nosso próprio trabalho.

Técnicas de análise de sistemas[1] foram utilizadas para confecção do trabalho porque permitem uma visão mais detalhada dos componentes do sistema, além de oferecerem uma linguagem mais universal para que usuários iniciantes não tenham maiores dificuldades. Outra questão importante, é a documentação do sistema que constitui-se atualmente de sete volumes com os manuais dos programas, dicas de implantação, problemas amostra, e problemas padrão. Contém também a explicação de pequenas modificações e de detalhes aparentemente de pequena importância, que na realidade são fundamentais para o sucesso da implementação e utilização dos programas.

## III. ANÁLISE PRELIMINAR DO SISTEMA

Nesta seção é utilizada a teoria de análise de sistemas para estabelecer um conjunto de procedimentos necessários para realização de cálculos de blindagem. As definições e aspectos característicos são discutidos a seguir.

**Usuário.** É o pesquisador da área nuclear que utiliza computadores, dados nucleares e programas computacionais para calcular parâmetros tais como: fluência de nêutrons, taxa de dose, fontes de ativação, geração de calor, etc.

**Cliente.** Projeto de desenvolvimento científico e tecnológico que visa o conhecimento da ciência nuclear para que o país possa usufruir com segurança e economia dos benefícios da energia nuclear.

**Problemas a Serem Solucionados.** Problemas objetivos: dificuldade de rápido atendimento, transportabilidade, flexibilidade e pouco equipamento. Problemas subjetivos: poucos e pequenos investimentos na área nuclear.

**Identificação das Atividades.** Os institutos de pesquisa em questão têm atividades relacionadas com a utilização da energia nuclear. O pesquisador/usuário da área nuclear participa de projetos e pesquisas em sua instituição de origem e em outros institutos. O usuário poderá indicar técnicas de solução, fornecer informações e calcular parâmetros relativos à utilização e presença de radiação.

Os trabalhos não somente se aplicam em reatores nucleares, mas também em aceleradores de partículas, fontes isoladas, equipamentos que utilizem material

radioativo, experimentos de fusão e na utilização de técnicas nucleares.

**Objetivos do Sistema.** O objetivo principal do sistema é a melhoria da capacitação em análise de blindagem de reatores nucleares, isto é, fazer um sistema de programas computacionais e arquivos de dados nucleares mais portátil, mais fácil e confortável de ser usado, mais flexível quanto às alterações e substituição por novas versões e, portanto, proporcionando economia e tempos menores entre o início e a conclusão de tarefas.

**Características Desejáveis no Sistema.** Facilidade de operar, instalar, fornecer dados e interpretar resultados; facilidade de validação dos resultados quanto à correção, precisão e suficiência; facilidade de incorporação de alterações; facilidade de mudança de ambiente de execução dos programas; preparado para diferentes formas de uso; e preparado para reutilização.

**Abrangência do Sistema.** O sistema é inicialmente destinado à blindagem de radiações. No entanto, com a disponibilidade de melhores computadores no futuro, o sistema poderá ser utilizado para cálculo de núcleo de reatores nucleares utilizando apenas a teoria de transporte.

**Restrições do Sistema.** Considerando o equipamento e o sistema existentes, o trabalho será feito tendo como alvo a integralização do material disponível. Após esta integralização serão estudadas formas mais apropriadas de garantir os objetivos prescritos, dentro das restrições existentes e perspectivas futuras.

## IV. PROJETO LÓGICO

As figuras 1 a 6 mostram os diagramas de análise de sistema utilizados. Outros diagramas, as definições de entidades, processos, depósitos de dados, fluxos de dados e dicionário dos dados que compõem todos os diagramas de fluxo de dados (DFD) do sistema encontram-se na referência [2]

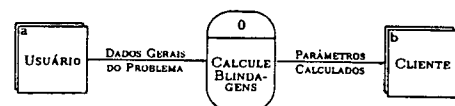


Figura 1. Diagrama de Contexto.



de maior utilização em cálculos de transporte. Esta estrutura segue a linha americana, sendo que os sistemas europeu, japonês, alemão e inglês são também originários desta estrutura[11].

**Instalação dos Códigos ANISN, DOT e MORSE.** Os códigos ANISN, DOT e MORSE foram os primeiros programas implementados em DOS. As dificuldades encontradas auxiliaram na instalação dos programas seguintes. Estes programas foram rodados com casos exemplos e os resultados foram equivalentes, visto que estes problemas são relativamente simples.

Na versão do programa DOT implementada, foi inserida uma nova subrotina, "DISOFL", que imprime os isofluxos calculados, relacionando valores do fluxo com letras do alfabeto, permitindo uma visualização dos fluxos na geometria sendo estudada.

**Instalação do Código MCNP.** O MCNP permite sua instalação em vários sistemas operacionais. Para instalação em micro foi escolhida a opção IBM que não ofereceu maiores dificuldades. Infelizmente, a versão disponível não tem suporte gráfico no sistema DOS.

**Instalação do Sistema NJOY.** O sistema NJOY consiste de um conjunto de módulos computacionais que permitem a produção de seções de choque para nêutrons e fótons de forma pontual e multigrupo, a partir da biblioteca de dados avaliados ENDF/B.

Como ilustração, na Figura 7 tem-se o gráfico da seção de choque de captura do Pu-238 obtido com o sistema NJOY implementado, descrito na legenda como PC e o obtido no Laboratório de Los Alamos (LANL). Pode-se observar diferenças mínimas.

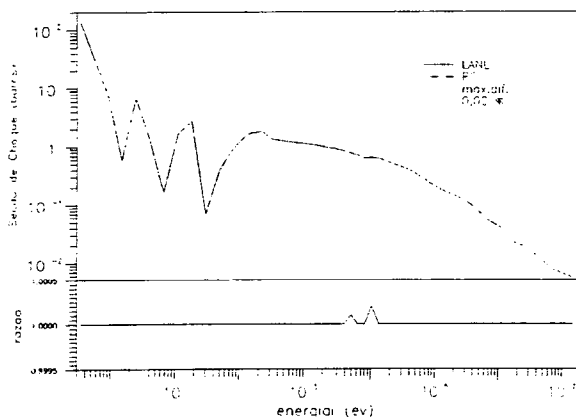


Figura 7. Seção de Choque de Captura do Pu-238.

**Instalação do Sistema AMPX.** Os programas do sistema AMPX foram migrados para DOS e testados com a biblioteca VITAMIN-C, cujos problemas amostra foram reproduzidos com precisão. Várias aplicações têm utilizado

o sistema implementado confirmando a facilidade e versatilidade dos programas e das bibliotecas instalados em computador pessoal.

**Instalação da Biblioteca VITAMIN-C.** Esta biblioteca consiste de três arquivos contendo dados de seções de choque multigrupo para nêutrons, gamas e produção de gamas. Esta biblioteca foi construída para os programas americanos de reator rápido e de fusão controlada. Pode ser utilizada para outros propósitos e por isto tornou-se difundida mundialmente.

**Outros Programas.** Outros programas que podem ser incluídos no sistema são outras bibliotecas distribuídas pelo Radiation Shielding Information Center, RSIC, e pela Nuclear Energy Agency, NEA. Neste aspecto, deve-se ter o cuidado de não comprometer a versatilidade, flexibilidade, transportabilidade e facilidade de utilização do sistema implementado com a adição de programas redundantes.

**Estrutura do Sistema.** A Figura 8 apresenta a árvore de diretórios do sistema completo a ser obtido. Nesta figura cada coluna deve ser interpretada como um nível de subdiretório conforme a notação do sistema operacional DOS. Na primeira coluna tem-se o diretório principal SARN (Sistema de Análise de Reatores Nucleares). Abaixo deste, encontra-se os subdiretórios: PROGRAMS, X-SECTNS, AUXILIRS, DOCMNTS, COMPILRS, DIFFUSIN, THERMHD e DYNAMICS. Dentro dos subdiretórios PROGRAMS, X-SECTNS e AUXILIRS estão contidos outros subdiretórios que possuem nome iguais aos programas que eles contém, por exemplo, ANISN, DOT, etc. Dentro destes últimos estão contidos os

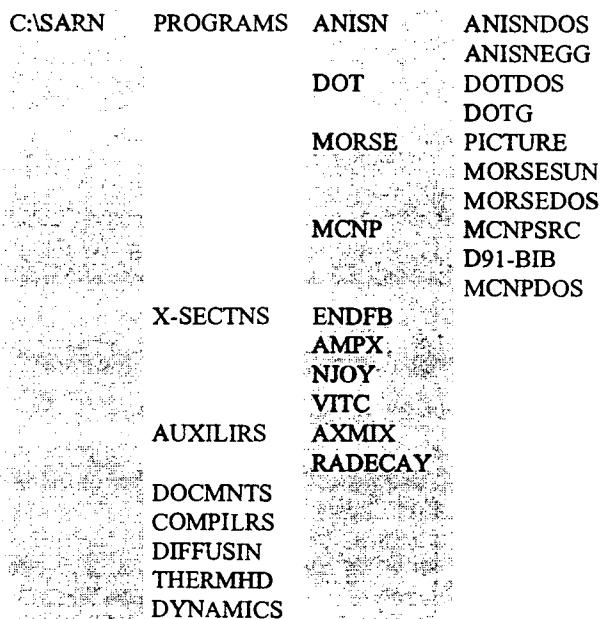


Figura 8. Árvore de Diretórios do Sistema.

programas fontes e executáveis a serem propriamente utilizados. Com exceção dos subdiretórios DIFFUSIN, THERMHD e DYNAMICS, todos os outros já se encontram implementados e operacionais. Esta figura ilustra a versatilidade e transportabilidade do sistema, que poderá ter no futuro capacidade de cálculo de difusão, termoidráulica e sistemas dinâmicos. Sendo que sua implementação pode ser feita apenas copiando a árvore de diretórios SARN.

## VI. CONCLUSÕES

Embora os programas de cálculo aqui apresentados sejam os comumente utilizados na área de transporte de radiação, o mérito deste trabalho consiste em agrupá-los de forma a facilitar a sua pronta e eficiente utilização e disponibilidade. Devido à necessidade de se reunir duas áreas diferentes, isto é, dados nucleares e transporte de radiação, o cálculo de blindagem é dificultado pois a dispersão de esforços e programas contribui para a não racionalização dos trabalhos necessários. Através da integração destas áreas, foi aumentada a eficácia, a transportabilidade e a disponibilidade do sistema de cálculo. Infelizmente, os trabalhos característicos envolvidos nos cálculos de blindagem, tais como geração de seções de choque e definição de materiais e geometria, não podem ser minimizados, porque exigem do usuário experiência e conhecimento do assunto. Porém, o sistema aqui apresentado contribui para uma visualização global e, portanto, caminha na direção da facilidade de uso.

O sistema implantado é complexo, no entanto este trabalho é uma contribuição no sentido de tornar disponível um ambiente eficiente para cálculo de transporte de radiação e apropriado para realização de pesquisas e trabalhos científicos.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP.

## REFERÊNCIAS

- [1] GANE, C. and SARSON, T. *Análise Estruturada de Sistemas*. L. T. C. Editora S. A., 1983.
- [2] VIEIRA, W. V., CLARO, L. H., DIAS, A. F., e ONO, S., *Relatório de Implantação de Sistema para Análise de Transporte de Radiação*. Relatório Interno IEAv/CTA/RI 007/95, Instituto de Estudos Avançados, CTA, 1995.

[3] KINSEY, R. *ENDF-102, data formats and procedures for the evaluated nuclear data file, ENDF*. Technical Report BNL-NCS-50496 (ENDF 102), 2nd Edition (ENDF/B-V), Brookhaven National Laboratory, 1979.

[4] ROUSSIN, R. R., et al. *VITAMIN-C - 171 neutron, 36 gamma-ray group cross section in AMPX and CCCC interface formats for fusion and LMFBR neutronics*. Technical Report RSIC/DLC--41, Oak Ridge National Laboratory, 1977.

[5] GREENE, N. M., FORD III, W. E., PETRIE, L. M., and ARWOOD, J. W. *AMPX-II - A modular code system for generating coupled multigroup neutron and gamma ray cross section libraries from data in ENDF format*. Technical Report RSIC/PSR--63, Oak Ridge National Laboratory.

[6] MACFARLANE, R. E., MUIR, D. W., and BOICURT, R. M. *The NJOY nuclear data processing system*. Technical Report LA-9303-M, Los Alamos National Laboratory, May 1982.

[7] ENGLE, W. W. *ANISN - A one-dimensional discrete ordinate transport code*. Technical Report RSIC/CCC--254, Oak Ridge National Laboratory, 1979.

[8] RHOADES, W. A. and MYNATT, F. R. *DOT 3.5 - Two dimensional discrete ordinates radiation transport code*. Technical Report RSIC/CCC--276, Oak Ridge National Laboratory.

[9] EMMETT, M. B. *MORSE-CGA - A general purpose Monte Carlo multigroup neutron and gamma-ray transport code system with array geometry capability*. Technical Report RSIC/CCC--474, Oak Ridge National Laboratory, October 1987.

[10] BRIESMEISTER, J. *MCNP - A General Monte Carlo code for neutron and photon transport, Version 3a*. Technical Report LA-7396-M, Los Alamos National Laboratory, September 1986.

[11] ONO, S. and DIAS, A. F. *Programa de blindagem unificado de futuros reatores rápidos europeus*. Technical Report IEAv - 001/94, Instituto de Estudos Avançados -- CTA, 1994.

## ABSTRACT

This work consists of the implementation of a computational system for nuclear reactor shielding analysis. The system has as objectives to facilitate the installation of the calculation framework, problem set-up, and analysis of the results. Several computational programs commonly used for cross-section preparation and radiation transport

were chosen for the system. This work represents the capacity necessary for nuclear reactor and particle accelerator shielding design, to aid in nuclear experiments and in the utilization of nuclear techniques that require the calculation of the radiation field.

The system was implemented in PC-DOS environment and consists of the necessary and sufficient programs and data for the generation of cross sections, group constants, self-shielding factors, activation sources, for the calculation of neutron and gamma-ray fluence, dose rates, and other types of response functions.