AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Desenvolvimento de um programa computacional para gerenciamento de
banco de dados de material nuclear**

Julio Benedito Marin Tondin

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau
de Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

**Orientador:
Prof. Dr. Tufic Madi Filho**

**São Paulo
2011**

AGRADECIMENTOS

Agradeço

Em primeiro lugar a Deus, que ilumina e orienta todos os meus passos.

Aos meus pais, Julio e Catharina, que construíram a base de quem sou hoje.

À Wania, minha esposa, e aos meus filhos Fernanda e André, que me estimulam a ser sempre melhor.

Ao Dr. Tufic Madi Filho, estimado orientador da dissertação de mestrado, pessoa que admiro e respeito.

Aos meus amigos em especial a equipe de operação do Reator IEA-R1 pela ajuda durante a elaboração deste trabalho.

DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS DE MATERIAL NUCLEAR.

JULIO BENEDITO MARIN TONDIN

RESUMO

Em instalações nucleares o controle do material nuclear é uma das atividades da maior importância. A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a Agencia Internacional de Energia Atomica (AIEA) quando de suas inspeções rotineiras tem os dados fornecidos como um fator de segurança. Ter um sistema de controle de material nuclear que permita a qualquer momento reportar a quantidade e a localização dos diversos itens a serem inspecionados é um fator de primordial importância nos dias de hoje.

Neste trabalho objetivou-se aprimorar um sistema já existente utilizando para seu desenvolvimento uma plataforma mais amigável através da linguagem de programação VisualBasic (Microsoft Corporation) para facilitar a equipe de operação do Reator IEA-R1 o fornecimento de dados que possibilitem o melhor controle dos materiais nucleares do Reator IEA-R1. Esses dados tem permitido o desenvolvimento de trabalhos a serem apresentados em congressos nacionais ou internacionais bem como em dissertações de mestrado ou teses de doutorado. O programa foi desenvolvido para atender as exigências das normas de salvaguarda da CNEN e da AIEA, mas suas funções podem ser ampliadas conforme as necessidades futuras. Este sistema poderá ser utilizado em outros reatores que por ventura sejam contruidos no pais, pois é bem pratico e sua utilização permite um um controle efetivo sobre o material nuclear da instalação.

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR MANAGING NUCLEAR MATERIAL DATABASE

JULIO BENEDITO MARIN TONDIN

ABSTRACT

In nuclear facilities, the nuclear material control is one of the most important activities. The National Commission of Nuclear Energy (CNEN) and the International Atomic Energy Agency (IAEA), when inspecting routinely, regards the data provided as a major safety factor. Having a control system of nuclear material that allows the amount and location of the various items to be inspected, at any time, is a key factor today.

The objective of this work was to enhance the existing system using a more friendly platform of development, through the VisualBasic programming language (Microsoft Corporation), to facilitate the operation team of the reactor IEA-R1 Reactor tasks, providing data that enable a better and prompter control of the IEA-R1 nuclear material. These data have allowed the development of papers presented at national and international conferences and the development of master's dissertations and doctorate theses.

The software object of this study was designed to meet the requirements of the CNEN and the IAEA safeguard rules, but its functions may be expanded in accordance with future needs. The program developed can be used in other reactors to be built in the country, since it is very practical and allows an effective control of the nuclear material in the facilities.

SUMÁRIO

	Pagina
1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Histórico	7
1.2 Definições	9
2 OBJETIVOS	11
3 REVISÃO DA LITERATURA.	12
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
4.1 VisualBasic.....	14
4.2 Metodologia de cálculo	18
4.2.1 Fator de conversão da fissão em energia	18
4.2.2 Fluxo de nêutrons térmicos médio na posição	19
4.2.3 Cálculo de queima de ^{235}U	20
4.2.4 Cálculo da queima de Urânio total	21
4.2.5 Formação de Plutônio	21
5 RESULTADOS	22
5.1 Tela principal	22
5.2 Módulo para cálculo de queima de ^{235}U e produção de ^{239}Pu	24
5.3 Editor de arquivos	28
5.4 Queima por configuração	31
5.5 Câmaras de fissão	34
5.6 Outros materiais	37
6 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	40
7 - CONCLUSÃO.	50
TRABALHOS FUTUROS	51
ANEXO - Planilha Excel	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Função dos Botões do Programa	22
Tabela 2: Massa Final dos Elementos Combustíveis	40
Tabela 3: Queima dos Elementos Combustíveis	41
Tabela 4: Diferença de Queima dos Elementos Combustíveis com relação ao Programa Atual.....	41
Tabela 5: Cálculo da Queima de ^{235}U na Configuração 218	41
Tabela 6: Cálculo da Queima de ^{235}U na Configuração 219	42
Tabela 7: Queima do Elemento Combustível 193	43
Tabela 8: Queima do Elemento Combustível 194	44
Tabela 9: Queima do Elemento Combustível 195	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Configuração básica do núcleo do reator.....	8
Figura 2: Tela inicial do VisualBasic	15
Figura 3: Tela inicial do módulo de programação do VisualBasic	16
Figura 4: Tela do módulo de programação do VisualBasic	17
Figura 5: Esquema de uma célula básica utilizada no programa TWODB.....	19
Figura 6: Tela principal apresentando os botões de funções do programa	23
Figura 7: Tela do módulo para cálculo de queima de ^{235}U e produção de ^{239}Pu ...	25
Figura 8: Tela do módulo para cálculo de queima de ^{235}U e produção de ^{239}Pu preenchido	26
Figura 9: Formulário gerado pelo módulo para cálculo de queima de ^{235}U e produção de ^{239}Pu	27
Figura 10: Tela do módulo para edição de arquivo	29
Figura 11: Tela do módulo para edição de arquivo preenchido	30
Figura 12: Tela do módulo para cálculo de queima individual na configuração.....	32
Figura 13: Tela do módulo para cálculo de queima individual na configuração preenchido.	33
Figura 14: Tela do módulo com dados das câmaras de fissão.....	35
Figura 15: Tela do módulo com dados das câmaras de fissão preenchido.	36
Figura 16: Tela do módulo com dados de outros materiais	38
Figura 17: Tela do módulo com dados de outros materiais preenchido	39
Figura 18: Comparação da queima de ^{235}U , para o EC 193, nas várias configurações	46
Figura 19: Comparação da queima de ^{235}U , para o EC 194, nas várias configurações	47
Figura 20: Comparação da queima de ^{235}U , para o EC 195, nas várias configurações	48
Figura 21: Destaque da queima de ^{235}U , para o EC 195, na configuração 218 ...	49

CAPITULO 1 INTRODUÇÃO

Toda instalação nuclear deve possuir um sistema de salvaguardas confiável, cujo objetivo é o gerenciamento de material nuclear que permita avaliar a qualquer tempo, o inventário de cada um dos itens de material nuclear presentes numa instalação, além de indicar os locais onde estão estocados ou sendo utilizados. No reator de pesquisa IEA-R1, controla-se a queima de urânio e a produção de plutônio, sendo que na queima de urânio são registradas a massa total do elemento e de seu isótopo físsil (^{235}U), e na produção de plutônio, apenas a massa total do elemento é registrada.

Para os países signatários de acordos com a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) [1], esse gerenciamento é essencial, pois, nas visitas regulares de inspetores deste órgão internacional, os dados relativos aos materiais nucleares, tais como, inventário de combustível queimado, inventário de urânio enriquecido, etc., devem estar disponíveis e calculados segundo procedimentos aceitos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e pela IAEA.

O desenvolvimento de sistemas de controle de material nuclear é um dos requisitos básicos para o licenciamento de uma instalação nuclear, conforme o item 7 da Norma CNEN - NE - 1.04 “Licenciamento de Instalações Nucleares”, de Dezembro de 2002 [2].

A autorização para utilização de material nuclear só será concedida após a comprovação de que a instalação está pronta para receber o material nuclear e após o cumprimento, pelo requerente, das condições pertinentes exigidas na norma CNEN - NN - 2.02, “Controle de Materiais Nucleares”, de Setembro de 1999.[3].

1.1 HISTÓRICO

O reator IEA-R1 é do tipo piscina aberta, refrigerado e moderado com água leve com refletores de berílio e grafite.

O reator foi projetado e construído pela Babcock & Wilcox Co., em um acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear e financiado pelo governo dos Estados Unidos no programa "Átomos para a Paz".

FIGURA 1 – Configuração básica do núcleo do reator

O núcleo do reator (Figura 1) é composto por 20 elementos combustíveis padrão (18 placas combustíveis), 4 elementos combustíveis de controle (12 placas combustíveis) e um elemento de irradiação de berílio colocado na posição central, organizados em uma matriz 5x5 e montados em uma placa matriz com 80 buracos. As posições da grade restantes são preenchidas com elementos refletorores e dispositivos experimentais (elementos de irradiação).

Quatro monitores de nêutrons são posicionados acima do topo dos elementos refletor. A grade é suspensa por uma estrutura de alumínio afixada em uma ponte móvel localizado na parte superior da piscina.

O controle da queima dos elementos combustíveis usados nas diversas configurações do núcleo do reator IEA-R1 tem sido feito desde 1957, ano em que foi realizada a primeira operação deste reator.

Desta época até os dias de hoje, uma evolução nos recursos tecnológicos disponíveis para se realizar esta tarefa pode ser observada. Inicialmente, os cálculos eram realizados manualmente com a ajuda de calculadoras elétricas e eletrônicas. Posteriormente, com a possibilidade de uso de computadores, foi desenvolvido um programa utilizando a linguagem Fortran IV (1978) para efetuar esse cálculo. Neste caso, a alimentação de dados no computador de grande porte do IPEN era feita através de cartões perfurados e, após o processamento, um relatório impresso era gerado. Com o advento da micro-informática (1982), o programa original foi codificado para a linguagem Basic (MBR.BAS), sendo utilizado até os dias atuais, com algumas modificações.

1.2 DEFINIÇÕES

Apresentamos a seguir as definições de alguns termos utilizados neste trabalho [3]:

Acordo de Salvaguardas - Acordo entre dois ou mais países, entre si, ou com uma ou mais Agências, que tem por objetivo a contabilidade e o controle de material nuclear, estabelecendo um compromisso desses países para o uso exclusivamente pacífico da energia nuclear.

Área de Balanço de Material - Área pertencente a uma instalação, ou outro lugar, na qual se pode determinar:

- a) a quantidade de material nuclear que entra e que sai da área;
- b) o inventário físico do material nuclear presente na área.

Inspeção - Conjunto de atividades realizadas pela CNEN para verificar se o uso do material nuclear está conforme declarado. Estas atividades podem incluir outras verificações (outros materiais, instalações, equipamentos, serviços e

informações). As atividades de inspeção incluem a verificação do questionário técnico, o exame de registros de contabilidade e de operação, a verificação da consistência entre registros e relatórios, a verificação do material nuclear, a verificação do funcionamento e da calibração de equipamentos de medida de material nuclear, aplicação e verificação dos dispositivos de contenção e equipamentos de vigilância e outras atividades necessárias para que a CNEN se assegure da conformidade de documentação, materiais e equipamentos com requisitos ou condições pré-determinadas ou aceitas pela CNEN

Instalação Nuclear - Instalação na qual o material nuclear é produzido, processado, reprocessado, utilizado, manuseado ou estocado em quantidades superiores a 1 (um) quilograma efetivo. Estão compreendidos nesta definição: reatores, plantas de conversão, plantas de fabricação, plantas de reprocessamento, plantas de separação de isótopos ou locais de armazenamento.

Material Nuclear - Urânio, Plutônio e Tório, sob qualquer forma, e, qualquer material que os contenha e, ainda, qualquer outro material que a CNEN venha a determinar no futuro. São excluídos desta definição minérios e ganga;

CAPITULO 2 OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um programa computacional para gerenciamento do banco de dados de material nuclear de uma instalação. Para tanto, a linguagem de programação Visual Basic (Microsoft Corporation) foi sendo utilizada, uma vez que sua interface gráfica é amigável para o usuário.

A proposta do trabalho é que o programa desenvolvido tenha a capacidade de calcular a queima de urânio, a produção de plutônio, bem como, o inventário total de urânio e plutônio e atualizar arquivos contendo os registros referentes à salvaguarda de material nuclear e à gestão da qualidade do reator de pesquisa IEA-R1, pertencente ao Centro do Reator de Pesquisa (CRPq) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP.

CAPITULO 3 REVISÃO DA LITERATURA

Pesquisadores de vários países desenvolvem trabalhos referentes ao gerenciamento de materiais nucleares e aos acordos internacionais de salvaguarda. A seguir são apresentados exemplos de trabalhos desenvolvidos nesta área.

Bencová, A. [4] apresenta como os materiais nucleares sob a jurisdição da República Eslovaca estão armazenados e como são utilizados em cinco instalações nucleares e em locais fora destas instalações (*LOFs - Location Outside Facilities*), materiais nucleares para finalidades não-nucleares. Estas atividades são executadas de acordo com regulamentos legais e compromissos internacionais de salvaguarda deste país.

Maceiras, E.; Fernández Moreno, S.; Castro, L.B.; Saavedra, A.D.; Mairal, M.L.; Valentino, L.I.; Vicens, H.E. y Llacer, C.D. [5] mostram em seu trabalho “Towards a new system of accounting of nuclear material” como a Autoridade Regulatória Nuclear (ARN) da Argentina garante o cumprimento das normas reguladoras nacionais no domínio nuclear e dos compromissos internacionais de salvaguardas assumidos por este país, especialmente aqueles relacionados à contabilidade e controle de materiais nucleares. Para cumprir esta responsabilidade, são realizadas inspeções e auditorias nacionais no operador de sistema contábil e de medição, gerando um grande volume de dados a serem processados e avaliados. Para gerir esta informação de forma eficiente, a ARN implementou um sistema de controle composto por três bases de dados: Sistema de Controle de Material Nuclear (SCMN), Sistema de Inspeção de Salvaguarda (SIS) e Sistema do Operador (SOP), que interagem entre si.

Sembiring, T.M. e Liem, P.H. [6], no trabalho “Development and verification of fuel burn-up calculation model in a reduced reactor geometry”, afirmam que o nível de queima para cada elemento de combustível no núcleo é um dos parâmetros mais importantes para o gerenciamento de combustível nuclear.

Meftah, B., Halilou, A., Letaim, F., Mazidi, S., Mokedem, M.Y. e Zeggar, F. [7] apresentam o desenvolvimento do programa BURNUR.SYS para cálculo de

“burn-up” baseado na linguagem DELPHI 7, que tem por finalidade, além do cálculo já referido, fornecer uma interface gráfica mais amigável aos usuários.

Friedman, G. H. [8], em seu relatório de auditoria "Nuclear Materials Accounting Systems Modernization Initiative", feito para o Departamento de Energia (DOE) do governo dos Estados Unidos da América, estima haver um gasto anual de cerca de 217 milhões de dólares para operar mais de 50 sistemas distintos de controle de material nuclear e executar outros procedimentos necessários para manter a prestação de contas sobre o inventário deste material. Devido ao fato destes sistemas não serem totalmente integrados, a obtenção de dados abrangentes sobre o material nuclear torna-se trabalhosa. Além dos muitos sistemas locais, o DOE também mantém o NMMSS (Nuclear Materials Management Safeguards System). Usado desde 1965, o NMMSS compreende um componente importante do sistema de contabilidade de material nuclear do Governo americano. Este sistema contém os dados sobre a quantidade, bem como dados de transações individuais em transferências de materiais nucleares, tanto internas como externas aos Estados Unidos da América. O Departamento de Energia e a Comissão Reguladora Nuclear (NRC) gastam na operação do NMMSS, 4 milhões de dólares anuais. Reconhecendo a ineficácia da manutenção de numerosos sistemas de monitoramento, o Departamento de Energia desenvolveu um estudo para modernizar os sistemas de gestão de materiais nucleares.

CAPITULO 4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 VISUAL BASIC

Todo programa deste trabalho foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação VisualBasic (Microsoft Corporation), esta permite a criação de uma interface amigável entre o operador e o sistema. [13]

Uma das maiores vantagens da interface gráfica é que o usuário pode interagir com um conjunto padronizado de objetos, tais como janelas, botões e barras de deslocamento. Aplicativos que usam esses objetos padrões comportam-se de forma padrão, simplificando o aprendizado do aplicativo. Uma parte do trabalho do programador é selecionar o estilo de interação mais apropriado para a situação e escrever os seus programas *de forma que possam ser utilizados intuitivamente pelo usuário*.

Em um ambiente GUI (Graphical User Interface – Interface Gráfica com Usuário), o usuário interage com os objetos apresentados na tela, para dar início a eventos - abrir uma janela, dar um clique em um ícone, escolher um item de menu, e por meio disto, controlar o aplicativo. O Visual Basic transforma eventos iniciados pelo usuário em atividade programada, chamando o procedimento associado ao evento. A codificação que você insere no tal procedimento de evento implementa a resposta apropriada à interação com o objeto.

A Figura 2 apresenta a tela do ambiente de programação do VisualBasic, quando o sistema de programação é inicializado temos a janela “Form 1” onde devem ser colocados os ícones da coluna “General” localizada no lado esquerdo da tela. Cada ícone tem uma função específica.

Na Figura 3 temos as linhas de programação referentes a cada ícone colocado no “Form”.

A Figura 4 nos mostra a tela do “Form” preenchida, cada botão na parte inferior representa um módulo dentro do programa.

FIGURA 2 – Tela inicial do VisualBasic

FIGURA 3 – Tela inicial do módulo de programação do VisualBasic

FIGURA 4 – Tela do módulo de programação do VisualBasic

4.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para o cálculo da queima de urânio e da produção de plutônio no reator IEA-R1 são considerados a energia dissipada durante a operação e o fluxo térmico médio na posição do elemento combustível no núcleo do reator.

4.2.1 FATOR DE CONVERSÃO DA FISSÃO EM ENERGIA.

Em geral, as unidades de energia são convertidas do nível microscópico (por exemplo, MeV) para unidades macroscópicas (por exemplo, MWh). Isto vale no caso da energia nuclear, onde um número grande de fissões deve ocorrer para liberar uma quantidade macroscópica útil de energia. Supondo que uma fissão libera 200 MeV de energia [9], então:

$$1 \text{ W} = 1 (\text{J} \times \text{s}^{-1}) \times \frac{1}{1,602 \times 10^{-13} (\text{J/MeV})} \times \frac{1}{200 (\text{MeV} / \text{fissão})}$$

Onde: W = Watt

J = Joule

s = segundo

MeV = 1.602×10^{-19} J

$$1 \text{ W} = 3,1 \times 10^{10} (\text{fissões/s})$$

Dado que A/N_a é a massa (g) por átomo, a taxa em que o ^{235}U deve fissionar para gerar uma potencia de 1 MW é dada por:

$$1 \text{ MW} = 3,1 \times 10^{16} (\text{fissões/s}) \times 86400 (\text{s/d}) \times \frac{235}{6,023 \times 10^{23}} \left(\frac{\text{g - fissionado}}{\text{atomo - fissionado}} \right)$$

Onde:

$N_a = 6,023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (Constante de Avogadro)

A = Numero de massa do elemento

A fissão de 1 g de ^{235}U rende aproximadamente 1 MWd de energia térmica. Entretanto, 85% dos nêutrons térmicos absorvidos pelo ^{235}U produzem fissão e os outros 15% das absorções produzem reações (n, γ). Assim, a taxa do consumo de ^{235}U é igual a taxa da fissão/0,85, ou seja,

$$1 \text{ MWd} = 1,24 \text{ gramas de } ^{235}\text{U} \text{ consumido.}$$

Para cada dia de operação do reator, são registrados o tempo de operação e a energia dissipada (E_d) em MWh. Utilizando estes dados é possível calcular a energia dissipada acumulada (E_{da}) no decorrer de cada mês. Ao término deste período, ou quando necessário, o valor da energia dissipada acumulada é usado para o cálculo da queima de ^{235}U correspondente.

4.2.2 FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS MÉDIO NA POSIÇÃO.

O acompanhamento da operação do reator de pesquisa IEA-R1 compreende cálculos dos parâmetros neutrônicos, tais como queima de combustível, distribuição de fluxos de nêutrons, densidade de potência e ganho de reatividade nas mudanças de configuração do núcleo, entre outros. Para o cálculo desses parâmetros, são utilizados os códigos de computação "LEOPARD", "TWODB" e "CITATION", que utilizam o modelo de célula (Fig 5). No programa computacional deste trabalho desenvolvido no CRPq do IPEN-CNEN/SP, para o cálculo de queima do combustível, são utilizados os valores do fluxo de nêutrons térmicos médio em cada posição do núcleo, os quais são obtidos a partir de um arquivo do programa "TWODB" [10].

FIGURA 5- Esquema de uma célula básica utilizada no programa TWODB

4.2.3 CÁLCULO DE QUEIMA DE ^{235}U .

Conhecendo-se o valor do fluxo de neutrons térmicos em cada posição do núcleo pode-se calcular o fator Q_i / Q_m , ou seja, o quociente entre o fluxo térmico Q_i e o fluxo médio Q_m .

Para cada posição do núcleo determina-se, ainda, um segundo fator que representa a relação existente entre a massa de ^{235}U na posição i e a massa de ^{235}U total do núcleo.

A partir destes dois fatores, a queima de combustível é dada pela expressão:

$$FQ = \frac{M_i}{M_t} \times \frac{Q_i}{Q_m}$$

Onde: M_i = Massa de ^{235}U no elemento combustível;

M_t = Massa total de ^{235}U no núcleo;

Q_i = Fluxo térmico na posição;

Q_m = Fluxo térmico médio no núcleo.

Normalizando-se FQ, obtem-se o fator de queima normalizado, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n FQN = 1$$

onde n é o número de elementos combustíveis.

A massa, em gramas, de ^{235}U queimado para a posição i ou para cada elemento combustível pode ser calculada a partir da expressão:

$$QTDQ = FQN \times E_{da} \times 1,24 / 24,$$

onde 1,24 é o valor, em gramas, da massa de ^{235}U queimado para cada MWh de energia dissipada pelo reator.

4.2.4 CÁLCULO DA QUEIMA DE URÂNIO TOTAL

Para o cálculo da queima de U-Total, é utilizada a seguinte expressão:

$$QTU = QTDQ \times 0,924 \quad (\text{para urânio 20\% enriquecido}) [11]$$

4.2.5 FORMAÇÃO DE PLUTÔNIO

A formação de ^{239}Pu é expressa pela seguinte equação:

Para o cálculo da formação de ^{239}Pu é utilizada a seguinte expressão:

$$PP = QTDQ \times 0,096/1,24 \quad (\text{para urânio 20\% enriquecido}) [11]$$

Visto que os elementos combustíveis do reator IEA-R1 são elaborados com urânio enriquecido a 20%

CAPITULO 5 RESULTADOS

Como resultado do trabalho desenvolvido são descritos os principais módulos e funções do programa computacional desenvolvido no CRPq do IPEN-CNEN/SP para gerenciamento do material nuclear do reator de pesquisa IEA-R1. Este programa é denominado "Sistema Modular de Controle de Material Nuclear e Salvaguarda". A cada tela apresentada é descrito o procedimento para obtê-la e sua função.

5.1 TELA PRINCIPAL

A tela principal (Fig.6) do programa tem a finalidade de permitir, por meio de botões posicionados na sua parte inferior, o acesso a todos os módulos do sistema.

Os seis botões têm as seguintes funções:

Tabela 1 – Função dos Botões do Programa.

Botão	Função
Cálculo de Queima	Entra no módulo de cálculo da queima de urânio e produção de plutônio
Edição de Arquivo	Entra no módulo de edição de arquivos
Queima por Configuração	Entra no módulo de cálculo da queima de urânio para uma determinada configuração
Camaras de Fissão	Entra no módulo de gerenciamento do material nuclear presente nas câmaras de fissão
Outros materiais	Entra no módulo de gerenciamento do material nuclear presente em outros itens da instalação
Finalizar	Encerra o programa

FIGURA 6- Tela principal apresentando os botões de funções do programa

5.2 MÓDULO PARA CÁLCULO DE QUEIMA DE ^{235}U E PRODUÇÃO DE ^{239}Pu .

Neste módulo (Fig. 7) são calculados a queima de ^{235}U , U-Total e a produção de ^{239}Pu para cada elemento combustível que compõe uma determinada configuração do núcleo do reator IEA-R1.

Para a entrada de dados, as seguintes informações devem ser fornecidas:

- “Energia Dissipada” - Valor da energia dissipada no período considerado;
- “Arquivo de Entrada de Dados” – Nome do arquivo de entrada dos dados dos elementos combustíveis;
- “Arquivo de Saída de Dados” – Nome do arquivo de saída de dados, o qual que será gravado com os novos dados gerados;
- “Data de Início” – Data de início do período que será considerado;
- “Data de Término” – Data de término do período que será considerado;
- “Configuração” – Número da configuração a ser considerada;
- “Nº do Relatório” – Número do relatório a ser gerado.

Neste módulo tem-se, ainda, seis botões com as seguintes funções:

- “Calcular” - Calcula a queima de ^{235}U e urânio-total e a produção de plutônio; estes cálculos são apresentados na tela central (Fig. 08);
- “Imprimir” - Imprime o documento “RELATÓRIO DE QUEIMA INDIVIDUAL DE URÂNIO E PRODUÇÃO DE PLUTÔNIO DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS” (Fig. 09);
- “Página Inicial” - Retorna para a página inicial do sistema (Fig. 6);
- “Edição de Arquivos” - Faz a edição de um arquivo de dados, quando necessário (Fig. 10);
- “Queima por configuração” - Entra no módulo “Queima por Configuração” (Fig. 12);
- “Finalizar” - Encerra o programa.

Calculo de Queima de Urânio e Produção de Plutônio

ipen

REATOR IEA-R1

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGETICAS E NUCLEARES

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Energia Dissipada MWh

Arquivo de Entrada de Dados

Arquivo de Saída de Dados

Data de Início

Data de Término

Configuração

Nº do Relatório

Figura 07- Tela do módulo para cálculo de queima de ^{235}U e Produção de ^{239}Pu .

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)- Reator IEA-R1

Relatório de Queima Individual de Urânio e Produção de Plutônio dos Elementos Combustíveis

EC	Pos	Mi(g)	Mi/Mt	Oi/Oi	FONB	OTDQ	Mf(g)	%Q	%QA	QTU(g)	MT(g)	PP(g)	MTP(g)
172	43	142,10	3,26	0,88	2,91	1,48	140,62	1,04	49,54	1,37	1271,10	0,11496	10,68657
174	85	191,02	4,38	0,84	3,74	1,91	189,11	1,00	32,21	1,76	1318,09	0,14751	6,95655
176	87	190,37	4,37	0,65	2,88	1,47	188,90	0,77	32,29	1,36	1318,35	0,11376	6,97544
177	46	172,59	3,96	1,05	4,22	2,15	170,44	1,25	38,93	1,99	1301,18	0,16660	8,41253
178	45	178,33	4,09	1,10	4,57	2,33	176,00	1,31	36,96	2,15	1306,17	0,18034	7,98808
184	66	195,52	4,49	1,20	5,46	2,79	192,73	1,42	30,96	2,57	1321,49	0,21570	6,69105
193	86	117,14	2,69	0,85	2,32	1,18	115,96	1,01	41,39	1,09	0986,50	0,09154	6,33927
195	44	107,64	2,47	1,01	2,53	1,29	106,35	1,20	46,22	1,19	0977,09	0,09995	7,07698
196	47	122,84	2,82	0,85	2,43	1,24	121,60	1,01	38,51	1,15	0991,04	0,09599	5,89625
197	53	143,42	3,29	0,98	3,27	1,67	141,75	1,16	28,57	1,54	1010,70	0,12921	4,39037
200	57	142,66	3,27	0,98	3,26	1,66	141,00	1,16	28,37	1,53	1010,94	0,12853	4,32389
202	75	185,33	4,25	1,11	4,79	2,44	182,89	1,32	28,43	2,26	1235,54	0,18912	5,62473
203	64	149,51	3,43	1,22	4,25	2,17	147,34	1,45	25,31	2,00	0954,66	0,16769	3,86601
204	83	220,90	5,07	0,68	3,50	1,78	219,12	0,81	14,44	1,65	1399,03	0,13809	2,86403
205	67	223,36	5,13	0,86	4,47	2,28	221,08	1,02	15,31	2,11	1279,28	0,17659	3,09453
206	77	273,29	6,27	0,89	5,66	2,89	270,40	1,06	01,89	2,67	1380,45	0,22361	0,40400
207	84	272,23	6,25	0,85	5,39	2,75	269,48	1,01	01,81	2,54	1377,22	0,21273	0,38460
208	63	252,83	5,80	0,93	5,47	2,79	250,04	1,10	09,25	2,58	1364,20	0,21616	1,97203
209	73	252,61	5,80	0,96	5,65	2,88	249,73	1,14	09,77	2,66	1365,28	0,22294	2,09340
210	55	270,10	6,20	1,16	7,30	3,72	266,38	1,38	02,46	3,44	1375,37	0,28804	0,52107
211	54	104,85	2,41	1,33	3,25	1,66	103,19	1,58	26,38	1,53	0673,52	0,12820	2,86265
212	76	108,61	2,49	1,14	2,88	1,47	107,14	1,35	23,66	1,36	0677,46	0,11383	2,57112
220	56	169,64	3,89	1,31	5,17	2,64	167,00	1,56	08,81	2,44	0907,79	0,20430	1,24946
221	74	170,03	3,90	1,17	4,63	2,36	167,67	1,39	08,22	2,18	0905,39	0,18289	1,16224
		4356,92	100,00	24,00	100,00	51,00	4305,92			47,12	27707,84	3,94828	104,40685

Data de Início: 01/02/11 Data de Término: 28/02/11

Energia Dissipada = 987.07 MWh Configuração: 245

Queima de U-Total: 47,12 g Queima de U-235: 51,00 g Produção de Plutônio: 3,95 g

Responsável: _____ Relatório N°: RQUPP0211

Figura 09 - Formulário gerado pelo módulo para cálculo de queima de ^{235}U e Produção de ^{239}Pu .

5.3 EDITOR DE ARQUIVOS.

Todos os arquivos utilizados neste programa são no formato ASCC II ou formato texto. Para facilitar a manipulação destes arquivos foi desenvolvido um editor de texto, que abre estes arquivos e permite a inserção ou retirada de dados (Fig. 10).

Esse editor de arquivos para Visual Basic foi desenvolvido utilizando instruções apresentadas por Manzano [12].

Na barra de comando superior temos o item “Arquivo”, ao ser pressionado são mostrados os itens “Abrir”, para abrir o arquivo a ser editado e “Salvar” para gravar o arquivo que foi editado.

A Figura 11, apresenta um exemplo de arquivo editado.

Na parte inferior da tela temos dois botões com as seguintes funções:

- “Cálculo de Queima” – Transfere o programa para o módulo “Cálculo de Queima de Uranio e Produção de Plutonio” (Fig.7).
- “Retornar Pagina Inicial” - Retorna a pagina inicial do sistema (Fig. 6).

Figura 10 – Tela do módulo para edição de arquivo.

Edição de Arquivo

Arquivo

5.000	128.000	101.530	20.560	99.030	18.280	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.090	0.932
5.000	129.000	496.700	100.640	479.500	81.920	0.000	0.000	0.000	2.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.600	0.932
5.000	130.000	891.890	177.630	834.180	114.990	0.000	0.000	0.000	3.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	35.260	0.932
5.000	131.000	889.410	177.100	836.120	119.300	0.000	0.000	0.000	4.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	32.640	0.932
5.000	132.000	889.680	177.130	843.590	127.220	0.000	0.000	0.000	5.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.180	0.932
5.000	133.000	889.560	177.110	843.120	126.760	0.000	0.000	0.000	6.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.430	0.932
5.000	134.000	889.880	177.190	846.260	130.020	0.000	0.000	0.000	7.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.620	0.932
5.000	135.000	889.250	177.060	838.880	122.580	0.000	0.000	0.000	8.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.770	0.932
5.000	136.000	889.720	177.160	849.510	133.620	0.000	0.000	0.000	9.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24.580	0.932
5.000	137.000	889.780	177.200	841.680	125.170	0.000	0.000	0.000	10.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	29.360	0.924
5.000	138.000	593.190	118.110	559.830	82.020	0.000	0.000	0.000	11.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.560	0.924
5.000	139.000	592.950	118.080	558.330	80.610	0.000	0.000	0.000	12.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	31.730	0.924
5.000	140.000	889.200	176.960	842.360	126.230	0.000	0.000	0.000	13.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.670	0.924
5.000	141.000	889.240	177.050	841.580	125.460	0.000	0.000	0.000	14.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	29.140	0.924
5.000	143.000	889.640	176.790	845.860	129.410	0.000	0.000	0.000	15.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.800	0.924
5.000	144.000	891.570	177.420	851.910	134.500	0.000	0.000	0.000	16.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24.190	0.924
5.000	145.000	891.830	177.620	851.120	133.570	0.000	0.000	0.000	17.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24.800	0.924
5.000	146.000	592.880	118.050	558.240	80.560	0.000	0.000	0.000	18.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	31.760	0.924
5.000	147.000	594.510	118.350	557.910	78.720	0.000	0.000	0.000	19.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	33.490	0.924
5.000	148.000	890.760	177.060	849.190	132.080	0.000	0.000	0.000	20.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	25.400	0.924
5.000	149.000	891.430	177.660	845.800	128.290	0.000	0.000	0.000	21.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	25.980	0.924
5.000	150.000	891.380	177.640	836.230	118.010	0.000	0.000	0.000	22.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	33.570	0.924
5.000	151.000	891.550	177.640	844.430	126.690	0.000	0.000	0.000	23.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.720	0.924
5.000	152.000	891.550	177.450	844.830	126.900	0.000	0.000	0.000	24.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.620	0.924
5.000	153.000	1061.000	211.190	994.360	139.050	0.000	0.000	0.000	25.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	34.160	0.924
5.000	154.000	1061.850	211.300	1006.820	151.790	0.000	53.000	0.000	26.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.160	0.924
5.000	155.000	1061.780	210.920	1002.170	146.400	0.000	0.000	0.000	27.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	27.700	0.924
5.000	156.000	1061.710	211.120	1012.080	157.400	0.000	0.000	0.000	28.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	25.450	0.924
5.000	157.000	1061.140	210.440	1003.950	148.510	0.000	0.000	0.000	29.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.470	0.924
5.000	158.000	1061.090	210.410	995.790	140.840	0.000	0.000	0.000	30.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.130	0.924
5.000	159.000	1061.620	210.830	997.810	141.800	0.000	0.000	0.000	31.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	29.640	0.924
5.000	160.000	1061.800	210.970	994.150	137.830	0.000	0.000	0.000	32.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	32.280	0.924
5.000	161.000	1061.960	211.020	1001.910	146.070	0.000	84.000	0.000	33.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.780	0.924
5.000	162.000	1061.740	210.970	1004.020	148.470	0.000	77.000	0.000	34.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	29.630	0.924
5.000	163.000	1061.490	210.920	1013.390	158.880	0.000	66.000	0.000	35.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.090	0.924
5.000	164.000	1061.470	210.990	1014.810	160.490	0.000	64.000	0.000	36.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.390	0.924
5.000	165.000	1396.020	278.330	1334.900	212.190	0.000	55.000	0.000	37.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.670	0.924
5.000	166.000	707.790	140.560	695.230	83.630	0.000	0.000	0.000	38.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	35.540	0.924
5.000	167.000	707.810	140.570	698.060	86.750	0.000	0.000	0.000	39.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	33.880	0.924
5.000	168.000	1395.660	278.520	1330.490	207.710	0.000	73.000	0.000	40.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	960	0.924
5.000	169.000	1397.440	278.520	1331.530	207.200	0.000	44.000	0.000	41.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.010	0.924
5.000	170.000	1398.600	278.640	1338.180	213.250	0.000	75.000	0.000	42.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.110	0.924
5.000	171.000	1398.560	278.640	1339.080	214.270	0.000	57.000	0.000	43.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	980	0.924
5.000	172.000	1398.640	278.650	1385.750	264.710	0.000	43.000	0.000	44.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	880	0.924
5.000	173.000	1400.120	278.850	1390.470	268.400	0.000	87.000	0.000	45.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	650	0.924
5.000	174.000	1401.090	278.970	1401.090	278.970	24.000	0.000	0.000	46.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.924
5.000	175.000	1400.430	278.870	1400.430	278.870	22.000	0.000	0.000	47.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.924
5.000	176.000	1401.600	279.000	1401.600	279.000	20.000	0.000	0.000	48.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.924
5.000	177.000	1401.580	279.100	1401.580	279.100	18.000	0.000	0.000	49.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.924

Calculo de Queima

Retornar a Pagina Inicial

Figura 11 – Tela do módulo para edição de arquivo preenchido

5.4 QUEIMA POR CONFIGURAÇÃO

Para todo elemento combustível recebido no Reator IEA-R1 é preenchido o formulário “REATOR IEA-R1: DADOS INDIVIDUAIS DOS ELEMENTOS COMBUSTIVEIS”, este documento faz parte do sistemas de salvaguarda e qualidade, ele é necessario para iniciar um relato da trajetória do elemento combustível dentro da instalação. Esse formulario deve ser atualizado toda vez que o elemento muda de posição ou quando houver uma mudança de configuração do núcleo.

Este módulo do programa tem a finalidade de calcular a queima de cada elemento combustível em uma determinada configuração e gerar o formulario “Relatório Individual de Queima por Configuração” (Fig.07).

Este novo formulario, foi desenvolvido neste trabalho e após certificação passará a fazer parte dos documentos da Qualidade do Reator.

Para a entrada de dados temos cinco “inputs”, definidos a seguir:

- “Configuração” – Número da configuração a ser calculada;
- “Arquivo de Dados Inicial” – Nome do arquivo do inicio da configuração;
- “Arquivo de Dados Final” – Nome do arquivo do final da configuração;
- “Data de Início” – Data de início da configuração;;
- “Data de Término” – Data de término da configuração;;

Temos ainda quatro botões com as seguintes funções:

- “Calcular” - Calcula a queima de ^{235}U e urânio-total na configuração;
- “Imprimir” - Imprime o documento “Relatório Individual de Queima por Configuração”;
- “Pagina Inicial” - Retorna a pagina inicial do sistema (Fig. 6);
- “Finalizar” - Encerra o programa.

Figura 12 – Tela do módulo para cálculo de queima individual na configuração

Queima na Configuração

Configuração

217

Arquivo de Dados Inicial

217.inic

Arquivo de Dados Final

out04217

Data de Início

05/05/2001

Data de Término

15/10/2004

Calcular

Imprimir

Página Inicial

Finalizar

Relatório Individual de Queima por Configuração

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)- Reator IEA-R1

Elemento

Posição

Massa U-Total

Massa U-235

Queima U-total

Queima U-235

154	53	1003,74	148,46	3,08	3,33
161	84	0999,33	143,27	2,58	2,80
162	77	1001,27	145,50	2,75	2,97
163	66	1009,48	154,65	3,91	4,23
164	64	1010,77	156,13	4,04	4,36
165	55	1329,85	206,73	5,05	5,46
168	73	1326,40	203,27	4,09	4,44
169	44	1327,23	202,55	4,30	4,65
170	75	1333,33	208,00	4,85	5,25
171	57	1334,76	209,60	4,32	4,67
172	43	1380,97	259,53	4,78	5,18
173	87	1386,88	264,51	3,59	3,89
179	74	0669,69	100,06	2,49	2,70
180	56	0665,34	095,29	2,66	2,88
181	54	0703,96	137,42	3,86	4,18
182	76	0704,23	136,38	3,29	3,56
185	47	1049,77	185,46	3,33	3,60
186	83	1052,62	188,05	2,70	2,92
187	86	1050,04	185,55	3,33	3,60
188	46	1046,95	182,31	4,04	4,36
189	67	1049,34	185,53	3,36	3,63
190	63	1047,82	183,54	3,88	3,88
191	85	1054,63	190,81	3,38	3,65
192	45	1052,16	187,18	4,63	5,01

Data de Início: 05/05/2001

Data de Término: 15/10/2004

Configuração: 217

REATOR IEA-R1

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Figura 13 - Módulo para cálculo de queima individual na configuração preenchido.

33

5.5 CÂMARAS DE FISSÃO.

As camaras de fissão utilizadas na operação do reator tem o seu material físsil contabilizado, para contabilidade desses itens foi desenvolvido um módulo específico “Camaras de Fissão” (Fig.14) com dois “inputs” de dados e quatro botões operativos, como descritos a seguir:

- “Arquivo de Dados” – Nome do arquivo com dados das camaras de fissão;
- “Data” – Inserir data para emissão de relatório impresso;
- “Configuração” – Numero da configuração do nucleo na data do relatório;
- “Abrir arquivo” – Abre o arquivo nominado acima;
- “Imprimir” – Imprime relatório com os dados da janela central;
- “Pagina Inicial” - Retorna a pagina inicial do sistema (Fig. 6);
- “Finalizar” - Encerra o programa.

A Figura 15 mostra um exemplo desta tela preenchida

Figura 14 – Tela do módulo com dados das câmaras de fissão

Câmaras de Fissão

camaras-040510

Arquivo de Dados

28/02/11

Data

245

Configuração

Abrir Arquivo

Imprimir

Página Inicial

Finalizar

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)- Reator IEA-R1

Posicionamento das Câmaras de Fissão no Prédio do Reator

MARCA	MODELO	N. DE SÉRIE	ENRIQ.	POSIÇÃO	U-TOTAL	U-235
WESTINGHOUSE	WL-6971	93906	20%	COFRE	1.72	0.35
WESTINGHOUSE	WL-6971	351	20%	COFRE	1.72	0.35
WESTINGHOUSE	WL-6971	353	20%	COFRE	1.72	0.35
WESTINGHOUSE	WL-6971-A	612203	20%	COFRE	1.71	0.32
WESTINGHOUSE	WL-6376-A	670904	93%	COFRE	1.77	1.57
WESTINGHOUSE	WL-6376-A	671301	93%	COFRE	1.77	1.57
WESTINGHOUSE	WL-6376-A	670903	93%	NUCLEO	1.78	1.57
REUTER-STOKES	RS-C3-2510	R-3182	93%	STORAGE 15	1.50	1.50
REUTER-STOKES	RS-C3-2510	T-4144	93%	STORAGE 15	1.50	1.50
REUTER-STOKES	RS-C3-2510	T-4157	93%	STORAGE 15	1.50	1.50
IMAGING & SENSING TECHNOLOGY	WL-6376-A	63945	93%	NUCLEO	1.81	1.68
IMAGING & SENSING TECHNOLOGY	WL-6376-A	63946	93%	NUCLEO	1.81	1.68

Data: 28/02/11

Configuração: 245

REATOR IEA-R1

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGETICAS E NUCLEARES

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Figura 15 – Tela do módulo com dados das câmaras de fissão preenchido

5.6 OUTROS MATERIAIS.

Eventualmente outros tipos de material nuclear salvaguardados podem ser encontrados dentro da instalação do Reator IEA-R1, a contabilidade desses itens foi inserido módulo específico “Outros Materiais” (Fig.16) com dois “inputs” de dados e quatro botões operativos, como descritos a seguir:

- “Arquivo de Dados” – Nome do arquivo com dados sobre os materiais;
- “Data” – Inserir data para emissão de relatório impresso;
- “Abrir arquivo” – Abre o arquivo nominado acima;
- “Imprimir” – Imprime relatório com os dados da janela central;
- “Página Inicial” - Retorna a página inicial do sistema (Fig. 3);
- “Finalizar” - Encerra o programa.

A Figura 17 apresenta uma tela preenchida com os dados de materiais armazenados no reator IEA-R1 sob salvaguarda da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

The screenshot shows a software window titled "Outros Materiais" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The main area is a large, empty white rectangle for data entry. On the right side, there is a vertical header with the text: **REATOR IEA-R1**, INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGETICAS E NUCLEARES, and COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. At the bottom of the window, there are several input fields and buttons. From left to right, there is a text box labeled "Arquivo de dados", a text box labeled "Data", and a button labeled "Abrir arquivo". Below these, there are three buttons: "Imprimir", "Página Inicial", and "Finalizar".

Figura 16 – Tela do módulo com dados de outros materiais

Outros Materiais

Diversos-040510

Arquivo de dados

31/05/11

Data

Abriu arquivo

Imprimir

Pagina Inicial

Finalizar

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)- Reator IEA-R1

Outros Materiais Armazenados no Reator

Mini Placas				
U-Total	U-235	Enriquec.	Composição	Posição
37,40	6,74	20%	U3O8	Piscina do Reator
19,06	3,85	18,04%	U3O8	Primeiro andar - Storage 19
Total	56,46	10,59		
Pó e Pastilhas				
Pó	U-Total	U-235	Enriquec.	Composição
	18,84	3,76	20%	U3Si2
Pó	473,98	441,51	93%	U3O8
Pastilhas	5,76	5,36	93%	U3O8
Total	479,74	446,87		

Data: 31/05/11

Figura 17 – Tela do módulo com dados de outros materiais preenchido

CAPITULO 6 ANALISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para que o Programa Computacional desenvolvido seja colocado em operação rotineira, substituindo o programa em uso atualmente, necessário se fez comprovar o seu desempenho no cálculo de queima de ^{235}U . Para a comparação dos resultados obtidos pelos dois programas: a saber “programa atual” e programa novo” foram escolhidos os elementos combustíveis de número 193, 194 e 195 que entraram no núcleo do reator na configuração 218 no dia 03/11/04.

Estes elementos permaneceram no núcleo até o dia 13/12/2010 na configuração 244 no caso do elemento 194 e até o dia 30/05/2011 na configuração 245 no caso dos elementos 193 e 195.

Durante aproximadamente sete anos estes elementos permaneceram no núcleo do reator, nesse período foram calculadas as queima nas configurações 218, 219, 220, 221, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 237-A, 237-B, 238, 241, 242, 243, 243-A, 244 e 245.

Para cálculo das queimas nas respectivas configurações foram utilizados os módulos “MÓDULO PARA CÁLCULO DE QUEIMA DE ^{235}U E PRODUÇÃO DE ^{239}Pu ”, “EDITOR DE ARQUIVOS” e “QUEIMA POR CONFIGURAÇÃO”.

Para se ter uma base de confirmação dos resultados obtidos e analisar possíveis diferenças entre os dois programas de cálculo, utilizando as equações para cálculo de queima, foi desenvolvida uma planilha com o programa Excel (Microsoft Corporation), Anexo 1. Os resultados e comparações dos cálculos de queima de ^{235}U dos E.C. 193, 194 e 195 são apresentados nas tabelas de 2 à 6.

Tabela 2 - Massa Final dos Elementos Combustíveis

Numero do E.C.	Massa Final (g) ^{235}U (Excel)	Massa Final (g) ^{235}U (Novo)	Massa Final (g) ^{235}U (Atual)
193	110,92	110,95	110,90
194	115,08	115,11	115,16
195	101,56	101,59	100,85

Tabela 3 - Queima dos Elementos Combustíveis

Numero do E.C.	Queima ^{235}U (g) (Excel)	Queima ^{235}U (g) (Novo)	Queima ^{235}U (g) (Atual)
193	86,92	86,89	86,94
194	83,19	83,16	83,11
195	96,20	96,17	96,91

Tabela 4 - Diferença de Queima dos Elementos Combustíveis com relação ao programa atual

Numero do E.C.	Diferença de Queima (g) ^{235}U (Excel)	Diferença de Queima (g) ^{235}U (Novo)	Erro (%) Excel	Erro (%) Novo
193	0,02	0,05	0,023	0,058
194	0,08	0,05	0,096	0,060
195	0,71	0,74	0,733	0,764

Tabela 5 - Cálculo da queima de ^{235}U na Configuração 218

Programa Atual	Massa Inicial de ^{235}U (g)	Massa Final de ^{235}U (g)	Queima de ^{235}U (g)
193	197,84	185,10	12,74
194	198,27	184,93	13,34
195	197,76	181,84	15,92
Programa Novo			
193	197,84	185,05	12,79
194	198,27	184,86	13,41
195	197,76	183,08	14,68
Planilha Excel			
193	197,84	185,05	12,79
194	198,27	184,86	13,41
195	197,76	183,07	14,69

Tabela 6 - Cálculo da queima de ^{235}U na Configuração 219

Programa Atual	Massa Inicial de ^{235}U (g)	Massa Final de ^{235}U (g)	Queima de ^{235}U (g)	Diferença de queima (g) programa atual e novo
Programa Atual				
193	185,10	173,86	11,24	0,03
194	184,93	173,17	11,76	0,04
195	181,84	169,17	12,67	0,16
Programa Novo				
193	185,05	173,78	11,27	
194	184,86	173,06	11,80	
195	183,08	170,25	12,83	
Planilha Excel				
193	185,05	173,77	11,28	
194	184,86	173,06	11,80	
195	183,08	170,25	12,83	

Nas figuras 18,19, 20 são apresentados os resultados da queima de ^{235}U dos elementos combustíveis 193, 194 e 195 nas várias configurações que eles ocuparam durante sua vida útil. Os dados de referência das figuras 18, 19, 20 são apresentados nas tabelas 7, 8 e 9.

Na Figura 21 é apresentado em destaque a comparação da queima do elemento combustível 195 na configuração 218.

Tabela 7 - Queima do Elemento Combustível 193

Número de Configurações	Configuração do Núcleo	Queima de ^{235}U (g) (Excel)	Queima de ^{235}U (g) (Novo)	Queima de ^{235}U (g) (Atual)
1	218	12,79	12,79	12,74
2	219	11,28	11,27	11,24
3	220	4,64	4,63	4,65
4	221	5,51	5,51	5,54
5	225	3,13	3,13	3,12
6	226	3,08	3,08	3,08
7	227	0,23	0,23	0,23
8	228	0,09	0,09	0,09
9	229	0,02	0,02	0,02
10	230	0,05	0,05	0,05
11	231	0,03	0,03	0,03
12	232	0,04	0,04	0,04
13	233	2,55	2,55	2,55
14	234	0,61	0,61	0,61
15	235	0,90	0,90	0,90
16	236	4,02	4,02	4,03
17	237	1,96	1,96	1,96
18	237-A	2,90	2,90	2,90
19	237-B	3,00	3,00	3,00
20	238	7,26	7,26	7,26
21	241	3,55	3,55	3,56
22	242	3,14	3,14	3,15
23	243	2,53	2,53	2,52
24	243-A	2,94	2,94	2,95
25	244	5,03	5,02	5,02
26	245	5,64	5,64	5,70

Tabela 8 - Queima do Elemento Combustível 194

Número de Configurações	Configuração do Núcleo	Queima de ^{235}U (g) (Excel)	Queima de ^{235}U (g) (Novo)	Queima de ^{235}U (g) (Atual)
1	218	13,41	13,41	13,34
2	219	11,80	11,80	11,76
3	220	4,84	4,83	4,84
4	221	5,74	5,73	5,74
5	225	3,26	3,26	3,24
6	226	2,94	2,93	2,94
7	227	0,22	0,22	0,21
8	228	0,09	0,09	0,09
9	229	0,02	0,02	0,02
10	230	0,04	0,04	0,04
11	231	0,03	0,03	0,03
12	232	0,04	0,04	0,04
13	233	2,42	2,42	2,41
14	234	0,58	0,58	0,58
15	235	0,85	0,85	0,86
16	236	3,82	3,82	3,84
17	237	1,57	1,57	1,57
18	237-A	3,03	3,03	3,04
19	237-B	3,13	3,13	3,13
20	238	7,57	7,57	7,56
21	241	3,69	3,69	3,69
22	242	3,26	3,26	3,27
23	243	2,60	2,60	2,61
24	243-A	3,05	3,05	3,06
25	244	5,19	5,19	5,20

Tabela 9 - Queima do Elemento Combustível 195

Número de Configurações	Configuração do Núcleo	Queima de ^{235}U (g) (Excel)	Queima de ^{235}U (g) (Novo)	Queima de ^{235}U (g) (Atual)
1	218	14,69	14,68	15,92
2	219	12,83	12,83	12,67
3	220	5,23	5,23	5,20
4	221	6,19	6,19	6,14
5	225	3,50	3,50	3,46
6	226	3,15	3,15	3,12
7	227	0,23	0,23	0,23
8	228	0,10	0,10	0,09
9	229	0,02	0,02	0,02
10	230	0,05	0,05	0,05
11	231	0,03	0,03	0,03
12	232	0,04	0,04	0,04
13	233	2,60	2,60	2,58
14	234	0,62	0,62	0,61
15	235	0,91	0,91	0,91
16	236	4,08	4,08	4,08
17	237	1,67	1,67	1,66
18	237-A	3,32	3,32	3,30
19	237-B	3,42	3,42	3,40
20	238	8,23	8,23	8,19
21	241	3,99	3,99	3,97
22	242	3,53	3,52	3,49
23	243	2,79	2,79	2,79
24	243-A	3,26	3,26	3,25
25	244	5,54	5,54	5,52
26	245	6,18	6,17	6,19

Elemento Combustível 193

Figura 18 – Comparação da queima de ^{235}U , para o EC 193, nas várias configurações.

Elemento Combustível 194

Figura 19 – Comparação da queima de ^{235}U , para o EC 194, nas várias configurações.

Elemento Combustível 195

Figura 20 – Comparação da queima de ^{235}U , para o EC 195, nas várias configurações.

Elemento Combustível 195

Figura 21 – Destaque da queima de ^{235}U , para o EC 195, na configuração 218.

7. CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi alcançado uma vez que o programa computacional desenvolvido para aplicação no CRPq do IPEN-CNEN/SP para gerenciamento do material nuclear do reator de pesquisa IEA-R1 está concluído e operacional.

Dos resultados obtidos pode-se afirmar que não há diferenças consideráveis entre o novo programa (desenvolvido neste trabalho) e o que está em uso (programa atual). A maior diferença observada foi no cálculo da queima para o elemento 195 na configuração 218. Isto ocorre porque o procedimento de cálculo do programa atual soma os valores desprezados após a segunda casa decimal e adiciona-os ao valor da configuração 218. Mas, o resultado da queima total não apresenta essa variação.

O programa desenvolvido passa a ser utilizado para gerenciamento de banco de dados de material nuclear.

O relatório gerado pelo módulo “*Cálculo de Queima de Urânio e Produção de Plutônio*” é periodicamente enviado ao Serviço de Salvaguarda do IPEN-CNEN/SP, responsável pelo fornecimentos destes dados para a CNEN, que, por sua vez, os envia para a AIEA dentro dos acordos de salvaguarda.

O sistema de cálculo implementado neste programa contempla a necessidade dos pesquisadores que utilizam os valores de queima para compará-los com inspeções visuais [14].

Os elementos combustíveis fornecidos por fabricantes do exterior tinham garantia de queima de 30% de sua massa de ^{235}U . Com o acompanhamento da queima facilitado pelo programa desenvolvido no CRPq, pode-se estabelecer, para os elementos combustíveis fabricados no IPEN-CNEN/SP, um nível de queima compatível com a sua integridade física [17].

Finalmente, o sistema de gerenciamento de material nuclear desenvolvido no reator de pesquisa IEA-R1 pode ser aplicado em reatores semelhantes, tendo em vista sua flexibilidade de utilização.

TRABALHOS FUTUROS.

Algumas melhorias podem, no futuro, serem incorporadas ao sistema. Neste sentido, podem ser destacadas: possibilidade de leitura direta do fluxo térmico do arquivo gerado pelo programa TWODB; cálculo da porcentagem de queima; e condição de enriquecimento.

[illegible]

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 **IAEA Safeguards Glossary** - 2001 - International Nuclear Verification Series N° 3
- 2 Norma CNEN – NE - 1.04 (Dezembro/2002) – **Licenciamento de Instalações Nucleares**
- 3 Norma CNEN – NN - 2.02 (Setembro/1999) – **Controle de Materiais Nucleares**
- 4 Bencová, A **State System of Accounting for and Control of Nuclear Materials and Protocol Additional in the Slovak Republic** - IAEA-SM-367/12/13
- 5 Maceiras, E.; Fernández Moreno, S.; Castro, L.B.; Saavedra, A.D.; Mairal, M.L.; Valentino, L.I.; Vicens, H.E. y Llacer, C.D - 1998 - **Towards a New System of Accounting of Nuclear Material** - 39th Annual Meeting of the Institute of Nuclear Material Management (INMM).Naples, EUA
- 6 Sembiring, Tagor Malem e Liem, Peng Hong, **Development and verification of fuel burn-up calculation model in a reduced reactor geometry** - Annals of Nuclear Energy 35 (2008) 167–174
- 7 B. Meftah, A. Halilou, F. Letaim, S. Mazidi, M.Y. Mokeddem, F. Zeggar **BURNUR.SYS: A 2-D code system for NUR research reactor burn up analysis** - Annals of Nuclear Energy 35 (2008) 591–600
- 8 Friedman G. H. - **Nuclear Materials Accounting Systems Modernization Initiative** - U. S. DEPARTMENT OF ENERGY - JUNE 2002
- 9 Shultis , J. Kenneth and Faw , Richard E. - **Fundamentals of Nuclear Science and Engineering** - Kansas State University - Manhattan, Kansas,

U.S.A. Marcel Dekker, Inc. - 270 Madison Avenue, New York, NY 10016, 2002

- 10 Mitsuo, ***Descrição das Células do Núcleo do Reator IEA-R1*** - 1997
- 11 ***Plano de Controle de Material Nuclear*** – Reator IEA-R1- 2002
- 12 Manzano, J. A. N. G. ***Estudo Dirigido – Visual Basic 6*** - 2004 - Editora Érica, São Paulo.
- 13 Perry, G. – ***Aprenda em 21 dias Visual Basic 6*** – 1999 - Elsevier Editora, Rio de Janeiro.
- 14 Damy, M de A. ; Terremoto L. A. A. ; Silva, J. E. R. ; Silva, A. T. ; Teodoro, C A., Lucki, G.; Castanheira M. ***Acompanhamento da irradiação dos elementos combustíveis REATOR IEA-R1*** - 2005 *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2005 Santos, SP, Brazil, August 28 to September 2, 2005 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR – ABEN* ISBN: 85-99141-01-5
- 15 Silva, J. E. R. ; Silva, A. T. ; Terremoto, L. A. A. and Durazzo M. ***Program for IN-PILE qualification of high density silicide dispersion fuel at IPEN/CNEN-SP*** - 2009 *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009 Rio de Janeiro,RJ, Brazil, September 27 to October 2, 2009 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR – ABEN* ISBN: 978-85-99141-03-8
- 16 Maisuda, H. T., Araujo, J. A. e Floh, B. ***Avaliação dos produtos irradiação nos combustíveis tipo MTR do Reator IEA-R1*** - 1977 - Publicação IEA 466.
- 17 Tondin, J. B. M. e Madi, T.F. – 2010 – ***Burn up and Operation Time of Nuclear Fuel Element Produced at the Nuclear and Energy Research Institute, IPEN-CNEN/SP*** – XXXIII Reunião de Trabalho sobre Física Nuclear no Brasil – Campos do Jordão, SP, Brasil, 7 a 11 de Setembro de 2010.