

34.072738

BRU 343203



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

**PSINCO – UM PROGRAMA PARA CÁLCULO DA
DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA E SUPERVISÃO
DO NÚCLEO DE REATORES NUCLEARES,
UTILIZANDO SINAIS DE DETETORES
TIPO “SPD”**

MARIA YOKO KOMETANI HIROMOTO

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

Orientador
Dr. Adalberto José Soares

**São Paulo
1998**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**PSINCO – UM PROGRAMA PARA CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA
E SUPERVISÃO DO NÚCLEO DE REATORES NUCLEARES,
UTILIZANDO SINAIS DE DETETORES TIPO “SPD”**

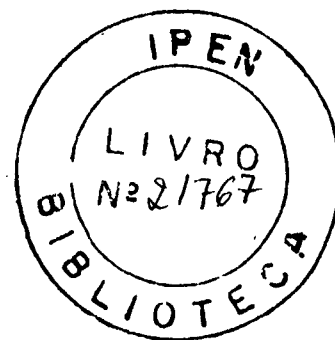
MARIA YOKO KOMETANI HIROMOTO

Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do grau de Mestre em
Ciências na Área de Tecnologia Nuclear -
Reator.

Orientador:
Dr. Adalberto José Soares

SÃO PAULO

1998



Aos meus pais,
À minha tia Massae,
Ao Goro.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IPEN/CNEN-SP).

Ao Dr. Adalberto José Soares pela valiosa orientação, incentivo e auxílio no desenvolvimento e elaboração deste trabalho.

Ao Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTM-SP), pela concessão de horas para a realização do trabalho.

Ao engenheiro Pedro Airoidi pelo auxílio na implementação do software.

Aos amigos da Divisão de Instrumentação e Controle do CTM-SP pelo incentivo durante a realização deste trabalho.

RESUMO

Sistemas de detecção “in-core” são considerados essenciais em reatores nucleares de potência, pois é a partir deles que os operadores monitoram a densidade de potência no núcleo, de forma a aumentar as margens de operação, melhorar o gerenciamento do combustível e assegurar que em nenhum ponto do reator a temperatura atinge valores considerados inseguros. Neste trabalho foi desenvolvido um programa computacional para um sistema de monitoração “in-core”, utilizando detetores do tipo “self powered detector” (SPD). Inicialmente, foi estabelecida uma metodologia para a conversão dos sinais dos detetores em densidades de potência, sua extrapolação para todo o núcleo, calibração do sistema e validação do sinal. A metodologia de cálculo foi desenvolvida baseada num sistema que utiliza SPDs de ródio e de platina e sinais de temperatura do fluido refrigerante na saída dos elementos combustíveis. O programa, desenvolvido com a ferramenta Visual Basic, executa todos os cálculos da metodologia e fornece telas gráficas para uma interface amigável com o operador do sistema. O programa foi testado com um conjunto de dados simulados do reator IEA-R1; os resultados apresentados nas telas gráficas do programa foram comparados com os dados originais, mostrando boa concordância.

ABSTRACT

In core monitoring system is an essential feature in nuclear reactors, in order to provide power density distribution monitoring capabilities to operators. From these systems, it is possible to increase operational margins, improve fuel management and detect anomalous core conditions at early stages. In this work, an on line in core monitoring software system was developed using rhodium self powered detectors (SPD) to provide better accuracy on flux measurement and platinum SPDs for a prompt response to transients. The core exit thermocouples are used for detector intercalibration. A calculation methodology was established to convert detector signal values to power density values of the assemblies and to process their 3D extrapolation and power peaking factor determination. It also includes functions for the diagnosis of the sensor credibility and system calibration. The software, developed with Visual Basic package, process all the required calculation, and a graphical window Man-Machine Interface supplies the operator with operation limiting parameters with other calculated data. The software was tested using simulated detectors signals generated from an existing IEA-R1 reactor data set. The test results shown on graphical windows are compared with IEA-R1's original data.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. Objetivo do trabalho.....	03
1.2. Estrutura do trabalho.....	04
2. SISTEMAS PARA MONITORAÇÃO “IN-CORE”	6
2.1. Detectores “in-core” do Tipo SPD.....	6
2.2. Métodos de monitoração	13
2.3. Situação atual dos sistemas “in-core”	17
3. ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA.....	21
3.1. Hardware necessário para as medidas.....	24
3.2. Especificação do software	28
4. METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	30
4.2. Mapeamento do fluxo	31
4.1.1. Cálculo do fluxo.....	31
4.1.2. Correção da sensibilidade dos detectores de ródio	33
4.1.3. Método de interpolação	34
4.1.4. Cálculo de potência	38
4.1.5. Calibração	42
4.2. Monitoração “on line”	43
4.3. Validação do sinal.....	44
5. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE.....	47
5.1. Descrição das interfaces do software	48

5.2. Descrição das telas e menus	52
5.2.1. Menu Arquivo	55
5.2.2. Menu Editar	65
5.2.3. Menu Exibir	70
5.2.4. Menu Calibração	84
5.3. Diagrama de acesso às telas	89
5.4. Descrição das principais subrotinas	90
 6. RESULTADOS	 98
 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 111
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 113

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1 - Características nucleares dos principais SPDs utilizados em reatores de potência	10
Tabela 2.2 - Sensibilidade dos SPDs mais utilizados em usinas nucleares	11
Tabela 2.3 - Composição da corrente dos detectores devido a diferentes campos de radiação presentes em um reator	12
Tabela 5.1 - Arquivos do Programa de Supervisão In Core	49
Tabela 5.2 - Arquivos de dados utilizados pelo programa.....	51
Tabela 6.1 - Distribuição espacial do fluxo de nêutrons obtido da referência.....	101
Tabela 6.2 - Parâmetros nucleares utilizados para os cálculos de potência.....	102
Tabela 6.3- Valores simulados da temperatura do refrigerante na saída de cada elemento e do fator de simetria.....	103
Tabela 6.4 - Valores simulados de corrente dos SPDs.....	104
Tabela 6.5 - Potência média nos elementos.....	105
Tabela 6.6 - Fluxo médio nos elementos.....	106
Tabela 6.7 - Comparação dos valores de fluxo relativo máximo em cada elemento.....	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Representação esquemática de um SPD.....	7
Figura 3.1 -	Ilustração de uma arquitetura típica de sistemas de monitoração "in-core"	22
Figura 3.2 -	Configuração do núcleo exemplo utilizado	23
Figura 3.3 -	Arquitetura e fluxo de sinais de um sistema de monitoração "in-core"	25
Figura 4.1 -	Diagrama em blocos mostrando a dinâmica de utilização dos sinais dos sensores e os objetivos dos cálculos	32
Figura 5.1 -	Diagrama de fluxo de dados	50
Figura 5.2-	Tela inicial do Programa de Supervisão In Core	53
Figura 5.3 -	Tela Densidade de Potência.....	54
Figura 5.4 -	Apresentação do menu Arquivo.....	55
Figura 5.5 -	Apresentação do menu Imprimir / Relatório	56
Figura 5.6 -	Relatório da densidade média em cada elemento	57
Figura 5.7 -	Relatório da distribuição de densidade de potência em 5 cotas de cada elemento	58
Figura 5.8	Relatório de mapeamento do fluxo em 11 cotas de cada elemento	59
Figura 5.9 -	Relatório da fluência em 5 cotas de cada elemento	60
Figura 5.10 -	Relatório da distribuição da densidade relativa em 5 cotas de cada elemento	61
Figura 5.11 -	Relatório dos dados de calibração das posições instrumentadas com detectores de platina	62
Figura 5.12 -	Apresentação do menu Imprimir / Tela.....	63
Figura 5.13 -	Tela Densidade de Potência com opção de impressão	64
Figura 5.14-	Apresentação do menu Editar	65
Figura 5.15 -	Tela para atualização da seção de choque dos elementos	66
Figura 5.16 -	Tela para atualização da sensibilidade dos detectores	68
Figura 5.17 -	Tela para alteração dos tempos de aquisição de sinais e gravação de dados.....	69

Figura 5.18 - apresentação do menu Exibir / Monitoração do Reator	70
Figura 5.19 - Tela Configuração do Núcleo	71
Figura 5.20 - Tela mostrando a distribuição da temperatura na saída dos elementos..	73
Figura 5.21 - Tela mostrando a potência gerada em cada elemento	74
Figura 5.22 - Tela Distribuição de Fluxo	76
Figura 5.23 - Tela para apresentação do gráfico tridimensional da densidade de potência.....	77
Figura 5.24 - Tela para seleção de um elemento para apresentação do perfil axial....	78
Figura 5.25 - Tela mostrando o elemento D3 selecionado	79
Figura 5.26 - Tela para apresentação do perfil axial da densidade de potência de um elemento.....	80
Figura 5.27 - Tela para apresentação do gráfico de tendência da densidade de potência na posição de um detector	81
Figura 5.28 - Apresentação do menu Exibir / Monitoração do Sistema	82
Figura 5.29 - Tela para apresentação da fluência nos 5 planos instrumentados.....	83
Figura 5.30 - Tela de seleção dos feixes instrumentados e indicação de detectores falhos	85
Figura 5.31 - Tela para apresentação da corrente dos detectores	86
Figura 5.32 - Tela para apresentação do status de intercalibração	87
Figura 5.33 - Tela para atualização dos fatores de calibração	88
Figura 5.34 - Diagrama de acesso às telas.....	91
Figura 5.35 - Fluxograma funcional do software.....	92
Figura 6.1 - Relatório da distribuição de densidade de potência com falha no detector da cota 54 do elemento D3.....	108
Figura 6.2 - Tela apresentando a correção do valor da corrente da cota 18cm do elemento B3.....	109
Figura 6.3 - Relatório da distribuição da densidade de potência com falha no detector da cota 18cm do elemento B3.....	110

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de detecção "in-core" são considerados essenciais em reatores nucleares de potência, pois é a partir deles que os operadores monitoram a densidade de potência no núcleo, de forma a aumentar as margens de operação, melhorar o gerenciamento do combustível e assegurar que em nenhum ponto do reator a temperatura atinge valores considerados inseguros.

Os sistemas tradicionalmente utilizados para monitoração "in-core" são compostos por minicâmaras de fissão, introduzidas em posições previamente estabelecidas do núcleo, nas quais se faz uma varredura axial. A análise dos dados é feita posteriormente, ou seja, "off line". Os sistemas mais modernos utilizam detectores do tipo "Self Powered Detector" (SPD) que, em conjunto com termopares, são instalados em posições fixas dentro do núcleo do reator e, ao contrário dos sistemas tradicionais, permitem monitorar continuamente o que ocorre no núcleo. Em alguns casos são utilizados inclusive para ações de proteção, como por exemplo, promovendo o desligamento do reator /1, 2/.

A monitoração "in-core" tem dois objetivos distintos: o mapeamento da densidade de potência no interior do reator e a monitoração das condições do núcleo. O objetivo do mapeamento da densidade de potência é fazer um acompanhamento da distribuição tridimensional de potência com uma resolução espacial relativamente alta, de modo que os resultados sejam representativos das condições neutrônicas e termo-hidráulicas do núcleo, formando a base para a validação do projeto e do desempenho do núcleo à medida que progride o "burn-up". O mapeamento é feito com o núcleo em estado estacionário e em condições de referência.

Na sua outra função, o sistema de instrumentação "in-core" realiza a monitoração contínua das condições do núcleo, fornecendo ao operador informações de transientes relacionados com a distribuição de densidade de potência, de modo a permitir uma rápida diagnose no caso de anomalias. Ainda na função de monitoração, em muitos

casos os sinais provenientes de detectores "in-core" são utilizados junto com a técnica de análise de ruído para monitorar possíveis anomalias estruturais no núcleo do reator, como por exemplo a vibração das varetas e peças estruturais. Eventualmente, os sinais da instrumentação "in-core" são utilizados para controle e proteção do reator. Embora os detectores "out of core" sejam os principais responsáveis pelo controle e proteção do reator por possuírem maior confiabilidade, vêem o núcleo como um ponto, sendo apenas mais sensíveis à região próxima de onde estão localizados e não fornecem detalhes do interior do núcleo.

Na maioria dos projetos de reatores, o núcleo contém detectores "in-core" em menos de 40% dos elementos combustíveis /3/. Os detectores são posicionados em uma lança de instrumentação localizada no centro ou próximo ao centro do elemento combustível. O sinal de saída do detector é uma corrente que, dependendo do detector utilizado, é proporcional ao fluxo gama, ao fluxo de nêutrons, ou à combinação de ambos. Com o devido tratamento, este sinal fornece uma distribuição tridimensional da densidade de potência em todo o núcleo do reator. Para isto é necessário um processamento matemático complexo, pois, além dos detectores ocuparem posições discretas, a razão potência/sinal depende de vários parâmetros do reator, como por exemplo o enriquecimento, o "burn-up", a temperatura do moderador, a presença de veneno queimável e a taxa de queima dos emissores dos detectores.

Geralmente este processamento consiste de duas fases distintas. A primeira é a geração de fatores analíticos necessários para converter os sinais de corrente em potência. Estes fatores são tipicamente gerados pelos mesmos códigos nucleares utilizados no projeto do núcleo e são baseados em estimativas de operação do núcleo, sendo fornecidos em função do "burn-up" do combustível.

Em seguida, os fatores analíticos assim gerados, juntamente com as correntes medidas dos detectores, são utilizados como dados de entrada para o outro software, que é o código de mapeamento e de monitoração da potência propriamente dito. Nesta fase, a corrente do detector é convertida em fluxo e densidade de potência. A potência nos elementos adjacentes (não instrumentados) é então inferida através de técnicas de

interpolação. Finalmente, determina-se os elementos e as posições com maior densidade de potência e maior temperatura, com o objetivo de se confirmar que os valores obtidos estão abaixo dos limites estabelecidos na especificação técnica.

1.1. Objetivo do trabalho

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um programa computacional que permite o mapeamento de fluxo e monitoração "on line" das condições do núcleo do reator, a partir de sinais gerados por detectores do tipo SPDs e termopares fixos em tubos de instrumentação localizados no centro dos elementos combustíveis.

O programa converte sinais provenientes de detectores do tipo SPD em densidade de potência, fornecendo ao operador informações "on-line", de modo a permitir um acompanhamento contínuo do que ocorre no núcleo do reator, e uma rápida diagnose no caso de possíveis anomalias.

Em geral os sinais dos detectores tipo SPD são utilizados junto com técnicas de análise de ruído para monitorar o comportamento mecânico dos elementos e varetas combustíveis, porém tendo em vista que na maior parte dos casos a análise é feita "off-line", uma vez que o processo de análise exige a aplicação de programas computacionais mais sofisticados, este tipo de monitoração não será abordado neste trabalho.

Para a implementação do programa, foi assumido que os sinais são provenientes de dois conjuntos distintos de SPDs distribuídos no núcleo de um reator hipotético com 25 elementos combustíveis, num arranjo de 5 x 5. Um dos conjuntos é assumido como sendo mais sensível à radiação gama, e o outro mais sensível ao fluxo neutrônico. Os detectores fornecem sinais que são convertidos em densidade de potência, num processo parametrizado em função da queima do núcleo e da queima dos emissores dos detectores. Os resultados da densidade de potência local são extrapolados, de forma a permitir a obtenção da distribuição tridimensional da potência em todo o núcleo do reator.

Neste programa, os fatores analíticos para a conversão do fluxo de nêutrons em densidade de potência foram sintetizados no parâmetro seção de choque, considerado dado de entrada do programa.

Para a implementação do programa, utilizamos valores equivalentes a sinais dos detectores distribuídos em um núcleo hipotético descrito no capítulo 3 e a metodologia de cálculo proposta no capítulo 4.

A Interface Homem - Máquina no sistema é feita através da apresentação de dados em telas gráficas, com a solicitação e fornecimento de dados pelos operadores via mouse e teclado. Os principais dados a serem apresentados na tela são:

- densidade média e potência em cada elemento combustível
- mapeamento tridimensional da densidade de potência e do fluxo
- distribuição da temperatura do refrigerante na saída dos elementos combustíveis
- perfil da densidade de potência em qualquer elemento combustível
- fatores de pico e posição mais quente do núcleo
- curvas de tendência da densidade de potência
- alarmes e mensagens em caso de ultrapassagem de valores limites
- indicação da validade dos sinais.

1.2. Estrutura do trabalho

Segundo a estrutura adotada neste trabalho, no capítulo 2 é apresentado um resumo bibliográfico sobre os diversos tipos de sistemas e detectores utilizados para monitoração "in-core" em reatores de potência, com ênfase nos detectores do tipo SPD.

O capítulo 3 especifica o hardware e o software do sistema de monitoração "in-core" aqui proposto e o capítulo 4 descreve a metodologia de cálculo utilizada no programa.

A descrição do software desenvolvido é apresentada no capítulo 5.

O capítulo 6 apresenta os resultados obtidos com este programa e uma comparação com os dados das referências. Diferentes situações de entrada de dados são testadas para a verificação do desempenho do programa.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2. SISTEMAS PARA MONITORAÇÃO “IN-CORE”

Detectors “in-core” são largamente utilizados na determinação do comportamento neutrônico dentro do núcleo de reatores dos tipos PWR, BWR e CANDU.

Até a década de 70, a instrumentação “in-core” de um reator de potência consistia basicamente de mini-câmaras de fissão que, inseridas periodicamente em canais pré-definidos do núcleo, permitia obter um mapeamento do fluxo neutrônico. Devido ao grande uso na época, as mini-câmaras de fissão conseguiram uma boa padronização e confiabilidade, porém, apresentam a desvantagem de não permitir medidas “on-line”. Assim sendo, os detectores do tipo auto energizados (SPD) surgiram como uma alternativa vantajosa. Após exaustivos testes em reatores, os SPDs passaram a ser efetivamente utilizados como monitores “in-core” de fluxo por mais de 25 anos em reatores de potência /4/.

2.1. Detectores “in-core” do Tipo SPD

O SPD típico, apresentado na figura 2.1, é constituído de um eletrodo central (o emissor), circundado por um material isolante, um eletrodo externo (o coletor) e de um cabo coaxial para o envio do sinal.

O emissor é o eletrodo central que emite elétrons ao interagir com a radiação proveniente do reator (nêutrons e/ou raios gama). O isolante é constituído por um material dielétrico, geralmente alumina ou óxido de magnésio, que mantém alta resistência elétrica mesmo quando submetido a um intenso campo de radiação e alta temperatura. O coletor é um condutor elétrico com baixa seção de choque de absorção de nêutrons e deve possuir uma boa resistência à corrosão, de maneira a garantir a estanqueidade do detector; geralmente utiliza-se o aço inox ou inconel.

SELF POWERED DETECTOR (SPD)

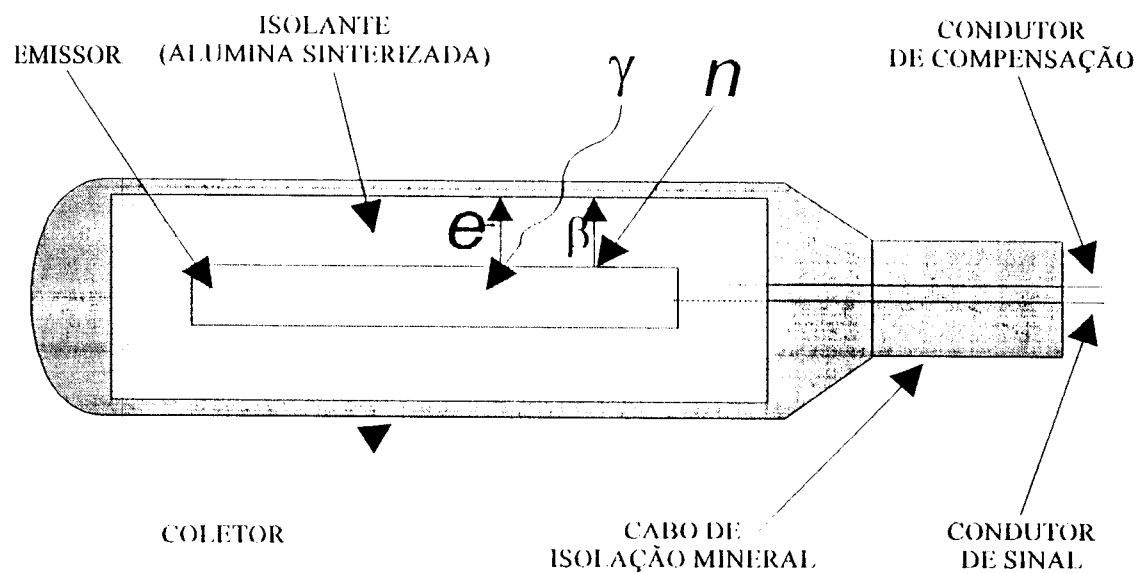


Figura 2.1 - Representação esquemática de um SPD

Nos SPDs, as interações da radiação com o núcleo atômico do material emissor geram elétrons que, uma vez liberados, produzem uma corrente proporcional ao fluxo de radiação. O fluxo de radiação pode ser de nêutrons, para SPDs sensíveis a nêutrons, como o ródio, ou de gamas, para SPDs sensíveis à radiação gama, como a platina.

De acordo com estudos efetuados anteriormente no IPEN /5, 6, 7/, comparado com outros detectores utilizados em sistemas "in-core", os SPDs apresentam algumas vantagens:

- não necessitam fonte de alimentação
- possuem estrutura simples e robusta
- possuem tamanho relativamente pequeno para instalação "in-core"
- apresentam boa estabilidade sob condições de temperatura e pressão
- geram um sinal reprodutível linear
- apresentam baixa queima (dependendo do material emissor).

Também apresentam algumas desvantagens:

- faixa de operação limitada, devido à baixa sensibilidade a nêutrons
- necessidade de compensação a ruídos (para alguns emissores)
- resposta atrasada (para alguns emissores)

Num campo de radiação, os nêutrons e gamas interagem preferencialmente no emissor através de reações do tipo (n, γ, e^-) , (n, β) e (γ, e^-) gerando uma corrente proporcional ao fluxo de nêutrons e de gamas na posição de irradiação. Da mesma forma que o emissor, sempre que um cabo coaxial de um detector é exposto a radiação ionizante, é gerada uma corrente de elétrons (chamada de corrente de BG). Para detectores "in-core", cujos cabos são expostos a altos fluxos, o valor desta corrente de BG torna-se significativo. Para subtrair esta corrente de BG, é instalado um segundo cabo próximo ao cabo do detector, de forma que a diferença da corrente medida nas extremidades dos dois cabos corresponde à corrente gerada somente no detector.

De acordo com o tipo de interação predominante, os SPDs podem ser classificados em duas categorias. Se a interação predominante for do tipo (n, β) , o detector é classificado como sendo de resposta lenta (atrasada), com uma dinâmica regida pela meia vida do núcleo emissor da partícula beta. Se a interação predominante for do tipo (n, γ, e^-) ou (γ, e^-) , o detector é classificado como sendo de resposta pronta (imediate). Os detectores de resposta lenta são bastante precisos, mas respondem lentamente à variação do fluxo de nêutrons, tais como os detectores com emissores de ródio, vanádio e prata. Existem estudos de algoritmos de compensação dinâmica /8/, que aceleram a resposta atrasada destes SPDs, gerando sinais como se fossem detectores de resposta pronta.

Os SPDs de resposta pronta, por outro lado, possuem um tempo de resposta rápida, mas necessitam ser calibrados para assegurar um sinal preciso. Alguns detectores de resposta rápida são bastante sensíveis à radiação gama, como os detectores de háfnio e platina, o que faz com que a dependência de seu sinal a parâmetros operacionais, como a temperatura do moderador, concentração de boro e posicionamento das barras de controle, seja muito pequena. Este tipo de detector possui sinal diretamente proporcional à potência, dependendo somente da taxa de queima do combustível /3, 9, 10/.

Na utilização de detectores sensíveis a gama, devem existir ressalvas para que a contribuição devido ao decaimento gama de elementos queimados não influa na medida de potência.

Para aplicação em reatores de potência, os materiais emissores típicos utilizados em SPDs incluem ródio, vanádio, cobalto, háfnio, platina e prata /4/. Outros emissores, como cádmio, gadolínio e érbio podem ser usados em SPDs, mas não são práticos para uso em reatores de potência /3/.

As tabelas 2.1 e 2.2 dão uma visão geral de algumas características importantes dos emissores de SPDs usados em reatores de potência. Baseado nos dados da Tabela 2.2 e considerando um campo típico de reatores a água leve, isto é fluxo de nêutrons térmicos de 10^{13} nêutrons / cm^2 s, fluxo de nêutrons epitérmicos de 10^{12} nêutrons / cm^2 s e um campo gama de 10^8 R/h, mostramos na Tabela 2.3 a contribuição destes campos no sinal total de alguns detectores.

Tabela 2.1 - Características nucleares dos principais emissores utilizados em reatores de potência /4/

Material Emissor	Seção de choque	n, β atrasado	n, γ , e^- pronto	γ , e^- pronto	Aplicações
^{59}Co	37 barns	O	X	O	Mapeamento de Fluxo, Controle e Proteção Local de LWR
^{195}Pt	24 barns	O	X	X	Controle de LWR e HWR
^{103}Rh	145 barns	X	-	-	Mapeamento de Fluxo de LWR
^{51}V	4.9 barns	X	X	O	Mapeamento de Fluxo de HWR e LWR
HfO_2	115 barns	O	X	O	Mapeamento de Fluxo e Controle Local de RBMK* e Proteção Local de RBMK
Ag	64.8 barns	X	-	-	Mapeamento de Fluxo de RBMK

X = interação primária

O = interação secundária

* RBMK upgraded

Tabela 2.2 - Sensibilidade dos SPDs mais utilizados em usinas nucleares

Material Emissor	Ródio *	Vanádio *	Cobalto **	Háfnio **	Prata *	Platina *
Diâmetro do emissor (mm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Comprimento do emissor (mm)	100	100	Não disponível	Não disponível	100	100
Diâmetro do coletor (mm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Sens.a nêutrons térmicos (A/nvcm)	12.8 E-22	0.48E-22	0.6E-22	0.94E-22	6.28E-22	0.16E-22
Sens a nêutrons epitérmicos (A/nvcm)	20.35E-22	1.0E-22	-0.06E-22	0.73E-22	15.65E-22	~0.07E-22
Sensibilidade a gama ⁶⁰ Co (A/R/h cm)	0.25E-17	-0.09E-17	-0.01E-17	1.0E-16	0.23E-16	1.89E-16
Tempo de resposta *** (0-63%)	1.1 minuto	5.5 minuto	Pronto	Pronto	0.5 minuto	Pronto
Queima %/mês a 10 ¹³ nv ***	0.39	0.01	0.09	0.30	0.16	0.03

* Dados Experimentais Obtidos por SURKOV /6/

** Noise Analysis Process Datatec /11/

*** W. H. TODT Sr. - IST /4/

Tabela 2.3 - Composição da corrente dos detectores do tipo SPD devido a diferentes campos de radiação presentes em um reator (corrente por centímetro de emissor)

Material emissor	ródio	vanádio	cobalto	háfio	prata	platina
Corrente devido a nêutrons térmicos (nA)	12.8	0.48	0.6	0.94	6.28	0.16
Corrente devido a nêutrons epitérmicos (nA)	2	0.1	-0.006	0.07	1.56	0.007
Corrente devido a campo gama (nA)	0.25	-0.09	-0.01	10	2.3	18.9
Corrente total por cm de emissor (nA)	15.1	0.5	0.6	11.0	10.1	19.1

2.2. Métodos de Monitoração

Segundo as publicações que apareceram nos últimos anos abrangendo o campo de instrumentação de reatores, os principais sistemas para monitoração "in-core" utilizam basicamente detectores fixos com SPDs e sistemas móveis com câmaras de fissão miniatura móveis. Em alguns sistemas fixos, existe também um sistema móvel associado (câmara de fissão miniatura ou "aeroballs") para a intercalibração.

Os sistemas móveis que utilizam câmaras de fissão miniatura /12/, conhecidos como sistema MID (Movable Incore Detector) ou TIP (Traversing Incore Probe System), medem taxas de reação à medida que os detectores atravessam o núcleo dentro de tubos guias de instrumentação /13/. As taxas de reação são medidas em muitas elevações axiais (tipicamente 60 ou mais), indicadas pela corrente dos detectores. Fatores analíticos são utilizados para converter a corrente do detector em potência no elemento medido e nos elementos adjacentes. Os fatores analíticos são determinados tanto pelos códigos de análise 2D ou 3D, dependendo da geometria do elemento combustível.

Sistemas móveis com câmaras de fissão miniatura apresentam vários atrativos, entre eles destacam-se:

- curto tempo de exposição do detector ao fluxo de nêutrons do reator, eliminando a depleção do U-235 do detector.
- capacidade de alinhamento e boa resolução axial. Os sistemas mais recentes, como o Advanced Flux Mapping System da Westinghouse, podem fornecer tantos pontos axiais quantos necessários para a análise desejada. Estes sistemas também fornecem alinhamento exato (dentro de uma margem de precisão de 0,25 polegada) no posicionamento dos detectores.
- possibilidade de intercalibração dos detectores durante cada medida no núcleo. Uma vez que apenas uma pequena quantidade de detectores é usada para atravessar todos os elementos medidos em vários passos, cada detector pode atravessar o mesmo elemento de calibração. Isto elimina qualquer diferença de sensibilidade dos

detectores, funcionando como se todas as medidas fossem realizadas com um único detector.

Este sistema também apresenta alguns inconvenientes:

- utiliza muitas partes móveis e a inserção dos detectores deve operar perfeitamente, apesar de ser uma operação remota.
- o mapeamento de fluxo é periódico e os limites de operação devem ser impostos por distribuição de potência axial (pelos detectores "out of core") e radial (pelos termopares do topo do núcleo) entre os mapeamentos.
- a distribuição de potência deve permanecer invariável durante a medida, que pode levar uma ou mais horas. Qualquer variação, tanto na distribuição de potência axial como radial, durante a medida, resultará em aumento de erros.

Os sistemas "in-core" fixos utilizam feixes de detectores SPDs para medir a potência local dentro dos tubos de instrumentação dos elementos combustíveis. Os detectores são fixos em posições axiais, geralmente entre as grades espaçadoras. As taxas de reação medidas em cada elevação, indicada pela corrente do detector, é uma medida do fluxo de nêutrons, do fluxo gama ou uma combinação dos dois, dependendo do material usado no emissor do detector. Fatores analíticos são usados para converter as correntes dos detectores em potência e em fatores de pico nos elementos medidos e adjacentes. Os fatores analíticos são determinados antecipadamente, ou mesmo durante o mapeamento do fluxo, por modelos de análise de núcleo.

O sinal dos detectores fixos, através da análise de ruídos, também podem ser utilizados para a monitoração das condições da estrutura interna do núcleo, tais como a determinação da vibração dos elementos e varetas combustíveis, movimento pendular do vaso de pressão, coeficientes de reatividade e alguns parâmetros termo-hidráulicos (como flutuação da pressão e da velocidade do refrigerante no núcleo) em reatores de potência /11/. Ou seja, a mesma instrumentação "in-core" é utilizada tanto para a monitoração da distribuição de potência como para a monitoração da estrutura interna do núcleo do reator.

Como já explicado nas seções anteriores, existe uma grande variedade de materiais emissores de SPDs, e em geral observamos que:

- materiais que fornecem um sinal razoável (boa razão sinal / ruído) apresentam variação nas características de resposta com o tempo por depleção (como o ródio). Ao contrário, materiais que mantêm razoavelmente características de resposta consistente ao longo do tempo, têm um baixo sinal de saída (como o vanádio).
- os detectores de ródio e vanádio possuem uma boa precisão, mas são de resposta lenta.
- os detectores que possuem resposta rápida, como a platina, cobalto ou háfnio, fornecem sinais de corrente proporcionais ao fluxo gama, ao fluxo de nêutrons, ou à combinação de ambos, dificultando a interpretação.
- devido ao fato dos detectores permanecerem constantemente no núcleo, expostos ao fluxo de nêutrons, os efeitos da irradiação devem ser incluídos nos fatores analíticos usados para inferir a distribuição de potência, resultando em complicações no processo de análise.
- muitas vezes é necessária a presença de um sistema móvel para intercalibração.

Outra desvantagem do sistema fixo é o fato dos detectores ocuparem posições discretas (existem tipicamente 5 a 8 detectores posicionados axialmente), aumentando as incertezas nos valores calculados por extrapolação.

Algumas destas desvantagens têm sido contornadas. Como exemplo, pode-se citar a correção por software da variação na sensibilidade ao longo do tempo através de funções bem definidas de depleção dos isótopos. Um modelo 3 D do núcleo pode fornecer fatores analíticos necessários para estimar a corrente dos detectores e taxas de reação, levando em conta os efeitos de depleção na resposta do detector em função do histórico operacional real da planta.

Outra solução é a utilização de feixes com combinação de detectores que usam dois dos materiais citados acima. Tipicamente, um é selecionado pela boa característica em estado estacionário e o outro pela sua resposta rápida. Assim é possível a combinação das funções de proteção e supervisão em um único sistema "in-core" integrado. Combinando um conjunto de detectores de resposta rápida e detectores sensíveis a nêutrons, elimina-se a necessidade de um sistema auxiliar móvel para a intercalibração dos detectores "in-core".

Existem vantagens adicionais no sistema "in-core" fixo. Primeiro, não existem partes móveis no sistema durante o mapeamento. Segundo, o mapeamento pode ser feito rapidamente, não exigindo um longo período na condição de estado estacionário. Além disto, se o software de leitura e processamento dos detectores for suficientemente rápido, é possível realizar todo o processo de monitoração do núcleo, tanto para controle como para proteção "on-line", em tempo real, cujos benefícios são substanciais para plantas que operam como seguidoras de carga.

Outros 2 tipos de detectores fixos também têm sido bastante estudados nos últimos anos. Os termômetros gama /14/, /15/, que já estão sendo utilizados em reatores de potência, e as câmaras de fissão regenerativas /16/, /17/.

Termômetros gama, também conhecidos como calorímetros, vêm sendo utilizados em reatores a água pesada há várias décadas (Savanah, desde o início dos anos 50 e Halden - Noruega, desde 1963) e atualmente estão sendo avaliados em vários reatores de potência /9, 18/. O sinal de saída do termômetro gama, medido por termopares diferenciais, é proporcional ao aquecimento na câmara de gás do sensor provocado pelo fluxo gama incidente. O termômetro gama também contém um cabo aquecedor central, que propicia a sua calibração "in-situ". Isto é feito fornecendo uma corrente elétrica conhecida ao aquecedor que causa um aumento no aquecimento de cada sensor. Pacotes de software integrados convertem a tensão do termômetro gama para potência das varetas combustíveis próximas aos sensores e extrapolam a distribuição de potência tridimensional para o núcleo todo. Este tipo de sensor possui a desvantagem de não fornecer resposta instantânea, necessitando de correções por software /19/.

Existe um programa de estudo comparativo, em andamento na França pela CEA, entre SPDs de vários materiais e câmaras de fissão regenerativas de tamanho excepcionalmente pequeno contendo U234 e U235. O objetivo é conseguir um sensor rápido e essencialmente sensível a nêutrons térmicos.

É importante observar que independente do tipo de sistema "in-core" para monitorar o fluxo neutrônico e a densidade de potência, a instrumentação nuclear de um reator de potência é complementada por termopares que monitoram a temperatura do fluido refrigerante na parte superior de alguns elementos combustíveis, e por detectores de nêutrons colocados na parte externa do reator (instrumentação "out of core").

2.3. Situação atual dos sistemas "in-core"

Vários são os materiais utilizados como SPDs. SPDs fixos de ródio são utilizados em PWRs da Combustion Engineering (CE) e nos reatores russos tipo WWER /20/, para fornecer monitoração "on line" e supervisão da distribuição de potência no núcleo e de parâmetros relacionados. Já a Babcock & Wilcox /2/ utiliza feixes mistos de SPDs de háfnio e ródio para proteção e controle. Nos reatores CANDU /1, 21/, detectores de vanádio são utilizados para realizar o mapeamento "on line" de fluxo a cada 2 minutos. Os resultados da rotina de mapeamento são usados para a calibração de detectores de platina usados para controle e também para fins de segurança, fornecendo proteção para sobrepotência local.

Em algumas instalações, os sistemas "in-core" originais baseados em mini-câmaras de fissão, estão sendo gradativamente substituídos por sistemas com detectores fixos. É o caso da usina nuclear de Seabrook Station /4, 22/ que durante algum tempo operou com dois sistemas completos e independentes: um sistema de detecção "in-core" móvel com câmaras de fissão, e um sistema com SPDs fixos de platina. Ambos os sistemas foram instalados durante a construção da planta. Durante os três primeiros ciclos de operação (a partir de 1990), foram utilizados os dois sistemas. A partir do quarto ciclo,

após a aprovação pela Nuclear Regulatory Commission (NRC), somente o sistema fixo foi usado, uma vez que mostrou precisão e funcionalidade esperada para um sistema "in-core".

O mesmo ocorreu com a usina Yankee, localizada em Rowe /14/, um PWR projetado para produzir 175 MW. O sistema de instrumentação "in-core" original consistia de fios que eram inseridos em diversas posições do núcleo e, após serem irradiados, eram removidos e deixados para decair. Posteriormente a atividade do ^{56}Mn existente nos fios era medida, e a partir dela determinava-se a distribuição de fluxo e a distribuição de potência no reator. Com este sistema, levava-se três dias para se obter os dados da distribuição de potência tridimensional. Em 1974, o sistema de fios foi substituído pelo sistema de instrumentação "in-core" móvel, porém problemas operacionais com esta instrumentação levou a Yankee a instalar detectores "in-core" fixos do tipo SPD. O novo sistema recebeu a aprovação da NRC em dezembro de 1988.

No caso da planta Ringhals-2, de 950MW da Westinghouse, originalmente provida de sistema de detecção "in-core" móvel, algumas lanças com termômetros gama fixos foram adicionados ao longo do tempo, de modo que em 1996 o sistema possuía 12 elementos instrumentados com este sistema fixo. Recentes análises /23/ mostraram que o sistema denominado Co-Re Supervision System (CROSS) utilizando termômetros gama apresentam um ganho de 10% na margem DNB, permitindo a retirada do sistema móvel.

Algumas empresas fornecedoras de usinas nucleares já incorporaram sistemas "in-core" fixos na instrumentação do reator. É o caso da ABB/CE /24/ que tradicionalmente tem confiado nos detectores fixos "in-core" para obter os sinais de fluxo para a monitoração da distribuição de potência do núcleo. Para os projetos System 80 e System 80+, de 3410 MWth, este sistema de monitoração tem operado em tempo real com atualizações contínuas nos limites de operação termo-hidráulicas e do combustível. No projeto do System 80, a ABB/CE incorporou um sistema móvel de detecção "in-core", além do sistema fixo. Experiências operacionais em Palo Verde Nuclear Generation Station, demonstraram que o uso do sistema móvel não era necessário e o sistema foi descomissionado. Entretanto, o projeto dos dispositivos fixos fornecidos pela IST Canada ainda continham o guia móvel e então estudos foram iniciados para o seu aproveitamento. Foram projetados, desenvolvidos e estão inseridos nestes guias desde 1991, oito novos

dispositivos "in-core", dando ao projeto do System 80 a capacidade de aumentar a precisão das medidas.

Apesar do desenvolvimento dos sistemas fixos com detectores do tipo SPD, algumas empresas ainda utilizam sistemas mistos ou apenas sistemas móveis. É o caso da SIEMENS/KWU, fornecedora de Angra II, e da GE, tradicional fornecedora de reatores tipo BWR.

A instrumentação "in-core" desenvolvida pela SIEMENS/KWU /25/ combina dois sistemas complementares. O primeiro denominado "aeroball", emprega detectores móveis de ativação na forma de pequenas esferas de aço; opera sob demanda, e fornece informações sobre a distribuição de fluxo com alta precisão e resolução espacial. O segundo é um sistema fixo com SPDs; tem a função de monitoração e seus sinais são calibrados usando os resultados do sistema de mapeamento de fluxo. Os sinais do sistema fixo são utilizados para o controle do reator e no sistema de proteção e supervisão automática do núcleo. O conceito SIEMENS/KWU foi desenvolvido entre 1968 e 1974 e foi introduzido em vários estágios (Obrigheim 1969, Stade 1972, Biblis A 1974). Desde então tem sido utilizado sem alterações em todas as plantas da KWU.

Com relação à GE, seus BWRs /3/, são geralmente equipados com 100 a 180 câmaras de fissão miniatura, que medem tanto o fluxo de nêutrons local como a distribuição de potência. A partir destas informações, a queima do combustível pode ser calculada e o ajuste automático das barras de controle pode ser ativado. Além disto, os sinais destes detectores "in-core" são usados como informação para o sistema de proteção do reator, que pode iniciar ações preventivas para proteger o núcleo do reator, até mesmo com um "scram", em último caso.

Os avanços no hardware de computadores e nos códigos neutrônicos têm levado a um novo conceito "baseado em estimativa" para análise de dados de detectores "in-core". Tais sistemas, incluindo o sistema BEACON /26/ da Westinghouse, inicialmente obtêm uma distribuição de potência estimada com boa precisão a partir de um código de análise nuclear 3D otimizado. As medidas dos detectores são usadas então para ajustar a distribuição de potência estimada para a distribuição de potência real no núcleo. Este tipo

de sistema também estima a resposta da instrumentação "in-core" e posteriormente ajusta a distribuição de potência 3D estimada levando em conta os desvios.

Este sistema "baseado em estimativas" tem sido instalado em plantas da Westinghouse com sistemas de detectores móveis (MID) e termopares fixos, permitindo monitoração contínua com incertezas próximas das medidas de mapeamento com MID. Este sistema também pode ser usado pelos sistemas "in-core" fixos ou sistemas combinados.

3. ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA

Conforme mencionado no capítulo 1, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um programa de supervisão "in-core", para permitir o mapeamento do fluxo neutrônico e monitoração "on-line" das condições do núcleo de um reator nuclear, utilizando detectores do tipo SPD.

Como podemos ver na figura 3.1, um sistema de monitoração "in-core" consiste de um conjunto de detectores distribuídos dentro do núcleo, de uma unidade de condicionamento e aquisição de dados e um programa (software) de supervisão, baseado em microcomputador.

Para a implementação do programa, assumimos um núcleo hipotético e consideramos uma distribuição de detectores com um sistema eletrônico adequado para este tipo de monitoração.

Para verificarmos a metodologia de cálculo proposta para o programa, assumimos um núcleo de 5 x 5 elementos combustíveis, cada um com 18 varetas e 60 cm de altura. Cada elemento combustível, com exceção do central, possui um elemento simétrico. A Figura 3.2 apresenta a identificação dos elementos combustíveis e a simetria existente. Os elementos identificados como 1A a 12A são considerados simétricos aos elementos identificados como 1B a 12B respectivamente, por apresentarem a mesma seção de choque macroscópica e a mesma distância em relação aos elementos de controle.

Por definição, estabelecemos que os 12 elementos combustíveis identificados com **XXA** na Figura 3.2 são instrumentados com SPDs de ródio, e que os outros 12 simétricos identificados com **XXB** e o elemento combustível central são instrumentados com SPDs de platina. Cada elemento é instrumentado com um feixe de 5 SPDs e um termopar, totalizando 65 detectores de platina, 60 detectores de ródio e 25 termopares.

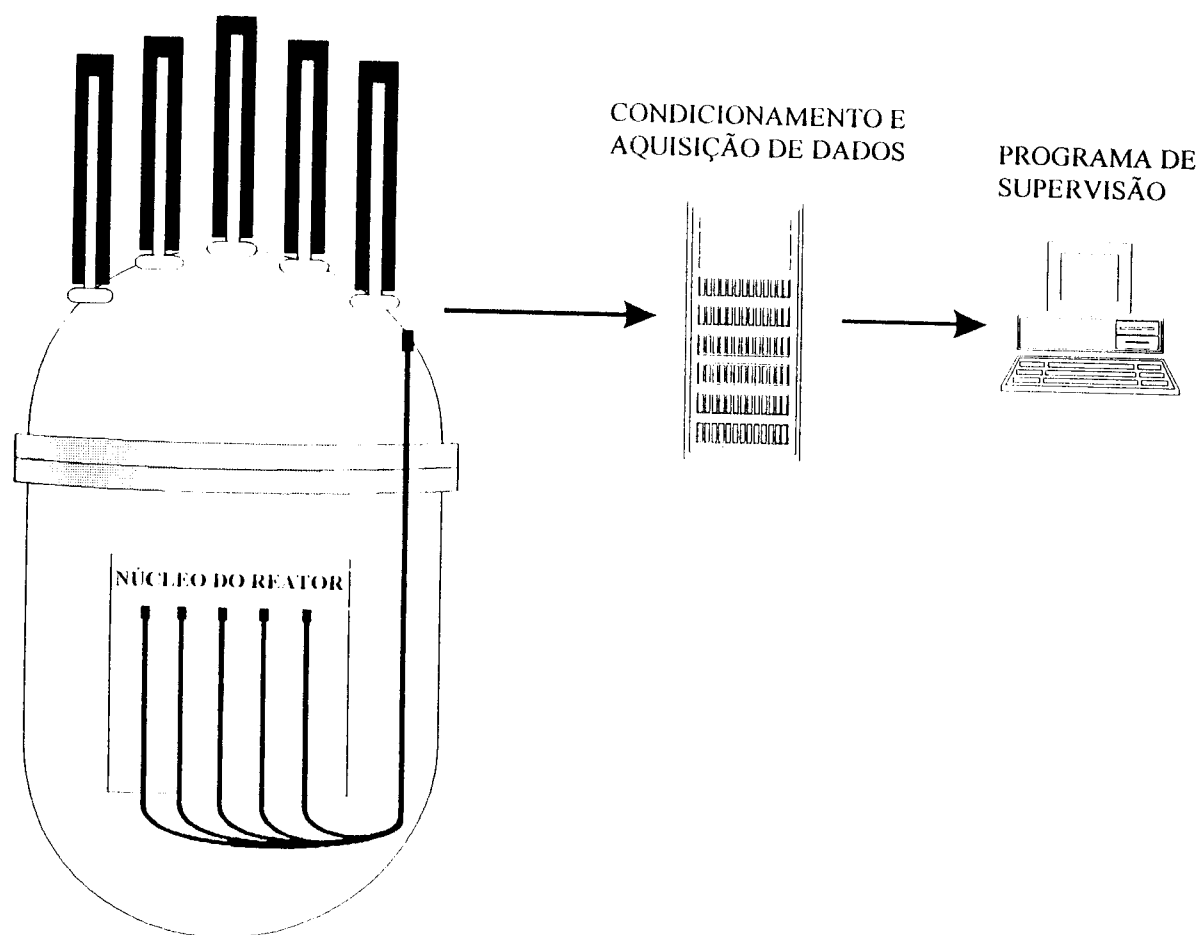


Figura 3.1 - Ilustração de uma arquitetura típica de sistemas de monitoração "in-core"

ECA1	ECB1	ECC1	ECD1	ECE1
1 B	8 A	6 B	8 B	1 A
ECA2	ECB2	ECC2	ECD2	ECE2
11 A	4 B	7 A	4 A	11 B
ECA3	ECB3	ECC3	ECD3	ECE3
2 B	9 A	13 B	9 B	2 A
ECA4	ECB4	ECC4	ECD4	ECE4
12 A	5 B	7 B	5 A	12 B
ECA5	ECB5	ECC5	ECD5	ECE5
3 B	10 A	6 A	10 B	3 A

Figura 3.2 - Configuração do núcleo exemplo utilizado

NOTA: Os elementos XXA e XXB são simétricos

Para os elementos XXA foram simulados sinais de detectores de ródio

Para os elementos XXB foram simulados sinais de detectores de platina

Devemos observar que tanto os SPDs de platina (com resposta pronta e sensíveis a gama) como os de ródio (com resposta lenta e sensíveis a nêutrons), possuem características operacionais que os tornam atrativos para a aplicação em reatores, porém, nenhum dos dois tipos de detectores possui isoladamente todas as características ideais para monitoração "in-core". Propomos, então, dois conjuntos distintos de SPDs no núcleo.

Os sinais de termopares e dos detectores SPDs foram simulados com base nos dados do mapeamento de fluxo e cálculo da distribuição de potência apresentados por Bitelli /27, 28/, multiplicados por um fator 1000 para torná-los compatíveis com a sensibilidade dos detectores.

3.1. Hardware necessário para as medidas

Apesar de utilizarmos sinais simulados neste trabalho, consideramos relevante descrever o hardware necessário para utilização de um sistema em condições reais, o que é feito a seguir.

Os sinais gerados pelos SPDs e termopares inseridos no núcleo são transmitidos por cabos bifilares para fora da área de contenção do reator, até uma Unidade de Aquisição de Dados (UAD) que envia para a Unidade de Supervisão os dados para o processamento do código de mapeamento e monitoração /29/. A Figura 3.3 mostra um diagrama simplificado do fluxo de sinais em sistemas de monitoração "in-core".

A UAD é composta por módulos eletrônicos necessários para o condicionamento dos sinais provenientes dos SPDs e termopares, conjunto de interfaces analógico-digitais, e um módulo de processamento e comunicação. A Unidade de Supervisão é um microcomputador do tipo PC (Personal Computer).

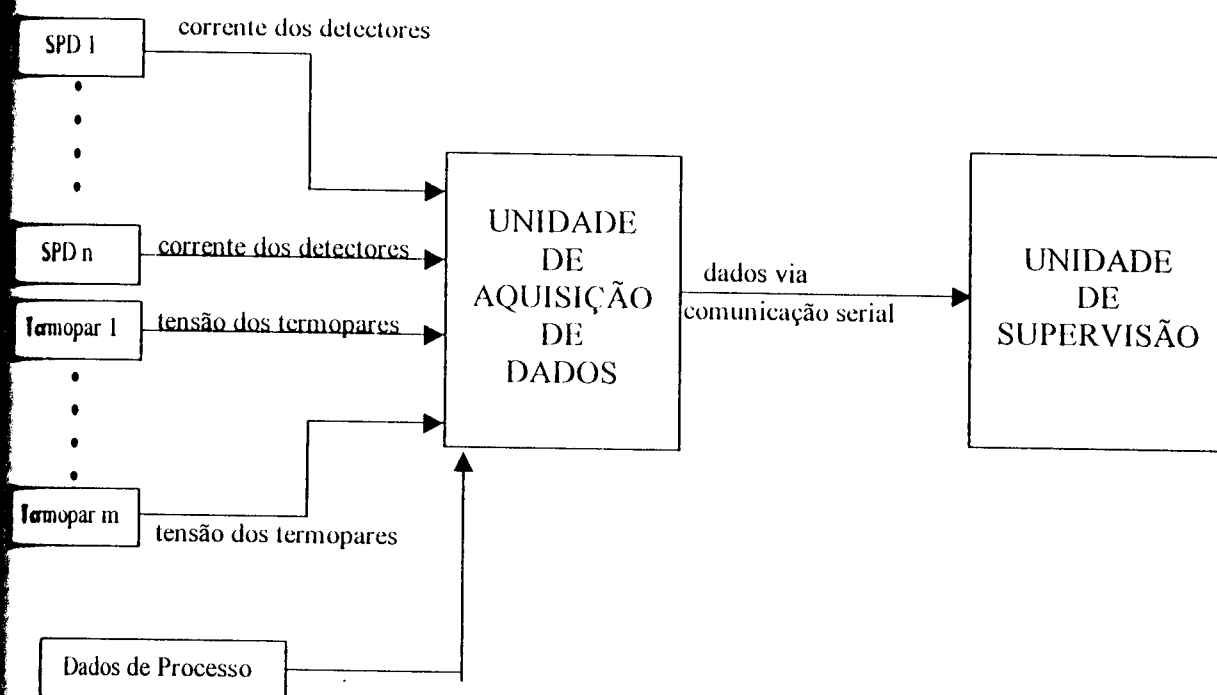


Figura 3.3 - Arquitetura e fluxo de sinais de um sistema de monitoração "in-core"

O tratamento do sinal na UAD pode ser dividido em 3 etapas:

- condicionamento de sinais
- conversão A/D
- gerenciamento da aquisição e comunicação com o PC.

O módulo que condiciona os sinais dos SPDs, consiste basicamente de um eletrômetro, cuja finalidade é medir baixas correntes. Este condicionador geralmente deve possuir as seguintes características e funções /30/:

- medir correntes entre $1\text{E}-11$ a $1\text{E}-7$ Ampères
- medir e compensar o sinal do cabo de compensação
- gerar tensões (na faixa de 0 a 10V) proporcionais à corrente medida, dentro das faixas de corrente selecionadas
- possibilitar o ajuste de ganho do eletrômetro por software
- isolar os sinais de saída do sinal de entrada
- resistência de isolamento superior a $1\text{E}12$ Ohms
- fornecer saídas para análise de ruído.

O condicionamento de sinais dos termopares do topo do núcleo também é realizado na unidade de aquisição, e neste caso o condicionador deve possuir as seguintes características:

- medir a tensão gerada nos termopares
- efetuar a compensação da junta fria para termopares
- gerar tensões (na faixa de 0 a 10V) proporcionais à temperatura de 0 a 500°C
- isolar os sinais de saída do sinal de entrada.

A conversão A/D geralmente é feita por módulos que efetuam a multiplexação de sinais analógicos e a sua conversão para digital. Os requisitos de desempenho necessários para este módulo são: digitalização de sinais analógicos com alta

resolução (12 bits) e tempo de conversão menor que 50 microssegundos para cada canal analógico.

Um módulo processador, com programas armazenados em memória de leitura (ROM), é acoplado à unidade de aquisição para gerenciar todo o fluxo de sinais, desde o condicionador de sinais (controle de ganho) até a transmissão desses dados para a Unidade de Supervisão. Este módulo também pode realizar alguns cálculos como, por exemplo, a conversão dos sinais de tensão dos termopares em temperatura.

A ligação da UAD com a Unidade de Supervisão, em geral, é feita através de interfaces seriais.

Em sistemas de pequeno porte, os módulos de digitalização e comunicação da UAD podem ser substituídos por placas de aquisição de dados do próprio PC da Unidade de Supervisão, porém para sistemas de grande porte, como os utilizados em centrais nucleares, são necessários módulos dedicados, e com capacidade para processamento em paralelo.

No nosso caso, estamos assumindo um sistema de porte médio, com condicionadores independentes, e com uma unidade de supervisão composta por um microcomputador do tipo PC no qual são realizados todos os cálculos necessários, ou seja, no qual reside o software aplicativo do sistema, que é o objeto deste trabalho. Desta forma, estabelecemos para a Unidade de Supervisão um microcomputador do tipo PC com as seguintes características:

- CPU com microprocessador com frequência de operação mínima de 200 MHz e memória "cache" de 256 Kbytes
- memória RAM com capacidade mínima de 32 Mbytes com tempo de acesso menor ou igual a 60 ns
- interface padrão serial RS 232C para ligação com a UAD
- monitor de vídeo SVGA policromática com interface controladora de 2 Mbytes de memória RAM
- teclado

- mouse

Com um PC nesta configuração, o programa desenvolvido deve ser capaz de atualizar os dados na tela e em arquivos, em ciclos de até 0.1 segundos.

3.2. Especificação do software

O programa foi desenvolvido com a ferramenta de programação Visual Basic 5.0, mas está disponível na versão executável, e para a sua execução, exige que o PC contenha o sistema operacional Windows 95, o programa MS Graph 7.0 e o arquivo Msvbvm50.dll de 1.31 Mbytes instalados no diretório Windows / System.

Devemos destacar que embora a metodologia apresentada seja válida para qualquer reator, o software desenvolvido neste trabalho é específico, sendo aplicável apenas para a geometria do núcleo e distribuição de detectores adotados como premissas.

O software desenvolvido para mapeamento e monitoração "on line" do núcleo do reator considera a existência de uma unidade de aquisição de dados através da qual faz-se a aquisição contínua das seguintes variáveis:

- 60 sinais de corrente dos detectores de ródio
- 65 sinais de corrente dos detectores de platina
- 25 sinais de temperatura do fluido refrigerante na saída dos elementos combustíveis
- vazão e temperatura do refrigerante na entrada do núcleo.

O processamento realizado pelo programa envolve também:

- verificação da validade do sinal
- correção da sensibilidade dos detectores devido à queima
- alteração de parâmetros nucleares, que nesta versão se resume no valor chamado de "seção de choque", alterado manualmente pelo usuário através de uma tela
- conversão dos valores de corrente em fluxo

- interpolação e extrapolação dos fluxos para todo o núcleo
- cálculo da fluência na posição de cada detector
- conversão dos valores de fluxo para densidade de potência, utilizando parâmetros calculados por outros programas
- cálculo da potência térmica do reator
- calibração do sistema
- determinação dos parâmetros de interesse, como "axial off set", fatores de pico e elementos mais quentes
- verificação dos limites permitidos para os diversos parâmetros
- apresentação dos valores obtidos em telas gráficas
- armazenamento dos valores de interesse para análise "off line"
- impressão de relatórios e telas para análise posterior.

Os parâmetros externos necessários à execução do programa são os valores iniciais da sensibilidade dos detectores e dos parâmetros nucleares, que neste programa agrupa os valores da seção de choque macroscópica, fator de fissão rápida, posição das barras de controle etc.

4. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para efeito de desenvolvimento do programa proposto neste trabalho consideramos um núcleo de dimensões pequenas, onde todos os M elementos combustíveis são instrumentados. Assumimos que cada elemento combustível contém N varetas combustíveis e um tubo de instrumentação contendo K SPDs e um termopar na extremidade para monitorar a temperatura do refrigerante na saída do núcleo. Neste arranjo, cada SPD é identificado pelas letras j e k, onde j representa o número do elemento combustível (EC), e k a posição do SPD no EC_j.

O programa foi implementado para a configuração do núcleo descrito no capítulo 3 e ilustrado na figura 3.2, de modo que temos $M = 25$ elementos combustíveis, cada um com $N = 18$ varetas combustíveis com uma altura ativa de 60 cm. Cada elemento possui 5 SPDs posicionados nas cotas 6, 18, 30, 42 e 54 cm e um termopar no topo. Os SPDs (tanto os de ródio como os de platina) possuem emissor de 1 mm de diâmetro e 5 cm de comprimento.

A distribuição dos detectores foi definida seguindo uma simetria adequada, de modo que para cada elemento instrumentado com detectores de platina, exista pelo menos um simétrico instrumentado com detectores de ródio. Como o elemento combustível central não possui posições simétricas, ele foi considerado como sendo instrumentado com detectores de platina e calibrado a partir dos dados dos elementos vizinhos. Para os nossos cálculos foi assumido que cada elemento combustível é instrumentado com um feixe de detectores de um só tipo.

Os detectores de ródio fornecem sinais que são convertidos em densidade de potência, num processo parametrizado em função da queima do núcleo e da queima dos emissores dos detectores. Os resultados da densidade de potência local são extrapolados com o auxílio das medidas da temperatura do refrigerante no topo do elemento combustível

e da potência total obtida pelo balanço térmico, de forma a permitir a obtenção da distribuição tridimensional da potência em todo o núcleo do reator.

O resultado do mapeamento de potência com detectores de ródio é utilizado para a calibração dos detectores de platina que serão utilizados para a monitoração "on line" da densidade de potência.

Um diagrama em blocos simplificado do sistema é apresentado na figura 4.1.

Como já mencionado no capítulo 1, o mapeamento de fluxo e de potência tem como objetivo a validação do projeto e o acompanhamento do desempenho do núcleo. O valor da fluência nas posições dos detectores pode ser utilizado para acompanhar o "burn-up" do combustível nas posições correspondentes. A monitoração "on-line" permite identificar de imediato situações que podem levar a planta a uma condição insegura.

4.1. Mapeamento do fluxo

4.1.1. Cálculo do fluxo

A corrente total (I_{total}) gerada por um detector do tipo SPD é a soma das contribuições de vários tipos de reações:

$$I_{total} = I_{th} + I_{ep} + I_{\gamma} \quad , \quad (1)$$

onde I_{th} , I_{ep} e I_{γ} representam a parcela da corrente devido a nêutrons térmicos, epitérmicos e à radiação gama, respectivamente.

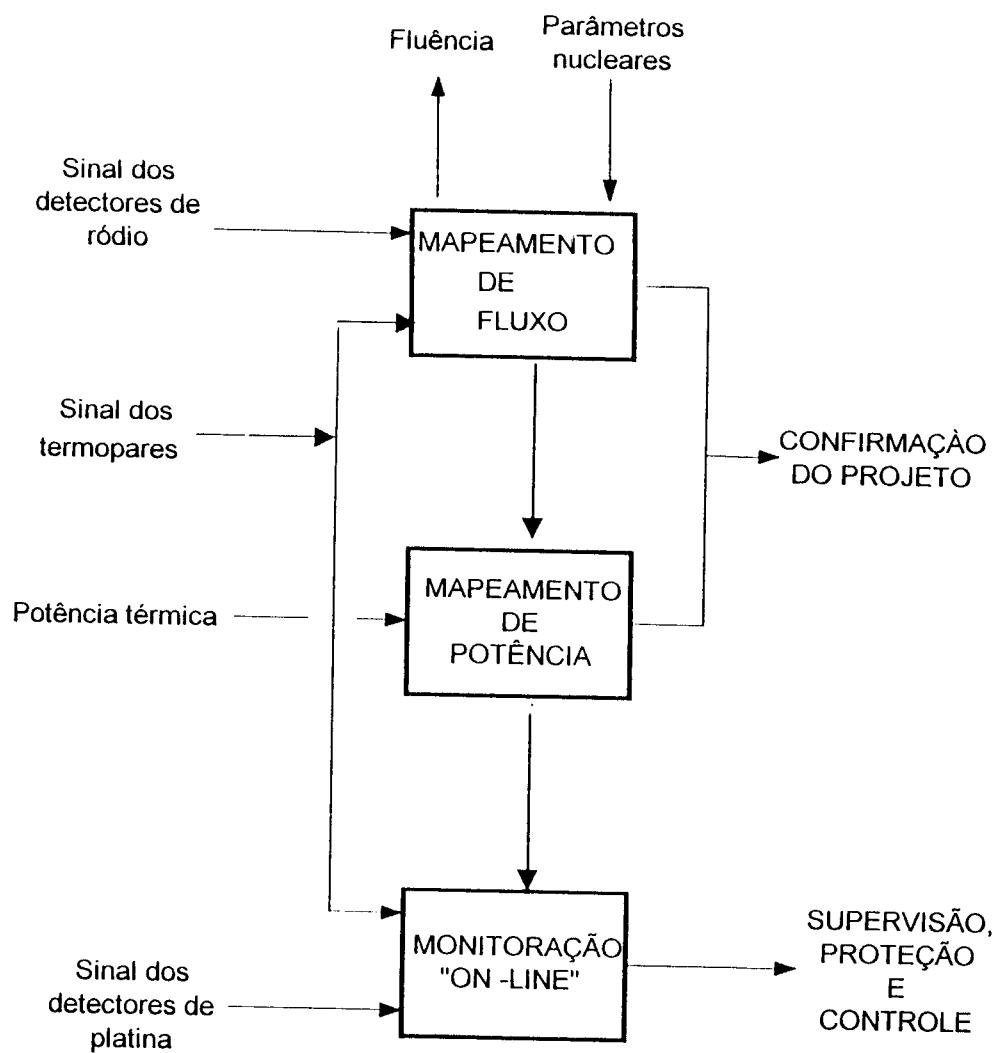


Figura 4.1 - Diagrama em blocos mostrando a dinâmica de utilização dos sinais dos sensores e os objetivos dos cálculos

Uma outra forma de expressar o valor de I_{total} é:

$$I_{total} = (S_{th} + w_{cp} \cdot S_{cp} + w_{\gamma} \cdot S_{\gamma}) \cdot \Phi_{th} \quad , \quad (2)$$

onde:

- S_{th} , S_{cp} e S_{γ} representam a sensibilidade do detector a nêutrons térmicos, epitérmicos e a radiação gama, respectivamente
- w_{cp} e w_{γ} representam as contribuições do fluxo epitérmico e de gamas no sinal do detector, respectivamente, com relação ao sinal devido ao fluxo térmico
- Φ_{th} representa o fluxo térmico na posição do detector

Em geral as sensibilidades podem ser determinadas experimentalmente ou por cálculos /6/, mas as contribuições do fluxo epitérmico (w_{cp}) e de gamas (w_{γ}) no sinal do detector são estimadas por cálculos neutrônicos. Neste trabalho, foram assumidos valores típicos da literatura. A partir dos dados da referência /31/, inferimos que:

$I_{th} = 0.9 * I_{total}$ para o detector de ródio, ou seja,

$$\Phi_{th} = \frac{0.9 \cdot I_{total}}{S_{th}} \quad . \quad (3)$$

4.1.2. Correção da sensibilidade dos detectores de ródio

Tendo em vista que a maior parte do sinal do detector de ródio é devido à reação (n, beta), isto significa que há um grande consumo do ródio, portanto o valor da sensibilidade do detector de ródio deve ser periodicamente atualizado devido à queima do emissor. As referências /2/, /32/ e /33/ apresentam várias expressões para a correção do sinal do detector devido ao seu 'burn up', entre as quais destacamos a expressão /32/:

$$\frac{S(t)}{S_0} = \frac{Q(t)}{50.9 \cdot \frac{m}{0.1262}}, \quad (4)$$

onde:

- $S(t)$ é a sensibilidade do detector no instante do mapeamento em $A/(n/cm^2s)$
- S_0 é a sensibilidade inicial do detector em $A/(n/cm^2s)$
- $Q(t)$ é a corrente integrada durante o período de irradiação do detector em Coulomb
- m é massa inicial do detector de ródio em gramas

Na prática a correção da sensibilidade dos detectores é feita a partir de resultados de dados experimentais obtidos em condições semelhantes. Neste trabalho foi utilizada a taxa de queima da tabela 2.2, corrigida pela fluência que também pode permitir uma verificação dos cálculos de “burn-up” do combustível.

A sensibilidade dos detectores de platina não é considerada aqui, pois a calibração do seu sinal é feita “on line” em função da potência determinada pelos detectores de ródio, mas o seu conhecimento pode ser usado como um recurso para a validação dos sinais.

4.1.3. Método de interpolação

Considerando que cada elemento combustível é instrumentado com K detectores SPDs, localizados nas cotas z_k , a distribuição axial de fluxo na altura ativa H do núcleo pode ser ajustada por uma curva contínua $\Phi(z)$ no intervalo $[0, H]$ obtida pelo método “cubic spline” de interpolação /34/, /35/, /36/.

A função ajustada deve obedecer às seguintes condições de contorno.

Nas cotas z_k $k=1,2,...,K$,

$\Phi(z_k) = \Phi_k$, onde Φ_k é o fluxo no detector da cota z_k ,

$\Phi(z)$ é contínua até a sua derivada de segunda ordem, ou seja:

$$\Phi_{k+1}(z_k) = \Phi_k(z_k) \quad (5)$$

$$\Phi'_{k+1}(z_k) = \Phi'_k(z_k) \quad (6)$$

$$\Phi''_{k+1}(z_k) = \Phi''_k(z_k) \quad (7)$$

Sendo $\Phi(z)$ uma solução da equação de difusão,

$$\Phi(-\lambda_c) = \Phi(H + \lambda_c) = 0 \quad (8)$$

onde λ_c é a distância extrapolada [37].

Para cada um dos intervalos $[z_k, z_{k+1}]$, a função $\Phi(z)$ será um polinômio do tipo:

$$\Phi_k(z) = c_{1,k} \cdot (z_{k+1} - z)^3 + c_{2,k} \cdot (z - z_k)^3 + c_{3,k} \cdot (z_{k+1} - z) + c_{4,k} \cdot (z - z_k), \quad (9)$$

onde a primeira derivada é dada por:

$$\Phi'_k(z) = -3 \cdot c_{1,k} \cdot (z_{k+1} - z)^2 + 3 \cdot c_{2,k} \cdot (z - z_k)^2 - c_{3,k} + c_{4,k}, \quad (10)$$

e a segunda derivada é dada por:

$$\Phi''_k(z) = 6 \cdot c_{1,k} \cdot (z_{k+1} - z) + 6 \cdot c_{2,k} \cdot (z - z_k). \quad (11)$$

Para obtermos as expressões para c_{1k} e c_{2k} , aplicamos a equação de $\Phi''(z)$ nos pontos z_k e z_{k+1} , como segue:

$$\Phi''(z_k) = 6.c_{1,k} \cdot (z_{k+1} - z_k) + 6.c_{2,k} \cdot (z_k - z_k) \quad (12)$$

e

$$\Phi''(z_{k+1}) = 6.c_{1,k} \cdot (z_{k+1} - z_{k+1}) + 6.c_{2,k} \cdot (z_{k+1} - z_k). \quad (13)$$

Chamando $z_{k+1} - z_k = d$, obtemos:

$$c_{1,k} = \frac{\Phi''(z_k)}{6.d} \quad (14)$$

e

$$c_{2,k} = \frac{\Phi''(z_{k+1})}{6.d} \quad (15)$$

Aplicando a expressão $\Phi(z)$ nos pontos z_k e z_{k+1} e introduzindo as expressões de c_{1k} e c_{2k} ,

$$\Phi(z_k) = c_{1,k} \cdot (z_{k+1} - z_k)^3 + c_{2,k} \cdot (z_k - z_k)^3 + c_{3,k} \cdot (z_{k+1} - z_k) + c_{4,k} \cdot (z_k - z_k) \quad (16)$$

e

$$\Phi(z_{k+1}) = c_{1,k} \cdot (z_{k+1} - z_{k+1})^3 + c_{2,k} \cdot (z_{k+1} - z_k)^3 + c_{3,k} \cdot (z_{k+1} - z_{k+1}) + c_{4,k} \cdot (z_{k+1} - z_k), \quad (17)$$

obtemos os valores de:

$$c_{3,k} = \frac{\Phi(z_k)}{d} - \frac{\Phi''(z_k).d}{6} \quad (18)$$

$$c_{4,k} = \frac{\Phi(z_{k+1})}{d} - \frac{\Phi''(z_{k+1}).d}{6}. \quad (19)$$

O problema, agora, se resume em determinar as segundas derivadas $\Phi''(z)$ que são estimadas da seguinte forma:

- para $k=1$ a $n-1$:

$$e(k) = \frac{\Phi(z_{k+1}) - \Phi(z_k)}{d} \quad (20)$$

- para $k=2$ a $n-1$:

$$b(k) = \frac{e(k) - e(k-1)}{d} \quad (21)$$

- para $k = 2$ e $k = n-1$, definimos

$$\Phi'(z_2) = b(2) \quad (22)$$

$$\Phi''(z_{n-1}) = b(n-1) \quad (23)$$

- para os pontos intermediários $k=2$ a $n-2$, temos:

$$\Phi''(z_k) = -\frac{1}{4}\Phi''(z_{k-1}) + \frac{6}{4}b(k) - \frac{1}{4}\Phi''(z_{k+1}) \quad (24)$$

- para as extremidades $k = 1$ e $k = n$

$$\Phi''(z_n) = 2\Phi''(z_{n-1}) - \Phi''(z_{n-2}) \quad (25)$$

e

$$\Phi''(z_1) = 2\Phi''(z_2) - \Phi''(z_3). \quad (26)$$

Isto nos permite obter os coeficientes c_{1k} , c_{2k} , c_{3k} e c_{4k} , e conseqüentemente determinar $\Phi(z)$ para qualquer z pertencente ao intervalo da cota 0(zero) até a cota H (altura ativa do núcleo).

Uma vez obtidas as funções para o fluxo $\Phi_j(z)$, a sua discretização em nós, juntamente com as seções de choques de fissão parametrizadas (a serem fornecidas por programas externos), permitem o cálculo da potência média em cada nó, como será visto a seguir.

4.1.4. Cálculo de potência

A rigor, a potência gerada no nó jk (posição k do elemento combustível j) é dada por /34/:

$$P_{jk} = G \int_V \int_E \Sigma_f(r,E) \Phi(r,E) dE dV, \quad (27)$$

porém, para efeitos práticos esta expressão pode ser aproximada por /28/:

$$P_{jk} = G \cdot \Sigma_{f,jk} \cdot \bar{\Phi}_{jk} \cdot V \cdot R_{jk}, \quad (28)$$

onde

- G é a energia recuperável por fissão
- $(\Sigma_f)_{jk}$ é a seção de choque macroscópica média de fissão no volume do nó para a condição de calibração
- $\bar{\Phi}_{jk}$ é o fluxo térmico médio no nó jk

- R_{jk} é o fator de fissão rápida no nó jk
- V é o volume do nó (considerado o mesmo para todos os nós)

Assumindo que o fluxo medido Φ_{jk} , seja uma medida representativa do fluxo térmico médio real do volume $\bar{\Phi}_{jk}$, podemos reescrever P_{jk} como:

$$P_{jk} = G \cdot \Sigma_{ijk} \cdot \Phi_{jk} \cdot R_{jk} \cdot F \cdot V, \quad (29)$$

onde F é um fator de correção devido à aproximação considerada.

Lembrando que Σ_{ijk} e R_{jk} são calculados por códigos neutrônicos externos ao programa (atualizados para as condições de referência no instante da calibração), os fatores G , F e V podem ser englobados em um único fator c que será normalizado com o balanço térmico. Para a implementação do programa, os fatores Σ_{ijk} e R_{jk} foram resumidos na variável parâmetro nuclear representado por Σ_{jk} com dimensão de seção de choque macroscópica e utilizada como dado de entrada do programa.

Considerando os elementos combustíveis instrumentados com detectores de rádio, a potência térmica gerada no nó jk é dada por:

$$(P_{Rh})_{jk} = \Sigma_{jk} \cdot \Phi_{jk} \cdot c \quad (30)$$

e a potência total gerada no elemento combustível EC_j é dada por:

$$(P_{Rh})_j = c \cdot \sum_{k=1}^K (\Phi_{jk} \cdot \Sigma_{jk}) \quad (31)$$

Para a determinação da potência gerada nos elementos instrumentados com detectores de platina, definimos um fator de simetria ws , baseado na potência térmica dissipada nos elementos simétricos, cuja fórmula de cálculo será explicada a seguir.

Considerando a potência térmica P_{thj} dissipada em cada elemento combustível, ou seja a potência removida pelo refrigerante que passa pelo elemento combustível j , a mesma pode ser calculada de acordo com a seguinte aproximação /39/:

$$P_{thj} = m \cdot c_p \cdot (Tf_j - Ti), \quad (32)$$

onde

- m é a vazão mássica de água no elemento j , considerado constante para elementos simétricos

- c_p é o calor específico da água, constante na faixa de temperatura de interesse

- Tf_j representa a temperatura do refrigerante na saída do elemento combustível j , medida pelo termopar do tubo de instrumentação

- Ti representa a temperatura do refrigerante na entrada do elemento combustível medida pelo termopar da entrada do núcleo, considerada a mesma para todos os elementos combustíveis.

Considerando que elementos combustíveis simétricos apresentam perfis de fluxo semelhante, o fator de simetria ws é definido como sendo a razão entre a potência térmica dos dois elementos simétricos P_s e $P_{s'}$, ou seja:

$$ws_{ss'} = \frac{Tf_s - Ti}{Tf_{s'} - Ti}, \quad (33)$$

onde

s se refere ao elemento instrumentado com platina e

s' se refere ao elemento simétrico instrumentado com ródio.

Desta forma, para a função de mapeamento, a potência térmica gerada num elemento instrumentado com detectores de platina pode ser calculada pela média ponderada das posições simétricas instrumentadas com ródio, ou seja:

$$(P_{Pt})_s = \frac{\sum_{s'=1}^n WS_{ss'} \cdot (P_{Rh})_{s'}}{n}, \quad (34)$$

onde n é o número de elementos simétricos ao E.C. instrumentados com ródio.

Do mesmo modo a potência térmica gerada nos nós jk dos elementos instrumentados com detectores de platina pode ser estimada como sendo:

$$(P_{Pt})_{sk} = \frac{\sum_{s'=1}^n WS_{ss'} \cdot (P_{Rh})_{s'k}}{n} \quad (35)$$

Substituindo a expressão da equação 31 na equação 34, obtemos:

$$(P_{Pt})_s = c \cdot \frac{\sum_{s'=1}^n WS_{ss'} \cdot \left[\sum_{k=1}^K (\Phi_{s'k} \cdot \Sigma_{s'k}) \right]}{n} \quad (36)$$

Sendo $(P_{Pt})_s$ a potência gerada no elemento s instrumentado com detectores de platina, e $(P_{Rh})_{s'}$ a potência gerada no elemento s' instrumentado com detectores de ródio, a expressão para a potência total gerada no núcleo do reator é dada por:

$$PotênciaTotal = \sum_{s'=1}^{M1} (P_{Rh})_{s'} + \sum_{s=1}^{M2} (P_{Pt})_s, \quad (37)$$

ou seja:

$$PotênciaTotal = c \cdot \left\{ \sum_{s'=1}^{M1} \left(\sum_{k=1}^K (\Phi_{s'k} \cdot \Sigma_{s'k}) \right) + \sum_{s=1}^{M2} \frac{\sum_{s'=1}^n WS_{ss'} \cdot \left[\sum_{k=1}^K (\Phi_{s'k} \cdot \Sigma_{s'k}) \right]}{n} \right\} \quad (38)$$

onde M1 é o número de elementos instrumentados com ródio e
M2 é o número de elementos instrumentados com platina

4.1.5. Calibração

A calibração do sistema é realizada em duas etapas. A primeira consiste na normalização do fator c pelo balanço térmico e a segunda etapa, na determinação do fator que relaciona o sinal do detector de platina com a densidade de potência.

Como vimos na seção anterior, os valores de potência calculados segundo as equações 31 e 36, são funções de uma constante c , que é determinada quando igualamos a soma da potência gerada em cada elemento combustível, com a potência térmica total (Q) gerada no núcleo, isto é:

$$c = \frac{Q}{\left\{ \sum_{s'=1}^{M1} \left(\sum_{k=1}^K (\Phi_{s'k} \cdot \Sigma_{s'k}) \right) + \sum_{s=1}^{M2} WS_{ss'} \cdot \left[\sum_{k=1}^K (\Phi_{s'k} \cdot \Sigma_{s'k}) \right] \right\}} \quad (39)$$

A potência térmica total é obtida através do balanço térmico da planta que neste programa é calculada pela expressão simplificada:

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_f - T_i), \quad (40)$$

onde :

- m é a vazão mássica do refrigerante no núcleo
- c_p é o calor específico da água, constante na faixa de temperatura de interesse
- T_f representa a temperatura do refrigerante na saída do núcleo e
- T_i representa a temperatura do refrigerante na entrada do núcleo.

Uma vez determinado o valor de $\underline{c}$, agora determina-se o valor real de potência em cada elemento conforme as equações (31) e (34), e a densidade linear média de cada elemento j e de cada nó jk , dadas respectivamente por:

$$q_j = \frac{P_j}{N \cdot H} \quad (41)$$

e

$$q_{jk} = \frac{P_{jk}}{N \cdot \Delta H} \quad (42)$$

onde N é o número de varetas do elemento combustível e

$\Delta H = H/K$ e H é a altura do elemento combustível.

Finalmente, conhecendo o valor de q_{jk} para cada nó definido no reator, determina-se o fator de calibração $f_{c,jk}$, que relaciona a corrente obtida em cada detector de platina $(I_{Pt})_{jk}$, com a densidade de potência linear q_{jk} estimada para a posição ocupada pelo detector:

$$(f_c)_{jk} = \frac{q_{jk}}{(I_{Pt})_{jk}} \quad (43)$$

4.2. Monitoração "on line"

Uma vez obtido o fator de calibração, podemos agora fazer uma monitoração "on line" dos diversos parâmetros de interesse, que são:

- densidade de potência nas posições contendo o detector de platina, que é dada por:

$$(q_{PI})_{jk} = (I_c)_{jk} \cdot (I_{PI})_{jk} \quad (44)$$

- densidade de potência nos nós **jk** dos elementos instrumentados com ródio, que é dada por:

$$(q_{Rh})_{jk} = \frac{\sum_{j'=1}^n w_{S_{j'}} \cdot (q_{PI})_{j'k}}{n} \quad (45)$$

- densidade de potência média do reator, dada por:

$$q = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K q_{jk}}{M \cdot K} \quad (46)$$

- densidade relativa em cada nó **jk**, dada por:

$$qr_{jk} = \frac{q_{jk}}{q} \quad (47)$$

- axial off set , dado por

$$AO = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{H/2} q_{jk} - \sum_{j=1}^M \sum_{k=H/2}^H q_{jk}}{M \cdot H \cdot q} \quad (48)$$

- e o fator de pico dado pelo valor máximo de qr_{jk}

4.3. Validação do sinal

Tanto os sensores internos ao núcleo como a eletrônica associada deste sistema estão sujeitos a falhas, de modo que todas as leituras realizadas pelo programa

devem ser analisadas, a fim de se verificar se a informação fornecida pelo sistema é confiável, ou se houve alguma falha.

O meio tradicional para assegurar a confiabilidade da informação é a aplicação do princípio de redundância e diversidade funcional, que no caso de um sistema com SPDs consiste em:

- medidas com SPDs em vários pontos simétricos
- medidas das temperaturas na saída dos elementos combustíveis
- cálculo da distribuição de potência por códigos neutrônicos

Além das redundâncias previstas no projeto, métodos para distinguir entre falha do detector e mudanças reais na condição do núcleo, bem como a substituição de eventuais sinais inválidos dos sensores dos sistemas "in-core", geralmente são desenvolvidos baseado na experiência obtida pela análise de dados.

Nesta versão do programa, apenas ressaltamos a necessidade desta correção, apresentando um algoritmo simplificado.

Para se verificar se a corrente (I) proveniente do detector está dentro de uma faixa aceitável, define-se dois valores limites, de forma que o sinal só é válido se:

$$I_{\text{mínimo}} < I < I_{\text{máximo}}. \quad (49)$$

Fisicamente, $I_{\text{mínimo}}$ significa ausência de sinal e $I_{\text{máximo}}$ a perda de isolamento do detector.

Para efeito de demonstração, verificamos se a corrente está compatível com os valores dos detectores vizinhos, por meio da relação:

$$0.1 * I_{\text{média}} < I < 5 * I_{\text{média}},$$

onde $I_{média}$ corresponde à média aritmética da corrente dos detectores válidos deste elemento.

Em caso de falha, para efeito dos demais cálculos computacionais, o sinal do detector falho é substituído pelo valor médio da corrente dos outros detectores existentes no elemento.

5. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

O programa para monitoração "on line" da distribuição de potência do núcleo foi desenvolvido utilizando a ferramenta Visual Basic, para a plataforma Windows.

O Visual Basic /40/, /41/, /42/ permite criar programas que correspondem a ações do usuário e a eventos do sistema. Esse tipo de programação é conhecida como programação orientada a eventos. No caso dos programas do Windows, cada interação com o usuário, por exemplo, o acionamento do mouse ou de uma tecla, denomina-se um evento. Por este motivo, os programas capazes de responder a esses eventos são chamados programas orientados a eventos. Esses programas fornecem ao usuário um "feedback" quase imediato e oferecem um excelente controle sobre a atividade do programa.

Programas desenvolvidos com o Visual Basic possuem duas partes básicas: a interface com o usuário e o processamento das informações. A interface com o usuário é a parte do programa que os usuários vêem, e com a qual interagem. Esta interface com o usuário é constituída pelas telas projetadas com os recursos de formulários e os controles do Visual Basic. O processamento das informações é manipulado pelo código escrito com a finalidade de responder a eventos no programa.

O Programa de Supervisão In Core, desenvolvido com a ferramenta de software Visual Basic. 5.0, contém um arquivo aplicativo principal, vários arquivos do tipo formulário que correspondem às diversas telas do programa e um arquivo do tipo módulo, onde estão escritas as subrotinas utilizadas em cada tela. Além do módulo de subrotinas, cada formulário contém as subrotinas associadas aos comandos do usuário, para botões, comandos via teclado, comandos do mouse etc.

Neste capítulo são apresentadas a descrição das dependências do software, as funções de cada tela disponível no programa, o diagrama de acesso a estas telas, e as principais subrotinas utilizadas tanto no módulo de subrotinas, como nos formulários.

Na tabela 5.1 estão listados os arquivos e as telas que fazem parte do programa desenvolvido. Os arquivos do tipo formulário apresentam extensão ".frm", o arquivo "Psico.bas" contém os módulos do programa e o arquivo "Psico.app" é o aplicativo que chama todos os outros arquivos. Todos estes arquivos totalizam 360 kbytes.

5.1. Descrição das interfaces do software

Neste item são apresentadas as relações entre o Programa de Supervisão In Core, a Unidade de Aquisição de Dados e o usuário através do Diagrama de Fluxo de Dados (DFD), representado na figura 5.1.

Nesta versão do programa, não está implementado o módulo Comunicação com a UAD, que tem como função receber os dados oriundos da UAD e decodificar os pacotes. O programa de supervisão implementado lê os valores da corrente dos SPDs, da temperatura da saída do núcleo e de alguns processos, de arquivos contendo dados simulados.

As ações do operador sobre o programa são os comandos como iniciar e concluir aquisição, calibração, solicitação de telas e relatórios. O operador também pode alterar os valores de alguns parâmetros e dos tempos de aquisição e gravação.

Os dados resultantes do processo de monitoração "on-line" são automaticamente gravados em disco rígido em ciclos selecionados pelo operador, e os parâmetros são gravados sempre que sofrem alterações. A tabela 5.2 apresenta a relação dos arquivos de dados utilizados neste programa, juntamente com a frequência de sua atualização.

Tabela 5.1 - Arquivos do Programa de Supervisão In-Core

Nome do Arquivo	Tela Associada
CalibTermica.frm	Calibração Térmica
ConfigFalha.frm	Seleção de Detectores (para apresentação da corrente dos detectores)
Configuracao.frm	Configuração do Núcleo
Densidade.frm	Densidade de Potência
Falhadet.frm	Corrente dos Detectores
Fluencia.frm	Fluência
Fluxo.frm	Distribuição de Fluxo
Inicial.frm	Programa de Supervisão "in-core"
Perfil.frm	Perfil Axial
Perfil3D.frm	Perfil 3D
Potencia.frm	Distribuição de Potência
RelatDensidade.frm	Relatório Distribuição da Densidade Relativa Relatório Distribuição da Densidade de Potência Relatório Mapeamento de Fluxo Relatório Densidade Média Relatório Fluência Relatório Dados de Calibração
SelecPerfil.frm	Seleção de Detectores (para apresentação do perfil axial)
Sensibilidade.frm	Sensibilidade dos Detectores
Sigmao.frm	Seção de Choque Macroscópica
Status.frm	Status da Intercalibração (entre os Detectores)
Temperatura.frm	Temperatura
tempo.frm	Seleção de Tempos
Tendencia.frm	Tendência
Psico1.bas	-----
Psico.vbp	-----

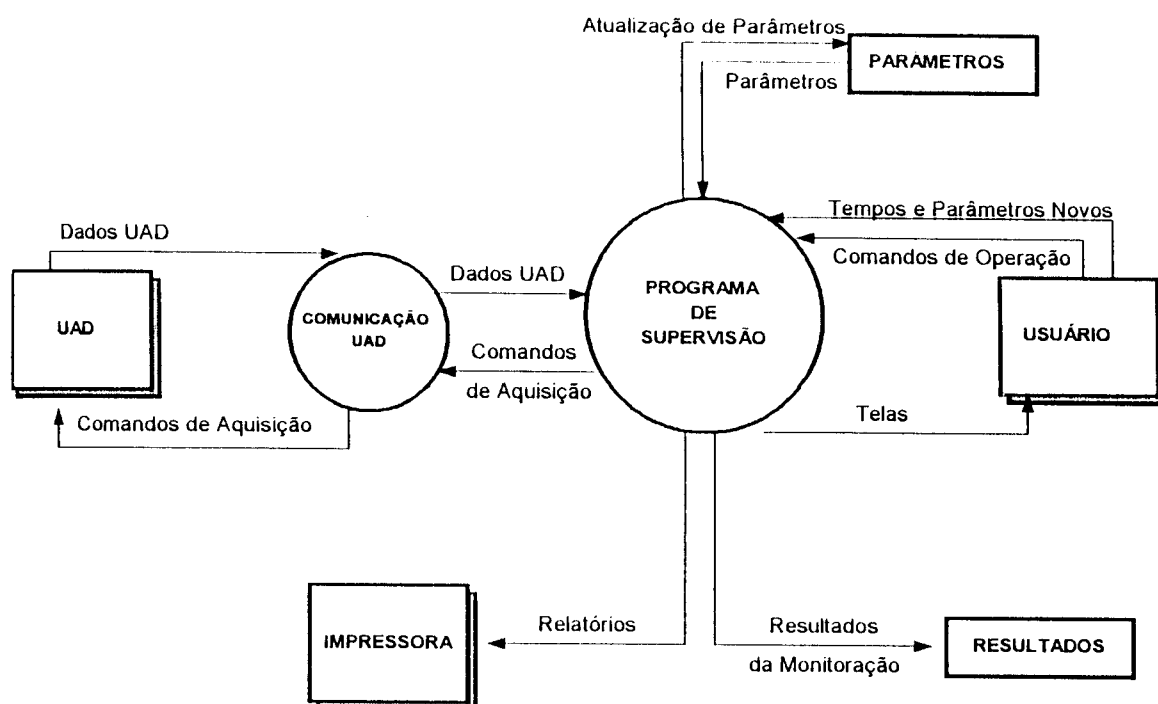


Figura 5.1 - Diagrama de fluxo de dados

Tabela 5.2 - Arquivos de dados utilizados pelo programa

Nome do Arquivo	Conteúdo	Frequência de Atualização
DeltaT.txt	Temperatura dos 25 termopares	frequência de aquisição
Fcalib.txt	Fatores e data da última calibração	comando do operador
Fluencia.txt	Fluência na posição de cada detector	frequência "default" = 2horas
Historico.txt	Densidade de potência em cada nó	frequência de gravação
I_det1.txt	Corrente de cada detector (simula 1º conjunto de dados)	frequência de aquisição
I_det2.txt	Corrente de cada detector (simula dados com detector falho)	frequência de aquisição
Pot_th.txt	Vazão e temperatura do refrigerante na entrada e na saída do núcleo	frequência de aquisição
Sensib_Rh.txt	Sensibilidade dos detectores de ródio	comando do usuário
Sigma_Pt.txt	Seção de choque dos elementos instrumentados com platina	comando do usuário
Sigma_Rh.txt	Seção de choque dos elementos instrumentados com ródio	comando do usuário

Os arquivos contendo os parâmetros como a seção de choque e a sensibilidade dos detectores podem ser atualizados por outros programas, tais como códigos neutrônicos, que podem ser rodados no próprio PC da Unidade de Supervisão, sem comprometer a aquisição "on line" dos dados, desde que seja rodado no ambiente Windows 95.

A impressão de relatórios ou telas é executada sempre que solicitada pelo operador.

5.2. Descrição das telas e menus

O Programa de Supervisão In Core possui uma tela de abertura, mostrada na figura 5.2. Acionando o botão Iniciar, o sistema carrega os valores resultantes da operação anterior que deverão estar armazenados nos arquivos indicados na tabela 5.2.

Para a primeira operação do sistema, o programa assume dados "default" armazenados. Neste caso, logo após iniciar a aquisição, o usuário deve introduzir os valores reais do sistema, chamando as telas de edição de parâmetros e de calibração, descritas nas seções 5.2.2.1 e 5.2.4.

O sistema é iniciado com uma tela principal, a partir da qual são acionados os comandos de iniciar e interromper aquisição e chamadas todas as outras telas do sistema. A tela principal, mostrada na figura 5.3, é denominada tela Densidade de Potência, pois além de conter o menu para estes comandos, apresenta a distribuição de densidade de potência medida em cada elemento do núcleo. Sempre que o usuário acionar o botão Sair de uma tela, o programa volta para a tela de Densidade de Potência.

Conforme pode ser visto na figura 5.3, o menu da tela Densidade de Potência possui os campos denominados: Arquivo, Editar, Exibir e Calibração. A escolha das opções é feita através de menus que podem ser selecionados pelo mouse ou teclado. As informações mostradas na tela Densidade de Potência será descrita na seção 5.2.3.1.2.

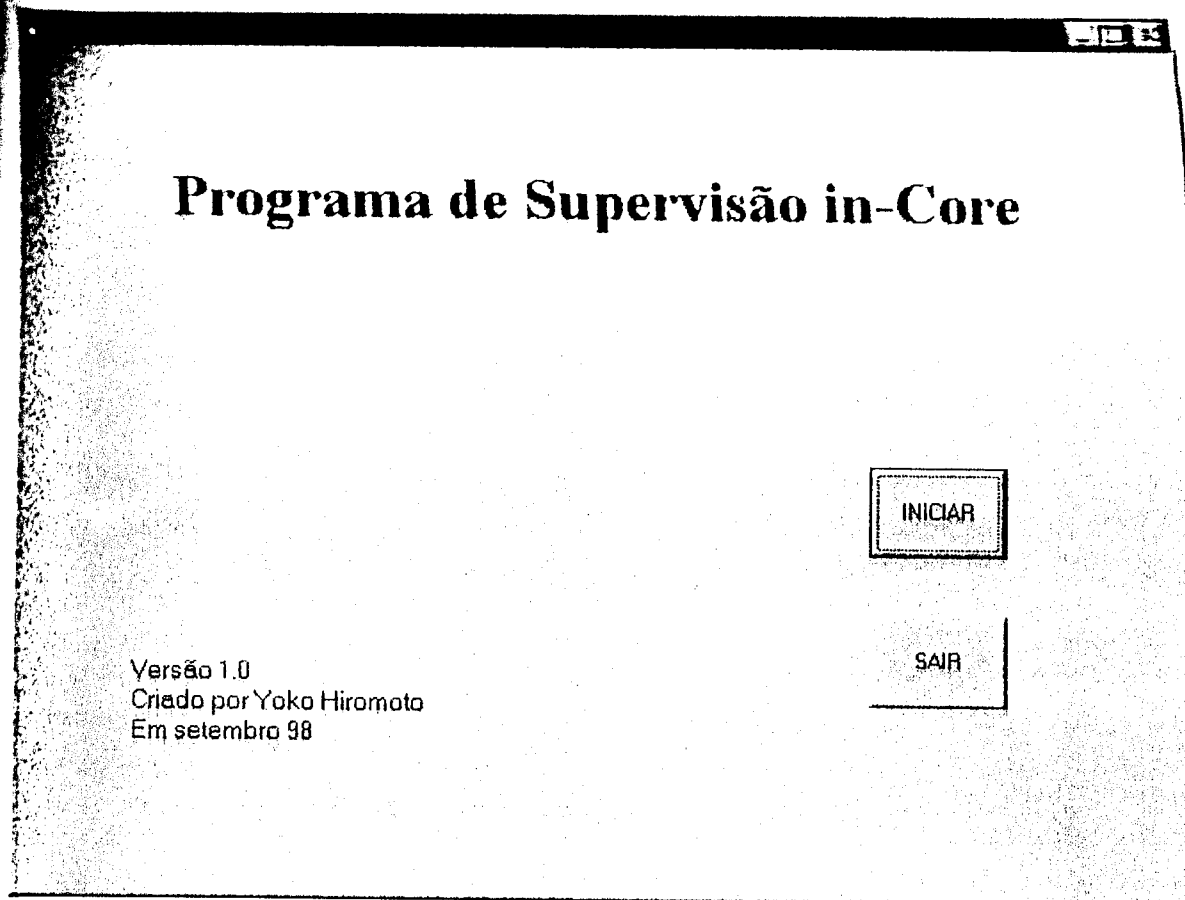


Figura 5.2 - Tela inicial do Programa de Supervisão In-Core

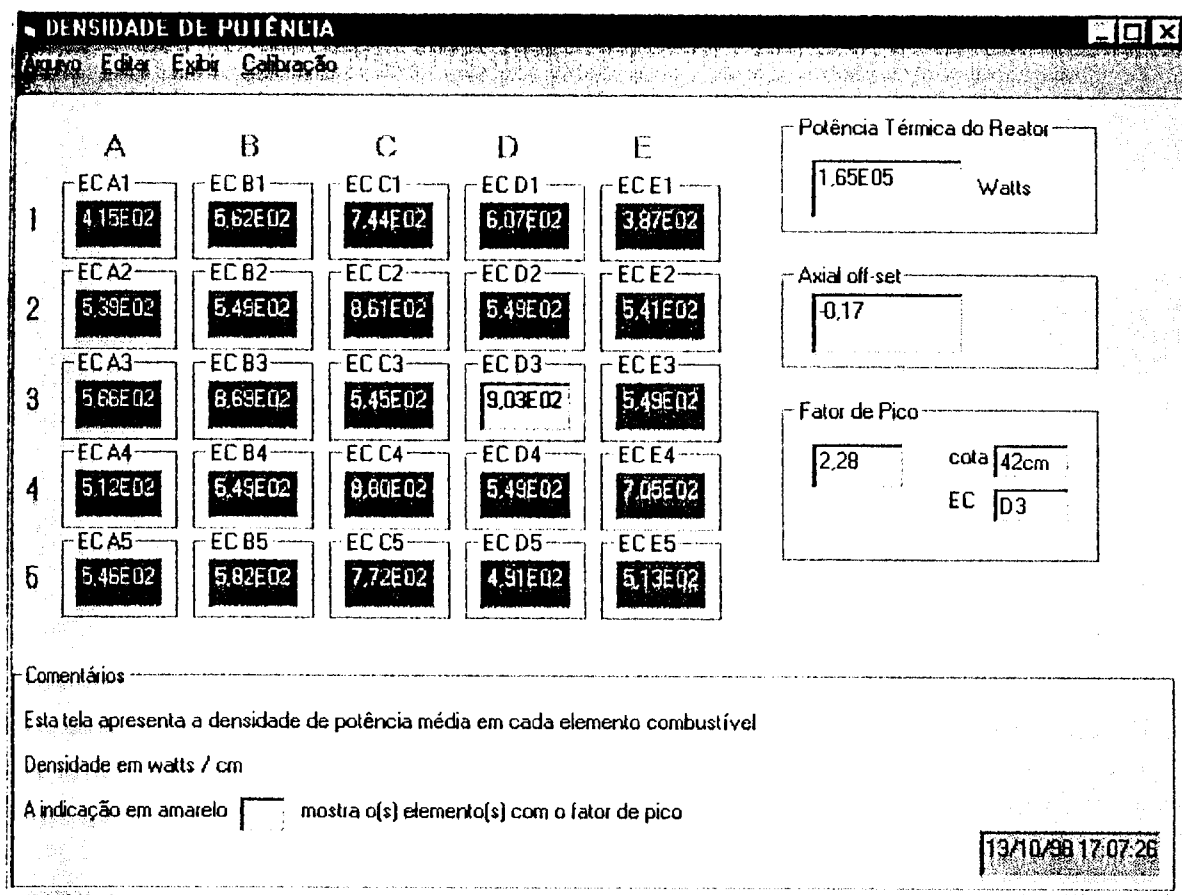


Figura 5.3 - Tela Densidade de Potência

5.2.1. Menu Arquivo

O menu Arquivo mostrada na figura 5.4 contém os comandos para: Iniciar Aquisição, Parar Aquisição, Imprimir e Sair.

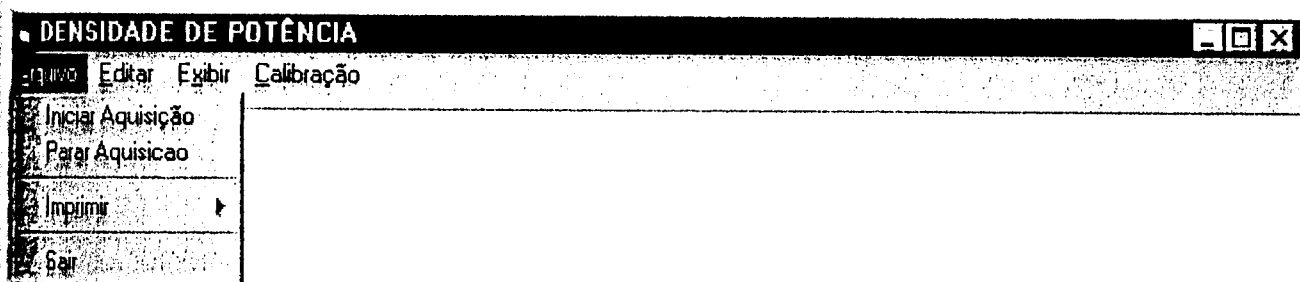


Figura 5.4 - Apresentação do menu Arquivo

5.2.1.1. Iniciar Aquisição

Teoricamente, o menu Iniciar Aquisição estabelece a comunicação com a UAD e inicia a aquisição dos dados dos detectores do tipo SPD, correspondente à variável I total da Equação (1), dos termopares (correlacionados à variável T_f da equação (32)), da temperatura do refrigerante na entrada do núcleo (T_i) utilizada nas equações (32) e (40), da temperatura na saída do núcleo (T_f) e da vazão mássica Q , referentes à equação (40). Nesta versão do programa, estes dados são lidos de arquivos pré armazenados com dados simulados. Esta leitura é feita pela subrotina LeDadosUAD, que também calcula os fatores de simetria entre os elementos instrumentados com platina e ródio.

Como o processo é contínuo, o sistema começa a monitorar os dados, atualizando arquivos de histórico (densidade de potência em cada posição monitorada ao longo do tempo) e verificando alarmes.

Este comando é o responsável pela ativação dos temporizadores de aquisição, gravação, cálculo da fluência e de atualização da tela.

5.2.1.2. Parar Aquisição

Ao se acionar este menu, a aquisição dos dados é interrompida de maneira que, após este comando, todas as informações apresentadas nas telas se referem aos dados da última aquisição.

5.2.1.3. Imprimir

Este menu oferece opções para imprimir os relatórios ou telas.

5.2.1.3.1. Relatório

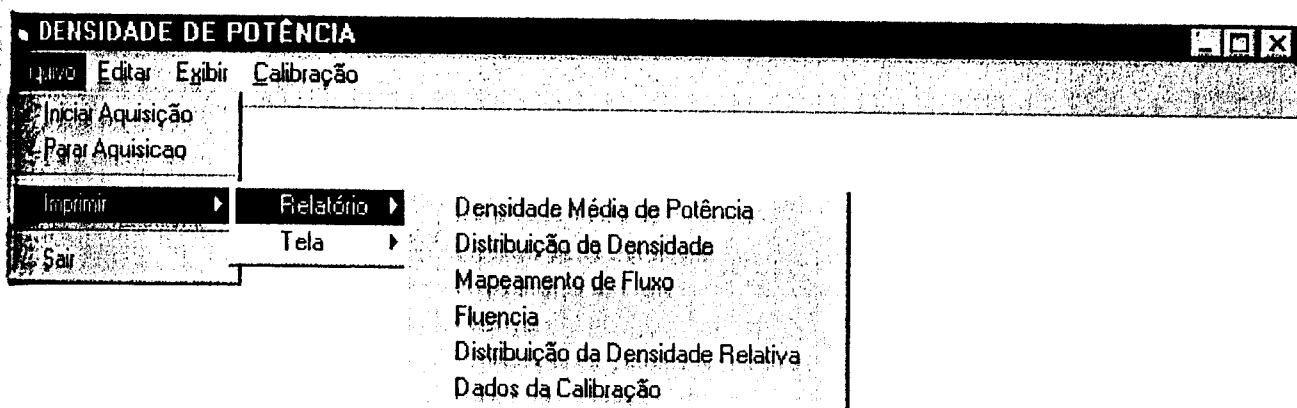


Figura 5.5 - Apresentação do menu Imprimir / Relatório

Antes de permitir a impressão de qualquer um dos relatórios indicados na figura 5.5, o programa mostra uma tela de visualização para cada solicitação, como podemos observar nas figuras 5.6 a 5.11. Os dados do relatório de densidade média e de distribuição de densidade são calculados pelas equações (44) e (45) respectivamente, e a densidade relativa é calculada pela equação (47). O mapeamento é calculado pela função spline a partir dos fluxos

Relatório					
19/08/98 19:30:15		Densidade Média nos Elementos EC A1 a EC E5 (em watts/cm)			
	A	B	C	D	E
1	415,23	562,33	744,15	606,58	387,36
2	538,89	549,19	861,32	549,19	540,75
3	565,89	869,20	544,75	903,05	549,30
4	511,94	549,19	879,71	549,19	705,08
5	545,86	582,14	772,27	490,95	512,67

Visualizar Relatório

Imprimir

Sair

Figura 5.6 - Relatório da densidade média em cada elemento

Relatório - Distribuição da Densidade de Potência						
13/10/98 17:13:00						
DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA (em watts/cm)						
EC	cota 6cm	cota 18cm	cota 30cm	cota 42cm	cota 54cm	média
A1	245	429	564	469	369	415
A2	265	510	766	685	469	539
A3	275	520	792	731	511	566
A4	242	519	724	664	410	512
A5	274	501	681	762	511	546
B1	312	565	767	699	469	562
B2	234	530	798	693	492	549
B3	252	670	1057	1341	1025	869
B4	234	530	798	693	492	549
B5	284	585	827	742	472	582
C1	317	662	1040	944	757	744
C2	349	964	1145	1102	747	861
C3	189	515	693	769	557	545
C4	356	984	1169	1126	763	880
C5	329	687	1080	980	786	772
D1	336	610	828	754	506	607
D2	234	530	798	693	492	549
D3	262	697	1099	1393	1065	903
D4	234	530	798	693	492	549
D5	240	493	698	626	398	491
E1	229	401	526	437	344	387
E2	266	511	769	687	470	541
E3	267	505	769	710	496	549
E4	333	715	998	914	565	705
E5	257	470	640	716	480	513

Fator de Pico: 2,28
Elemento: D3 cota: 42 cm

Visualizar Relatório Imprimir Sair

Figura 5.7 - Relatório da distribuição de densidade de potência em 5 cotas de cada elemento

Mapeamento de Fluxo

19/08/98 19:56:05

MAPEAMENTO DE FLUXO (em neutrons/cm2s)

(cota (em cm) medida a partir da placa matriz inferior do núcleo)

EC	cota 0	cota 6*	cota 12	cota 18*	cota 24	cota 30*	cota 36	cota 42*	cota 48	cota 54*	cota 60	média
A1	3,90E11	7,01E11	9,69E11	1,23E12	1,48E12	1,61E12	1,52E12	1,34E12	1,22E12	1,06E12	7,01E11	1,17E12
A2	4,21E11	7,62E11	1,09E12	1,46E12	1,90E12	2,20E12	2,18E12	1,97E12	1,70E12	1,35E12	8,10E11	1,52E12
A3	3,97E11	7,07E11	9,99E11	1,34E12	1,75E12	2,04E12	2,05E12	1,88E12	1,65E12	1,32E12	7,93E11	1,43E12
A4	3,27E11	7,04E11	1,11E12	1,51E12	1,88E12	2,11E12	2,11E12	1,93E12	1,62E12	1,20E12	6,54E11	1,47E12
A5	2,55E11	4,90E11	7,03E11	8,94E11	1,06E12	1,22E12	1,34E12	1,36E12	1,21E12	9,13E11	4,96E11	9,57E11
B1	4,31E11	7,95E11	1,12E12	1,44E12	1,76E12	1,96E12	1,95E12	1,78E12	1,54E12	1,20E12	6,99E11	1,41E12
B2	2,71E11	5,73E11	9,13E11	1,30E12	1,71E12	1,96E12	1,91E12	1,70E12	1,48E12	1,21E12	7,49E11	1,33E12
B3	1,61E11	4,58E11	8,31E11	1,22E12	1,58E12	1,92E12	2,26E12	2,44E12	2,31E12	1,86E12	1,09E12	1,55E12
B4	2,71E11	5,73E11	9,13E11	1,30E12	1,71E12	1,96E12	1,91E12	1,70E12	1,48E12	1,21E12	7,49E11	1,33E12
B5	4,08E11	8,25E11	1,25E12	1,70E12	2,13E12	2,40E12	2,38E12	2,16E12	1,82E12	1,37E12	7,75E11	1,66E12
C1	3,09E11	5,80E11	8,62E11	1,21E12	1,62E12	1,90E12	1,88E12	1,73E12	1,60E12	1,38E12	9,12E11	1,34E12
C2	1,57E11	6,79E11	1,33E12	1,87E12	2,14E12	2,23E12	2,24E12	2,14E12	1,89E12	1,45E12	8,26E11	1,65E12
C3	1,32E11	4,70E11	8,92E11	1,28E12	1,54E12	1,72E12	1,87E12	1,91E12	1,75E12	1,38E12	7,99E11	1,33E12
C4	1,49E11	6,46E11	1,27E12	1,78E12	2,04E12	2,12E12	2,13E12	2,04E12	1,80E12	1,38E12	7,86E11	1,57E12
C5	4,34E11	8,14E11	1,21E12	1,70E12	2,28E12	2,67E12	2,65E12	2,43E12	2,24E12	1,95E12	1,28E12	1,88E12
D1	5,23E11	9,65E11	1,36E12	1,75E12	2,13E12	2,38E12	2,36E12	2,16E12	1,87E12	1,45E12	8,48E11	1,71E12
D2	2,71E11	5,73E11	9,13E11	1,30E12	1,71E12	1,96E12	1,91E12	1,70E12	1,49E12	1,21E12	7,50E11	1,33E12
D3	1,67E11	4,75E11	8,61E11	1,26E12	1,63E12	1,99E12	2,34E12	2,53E12	2,40E12	1,93E12	1,13E12	1,61E12
D4	2,71E11	5,73E11	9,13E11	1,30E12	1,71E12	1,96E12	1,91E12	1,70E12	1,49E12	1,21E12	7,50E11	1,33E12
D5	3,44E11	6,97E11	1,06E12	1,43E12	1,80E12	2,03E12	2,01E12	1,82E12	1,54E12	1,16E12	6,55E11	1,40E12
E1	3,68E11	6,62E11	9,15E11	1,16E12	1,40E12	1,52E12	1,43E12	1,27E12	1,15E12	9,97E11	6,62E11	1,10E12
E2	4,24E11	7,68E11	1,10E12	1,48E12	1,92E12	2,22E12	2,20E12	1,99E12	1,72E12	1,36E12	8,17E11	1,54E12
E3	3,85E11	6,87E11	9,70E11	1,30E12	1,70E12	1,98E12	1,99E12	1,83E12	1,60E12	1,28E12	7,70E11	1,39E12
E4	4,40E11	9,47E11	1,49E12	2,03E12	2,53E12	2,84E12	2,84E12	2,60E12	2,18E12	1,61E12	8,79E11	1,97E12
E5	2,39E11	4,59E11	6,59E11	8,39E11	9,99E11	1,14E12	1,26E12	1,28E12	1,14E12	8,57E11	4,65E11	8,98E11

Fluxo Médio: 1,43E12

Visualizar Relatório

Imprimir

Sair

* posições instrumentadas

Figura 5.8 - Relatório do mapeamento do fluxo em 11 cotas de cada elemento

Relatório Fluência					
19/08/98 19:56:55					
FLUÊNCIA NA POSIÇÃO DOS DETETORES (em neutron/cm2)					
EC	cota 6cm	cota 18cm	cota 30cm	cota 42cm	cota 54cm
A1	1,90E14	1,84E14	2,78E14	2,01E14	1,78E14
A2	1,81E14	2,80E14	3,30E14	3,44E14	2,19E14
A3	1,74E14	2,01E14	3,55E14	2,82E14	2,42E14
A4	1,06E14	2,74E14	3,16E14	3,46E14	1,79E14
A5	7,35E13	1,64E14	1,94E14	2,04E14	1,67E14
B1	1,49E14	2,16E14	3,08E14	3,00E14	1,79E14
B2	1,34E14	1,95E14	3,54E14	2,55E14	2,28E14
B3	1,18E14	1,83E14	3,31E14	3,66E14	3,10E14
B4	8,59E13	2,16E14	2,93E14	2,97E14	1,81E14
B5	1,24E14	2,75E14	3,60E14	3,66E14	2,06E14
C1	1,47E14	1,81E14	3,39E14	2,59E14	2,42E14
C2	1,02E14	3,30E14	3,34E14	3,64E14	2,18E14
C3	1,20E14	2,25E14	2,58E14	3,37E14	2,07E14
C4	1,16E14	2,68E14	3,54E14	3,06E14	2,62E14
C5	1,22E14	2,76E14	4,01E14	3,78E14	3,24E14
D1	1,45E14	3,12E14	3,56E14	3,58E14	2,18E14
D2	8,60E13	2,41E14	3,25E14	2,55E14	1,93E14
D3	8,88E13	1,89E14	3,36E14	3,79E14	3,42E14
D4	8,60E13	2,16E14	2,94E14	2,83E14	2,13E14
D5	1,05E14	2,64E14	3,04E14	3,03E14	1,74E14
E1	1,75E14	1,74E14	2,58E14	1,90E14	1,88E14
E2	1,64E14	2,22E14	3,64E14	2,98E14	2,44E14
E3	1,34E14	2,27E14	2,97E14	2,99E14	1,92E14
E4	1,42E14	3,38E14	4,25E14	4,16E14	2,41E14
E5	1,17E14	1,26E14	2,04E14	1,92E14	1,78E14

Visualizar Relatório

Imprimir

Sair

Figura 5.9 - Relatório da fluência em 5 cotas de cada elemento

Relatorio Distribuição da Densidade Relativa						
13/10/98 17:15:27						
DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE RELATIVA						
EC	cota 6cm	cota 18cm	cota 30cm	cota 42cm	cota 54cm	média
A1	0,40	0,70	0,92	0,77	0,60	0,68
A2	0,43	0,83	1,25	1,12	0,77	0,88
A3	0,45	0,85	1,30	1,20	0,84	0,93
A4	0,40	0,85	1,18	1,09	0,67	0,84
A5	0,45	0,82	1,11	1,25	0,84	0,89
B1	0,51	0,92	1,26	1,14	0,77	0,92
B2	0,38	0,87	1,30	1,13	0,80	0,90
B3	0,41	1,10	1,73	2,19	1,68	1,42
B4	0,38	0,87	1,30	1,13	0,80	0,90
B5	0,46	0,96	1,35	1,21	0,77	0,95
C1	0,52	1,08	1,70	1,54	1,24	1,22
C2	0,57	1,58	1,87	1,80	1,22	1,41
C3	0,31	0,84	1,13	1,26	0,91	0,89
C4	0,58	1,61	1,91	1,84	1,25	1,44
C5	0,54	1,12	1,77	1,60	1,29	1,26
D1	0,55	1,00	1,35	1,23	0,83	0,99
D2	0,38	0,87	1,30	1,13	0,80	0,90
D3	0,43	1,14	1,80	2,28	1,74	1,48
D4	0,38	0,87	1,30	1,13	0,80	0,90
D5	0,39	0,81	1,14	1,02	0,65	0,80
E1	0,37	0,66	0,86	0,71	0,56	0,63
E2	0,43	0,84	1,26	1,12	0,77	0,88
E3	0,44	0,83	1,26	1,16	0,81	0,90
E4	0,54	1,17	1,63	1,50	0,92	1,15
E5	0,42	0,77	1,05	1,17	0,79	0,84
Densidade Média: 611,45						
Fator de Pico: 2,28						
Elemento: D3 cota: 42 cm						
Visualizar Relatório Imprimir Sair						

Figura 5.10 - Relatório da distribuição de densidade relativa em 5 cotas de cada elemento

Relatório - Dados de Calibração						
20/08/98 01:46:23						
FATOR DE CALIBRAÇÃO (fc)					fator de simetria	
EC	cota 6cm	cota 18cm	cota 30cm	cota 42cm	cota 54cm	
A1	3,78E10	3,73E11	3,78E11	3,28E11	4,07E11	1,07E00
A3	3,87E10	4,20E11	3,70E11	4,15E11	4,09E11	1,03E00
A5	5,40E11	5,41E11	5,45E11	6,51E11	6,48E11	1,06E00
B2	4,25E11	4,24E11	4,24E11	4,25E11	4,24E11	1,00E00
B4	4,25E11	4,24E11	4,24E11	4,25E11	4,24E11	1,00E00
C1	3,91E11	5,42E11	6,12E11	6,17E11	6,09E11	9,64E-01
C3	3,44E11	4,12E11	3,69E11	4,72E11	4,80E11	0,00E00
C4	5,75E11	7,75E11	5,82E11	5,55E11	4,19E11	1,02E00
D1	3,92E11	3,91E11	3,91E11	3,28E11	3,22E11	1,08E00
D3	1,24E12	5,08E11	4,04E11	6,25E11	5,92E11	1,04E00
D5	7,03E11	3,85E11	3,35E11	3,33E11	3,24E11	8,43E-01
E2	3,59E11	3,45E11	3,73E11	3,64E11	3,51E11	1,00E00
E4	3,43E11	3,91E11	4,07E11	3,79E11	3,41E11	1,38E00
fator de normalização:						
2,47E-08						
Visualizar Relatório Imprimir Sair						

Figura 5.11 - Relatório dos dados de calibração das posições instrumentadas com detectores de platina

obtidos pela equação (3). A fluência é calculada pela integração do valor de fluxo no período decorrido a partir da instalação dos detectores no núcleo. Os dados de calibração se referem ao fator de calibração f_c da equação (43), ao fator de simetria da equação (33) e ao fator de normalização c da equação (39).

O relatório só é impresso após o acionamento do botão Imprimir. O botão Sair permite voltar à tela principal, sem imprimir.

5.2.1.3.2. Telas

Embora seja possível imprimir qualquer uma das telas deste programa através da tecla "Print Screen", o menu Arquivo / Imprimir / Tela, mostrada na figura 5.12, também permite imprimir as telas contendo a configuração do núcleo, os valores de densidade de potência, os valores do fluxo médio em cada elemento combustível e a tela que apresenta o perfil tridimensional da distribuição de potência, funções estas que serão descritas na seção 5.2.3.1. Ao acionar uma destas opções de telas por este menu, é mostrada a tela solicitada com as opções para "imprimir" ou "cancelar impressão", como no exemplo da figura 5.13.

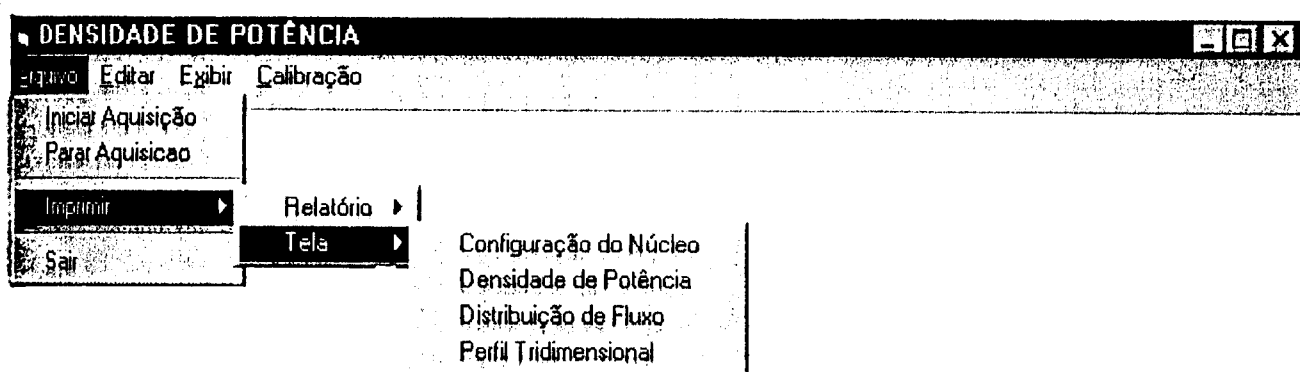


Figura 5.12 - Apresentação do menu Imprimir / Tela

DENSIDADE DE POTÊNCIA

Arquivo Editar Exibir Calibração

	A	B	C	D	E
1	ECA1 4.15E02	ECB1 6.62E02	EC C1 7.44E02	EC D1 6.07E02	EC E1 3.87E02
2	ECA2 5.39E02	ECB2 5.49E02	EC C2 8.61E02	EC D2 5.49E02	EC E2 5.41E02
3	ECA3 5.66E02	ECB3 8.64E02	EC C3 5.45E02	EC D3 9.03E02	EC E3 5.49E02
4	ECA4 5.12E02	ECB4 5.49E02	EC C4 8.80E02	EC D4 5.49E02	EC E4 7.05E02
5	ECA5 5.46E02	ECB5 5.82E02	EC C5 7.72E02	EC D5 4.91E02	EC E5 5.13E02

Potência Térmica do Reator
1.65E05 Watts

Axial off-set
0.17

Fator de Pico
2.28 cota 42cm
EC D3

Imprimir Tela Cancelar Impressão

Comentários

Esta tela apresenta a densidade de potência média em cada elemento combustível

Densidade em watts / cm

A indicação em amarelo ☐ mostra o(s) elemento(s) com o fator de pico

13/10/88 17:17:33

Figura 5.13 - Tela Densidade de Potência com opção para impressão

5.2.1.4. Sair

O menu Sair interrompe as aquisições e gravações, fecha todos os arquivos abertos e volta para a tela de abertura onde o usuário tem a opção de sair definitivamente do programa ou reiniciá-lo.

5.2.2. Menu Editar

O menu Editar engloba as opções para editar parâmetros como a seção de choque e sensibilidade dos detectores ou o tempo de aquisição e gravação de dados, como pode ser visto na Figura 5.14.

Os valores de seção de choque, bem como os de sensibilidade dos detectores, podem ser alterados, atuando diretamente nos arquivos "sigma_Rh.txt", "sigma_Pt.txt" e "sensib_Rh.txt", que podem ser gerados automaticamente por outros programas, desde que a formatação seja obedecida.

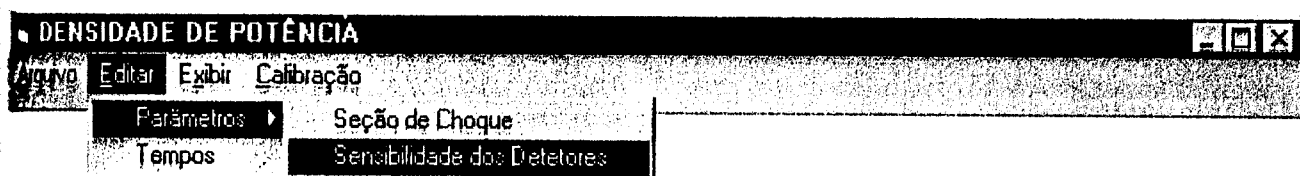


Figura 5.14 - Apresentação do menu Editar

5.2.2.1. Parâmetros

5.2.2.1.1. Seção de choque

Ao acionarmos o menu Editar / Parâmetros / Seção de Choque, é apresentada a tela da figura 5.15, com os valores das seções de choque atuais tanto nos campos de seção de

Seção de Choque Macroscópica (Parâmetro Nuclear)

ECA1 Atual: 3,02E-02 Nova: 3,02E-02	ECB1 Atual: 3,54E-02 Nova: 3,54E-02	EC C1 Atual: 3,05E-02 Nova: 3,05E-02	EC D1 Atual: 3,57E-02 Nova: 3,57E-02	EC E1 Atual: 4,83E-02 Nova: 4,83E-02
ECA2 Atual: 3,40E-02 Nova: 3,40E-02	ECB2 Atual: 4,50E-02 Nova: 4,50E-02	EC C2 Atual: 3,01E-02 Nova: 3,01E-02	EC D2 Atual: 3,57E-02 Nova: 3,57E-02	EC E2 Atual: 3,01E-02 Nova: 3,01E-02
ECA3 Atual: 4,91E-02 Nova: 4,91E-02	ECB3 Atual: 3,43E-02 Nova: 3,43E-02	EC C3 Atual: 3,06E-02 Nova: 3,06E-02	EC D3 Atual: 4,79E-02 Nova: 4,79E-02	EC E3 Atual: 3,03E-02 Nova: 3,03E-02
ECA4 Atual: 3,57E-02 Nova: 3,57E-02	ECB4 Atual: 4,82E-02 Nova: 4,82E-02	EC C4 Atual: 3,40E-02 Nova: 3,40E-02	EC D4 Atual: 4,83E-02 Nova: 4,83E-02	EC E4 Atual: 3,08E-02 Nova: 3,08E-02
ECA5 Atual: 3,57E-02 Nova: 3,57E-02	ECB5 Atual: 3,01E-02 Nova: 3,01E-02	EC C5 Atual: 4,90E-02 Nova: 4,90E-02	EC D5 Atual: 3,05E-02 Nova: 3,05E-02	EC E5 Atual: 3,53E-02 Nova: 3,53E-02

Seção de Choque em 1/cm

Atualizar Dados Sair

13/10/99 17:18:19

Figura 5.15 - Tela para a atualização da seção de choque dos elementos

choque atual como no da nova seção de choque. O usuário deve digitar os novos valores da seção de choque nos respectivos campos. Para que esses novos valores sejam aceitos, deve-se acionar o botão Atualizar Dados. Os campos não alterados serão mantidos com a mesma seção de choque. Ao acionar o botão Sair sem atualizar os dados, os dados eventualmente digitados serão cancelados e o programa volta para a tela principal.

5.2.2.1.2. Sensibilidade dos detectores

O menu Editar / Parâmetros / Sensibilidade dos Detectores, chama a tela da figura 5.16, para apresentar e permitir modificar os valores de sensibilidade atuais dos detectores. Esta tela apresenta os dados de 5 detectores de um determinado feixe. O feixe é selecionado pela barra de rolagem "Seleção do Feixe" e do botão OK. Uma vez selecionado o feixe, são apresentados os valores de sensibilidade atualmente adotados para os detectores deste feixe nos campos "Sensibilidade Atual" e os valores corrigidos de acordo com a seção 4.1.2 nos campos "Nova Sensibilidade".

O usuário pode corrigir o valor da nova sensibilidade, digitando valores. Para que o programa passe a utilizar os novos valores de sensibilidade, o usuário deve acionar o botão Atualizar Dados. Ao acionar o botão Sair sem atualizar os dados, os dados eventualmente digitados serão cancelados e o programa volta para a tela principal.

5.2.2.2. Tempos

Ao ser acionado, o menu Editar / Tempos chama a tela Seleção de Tempos, mostrada na figura 5.17. Esta tela permite selecionar o tempo de aquisição, ou seja, a frequência com que o programa se comunica com a UAD para o recebimento de novos dados, ou no nosso caso, a frequência para a leitura dos arquivos contendo os valores de corrente dos detectores, das temperaturas na saída de cada elemento combustível e outros dados do processo. O tempo de gravação das diversas variáveis (indicadas na tabela 5.1) em arquivos, também é modificado por esta tela.

SENSIBILIDADE DOS DETECTORES

EC

E1

FEIXE

Rh

COTA	SENSIBILIDADE ATUAL A/(n/cm2s)	NOVA SENSIBILIDADE A/(n/cm2s)
Cota 6 cm	7,68E-21	7,68E-21
Cota 18 cm	7,68E-21	7,68E-21
Cota 30 cm	7,68E-21	7,68E-21
Cota 42 cm	7,68E-21	7,68E-21
Cota 54 cm	7,68E-21	7,68E-21

Seleção do feixe

E1

OK

Atualizar
Dados

SAIR

Figura 5.16 - Tela para atualização da sensibilidade dos detectores

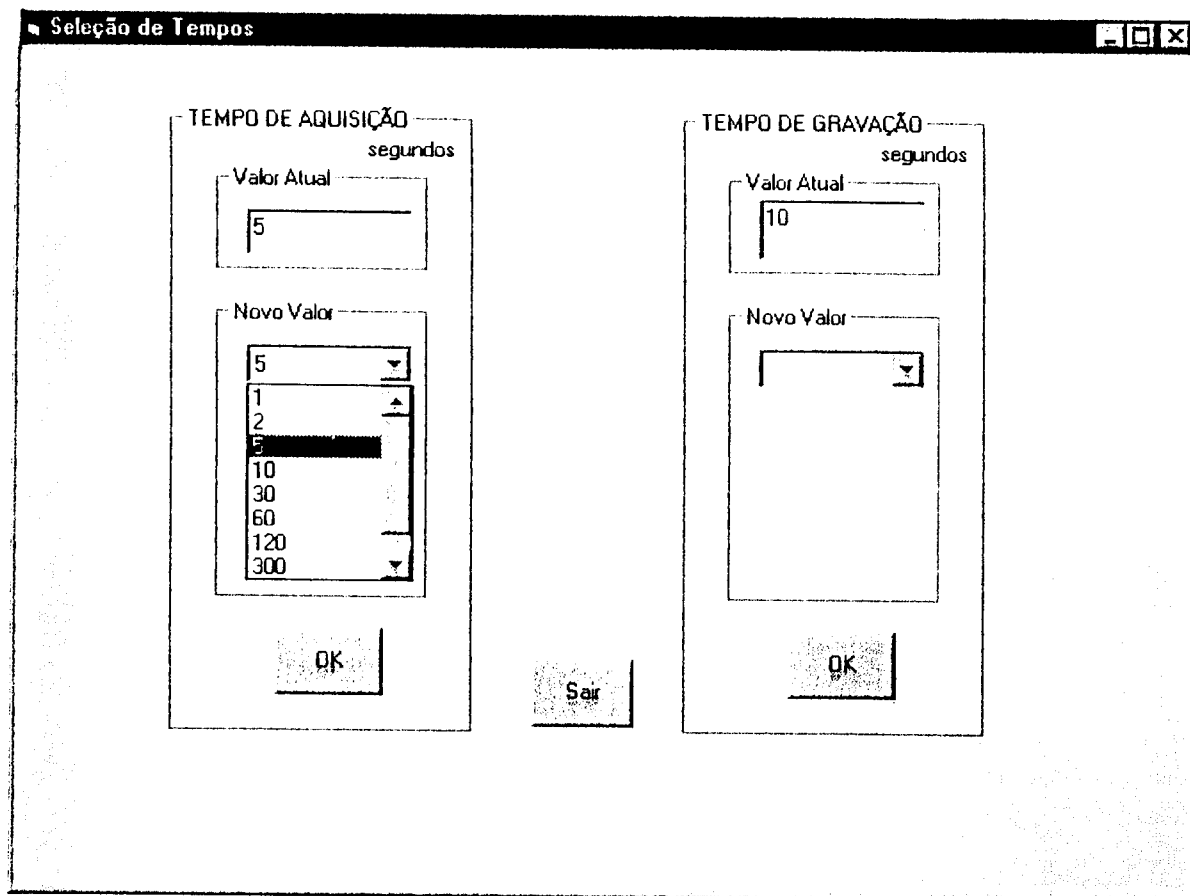


Figura 5.17 - Tela para alteração dos tempos de aquisição de sinais e gravação de dados

Os tempos atualmente em uso também são apresentados. Tanto o tempo de aquisição como o tempo de gravação podem ser selecionados na lista suspensa ou digitando o valor no campo de texto correspondente. Estes valores somente serão validados após o acionamento dos respectivos botões "OK".

5.2.3. Menu Exibir

O Menu Exibir permite ao operador visualizar tanto os parâmetros do reator mostrados na figura 5.18, como os parâmetros do sistema.

5.2.3.1. Monitoração do Reator

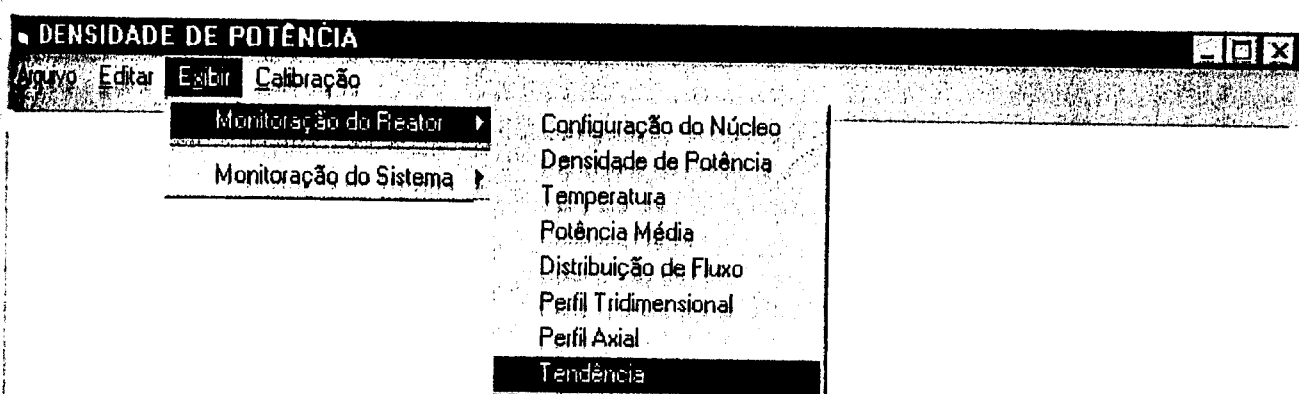


Figura 5.18 - Apresentação do menu Exibir / Monitoração do Reator

5.2.3.1.1. Configuração do Núcleo

A tela Configuração do Núcleo, como podemos observar na figura 5.19, mostra a posição dos elementos combustíveis no núcleo com a localização dos feixes de detectores de nêutrons e platina indicadas em cores distintas. A identificação dos elementos de controle também é apresentada nesta tela.

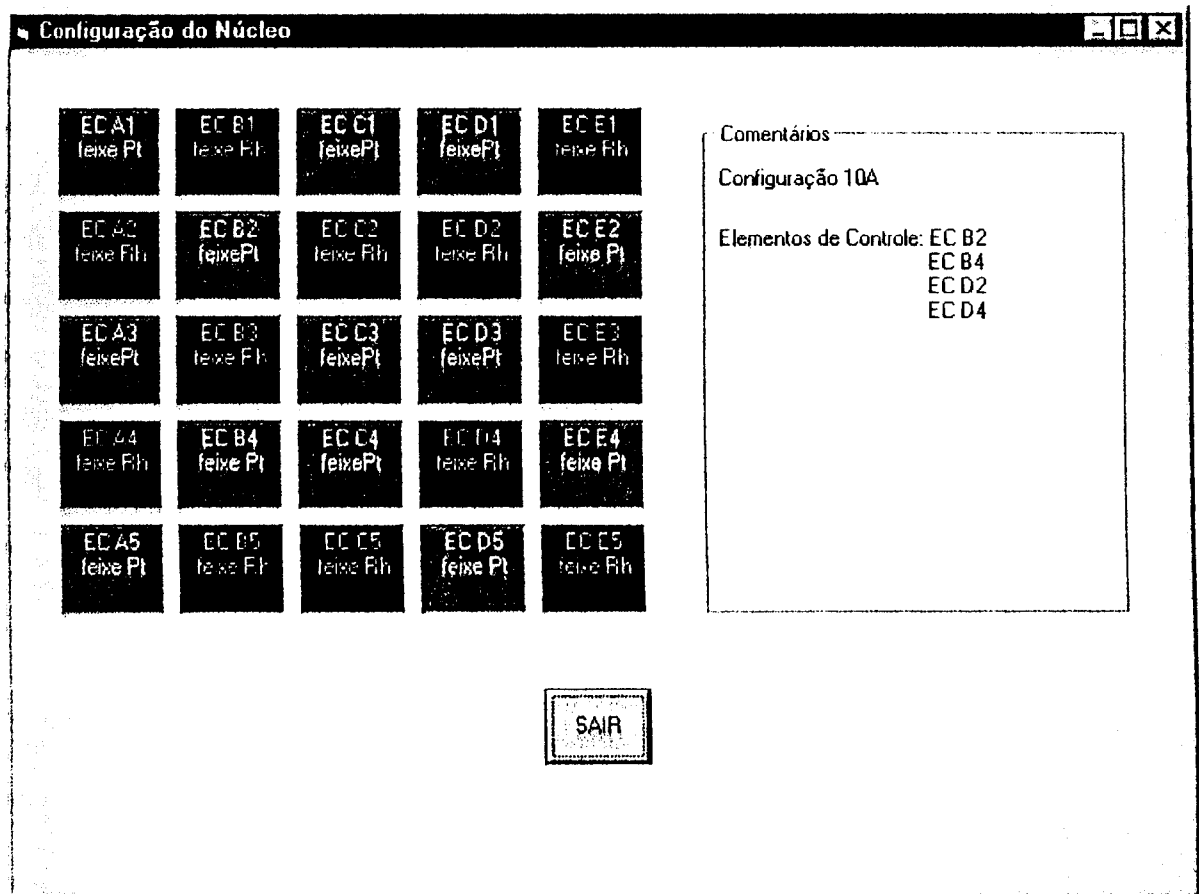


Figura 5.19 - Tela Configuração do Núcleo

5.2.3.1.2. Densidade de Potência

A tela Densidade de Potência apresenta os valores da densidade média em cada elemento combustível (em watts/cm) , além dos valores da potência térmica atual do reator calculada pela equação (40), o "axial off-set" calculado pela equação (48), o fator de pico e o local (elemento e cota) de sua ocorrência, conforme mostrada na figura 5.3. A indicação em amarelo mostra o elemento com o fator de pico. Os elementos que apresentam densidade relativa maior que 99 % do fator de pico, também são indicados em amarelo. Os valores desta tela são calculados pela subrotina MonitoraOnLine e atualizados de acordo com o tempo de aquisição selecionado.

5.2.3.1.3. Temperatura

A tela Temperatura, como podemos observar na figura 5.20, apresenta os valores da temperatura do refrigerante na saída de cada elemento combustível, a potência térmica, a vazão e a temperatura do refrigerante na entrada do núcleo. Os elementos com a maior temperatura são indicados em amarelo.

5.2.3.1.4. Potência Média

A tela Potência Média da Figura 5.21 apresenta o valor da potência total (em watts) gerada em cada elemento combustível. Nesta tela também são apresentados os valores da potência térmica atual do reator, o "axial off-set", o fator de pico e o local (elemento e cota) de sua ocorrência. A indicação em amarelo mostra o elemento com o fator de pico.

5.2.3.1.5. Distribuição de Fluxo

A tela Distribuição de Fluxo mostra o fluxo médio em cada elemento combustível, em nv (nêutrons/cm²s) juntamente com os valores da potência térmica atual do reator, o "axial off-set", o fator de pico e o local (elemento e cota) de sua ocorrência, como

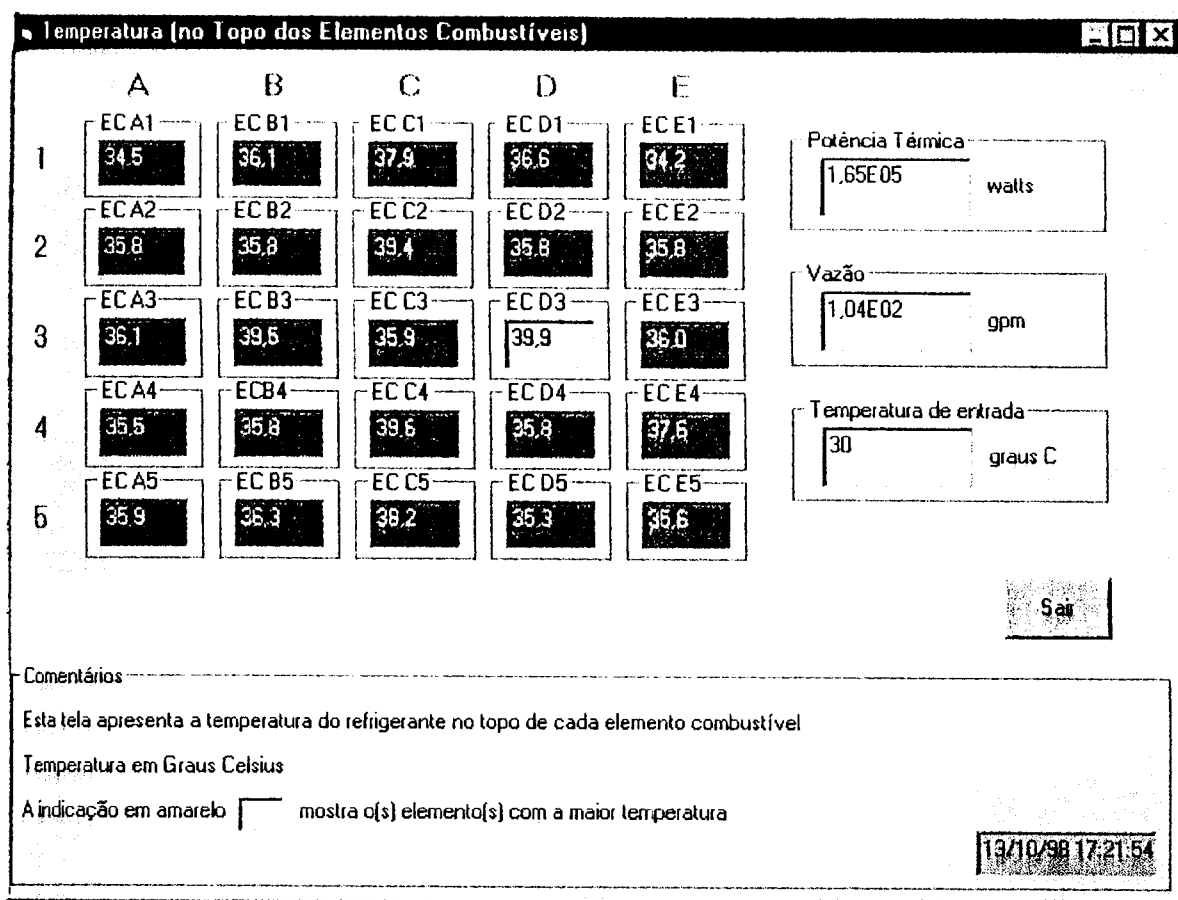


Figura 5.20 - Tela mostrando a distribuição da temperatura na saída dos elementos

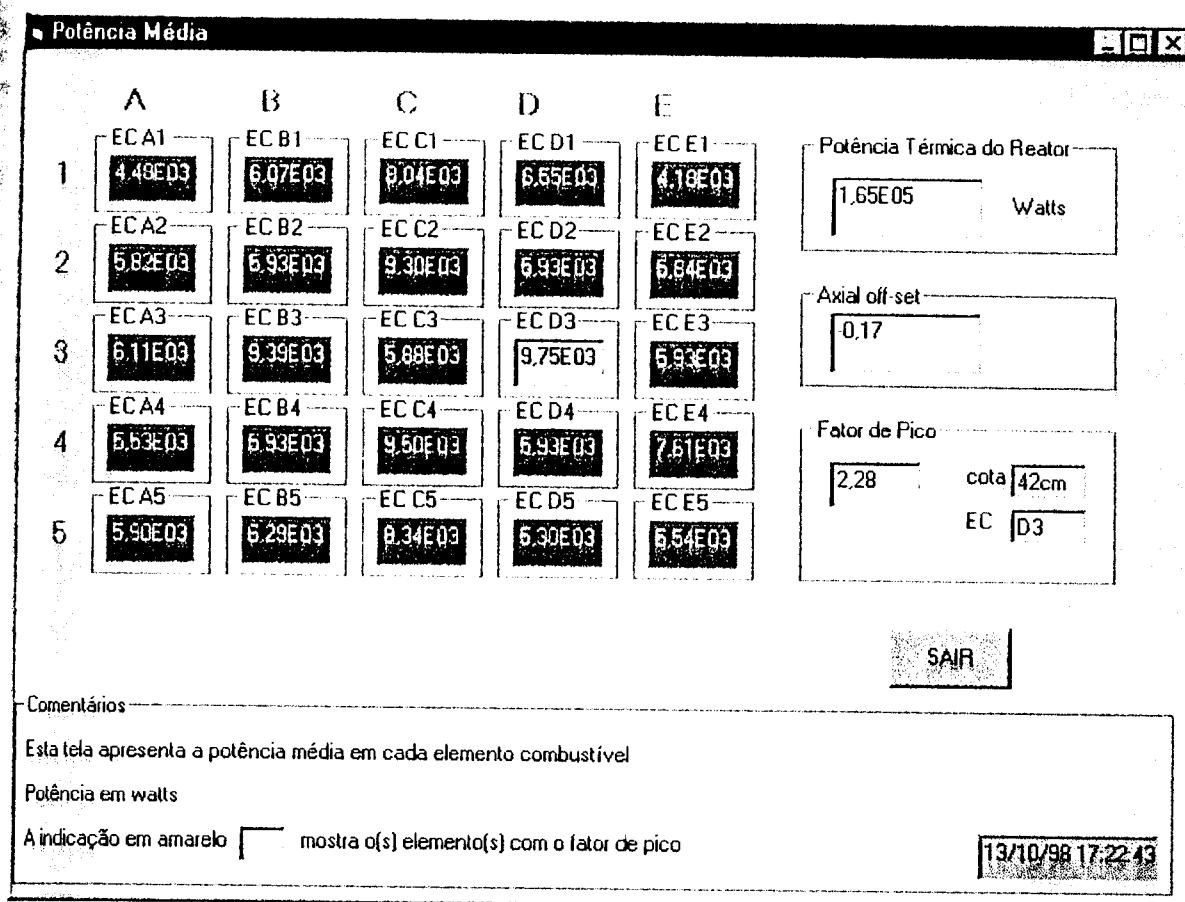


Figura 5.21 - Tela mostrando a potência gerada em cada elemento

podemos observar na figura 5.22. A indicação em amarelo mostra o elemento com o fator de pico. A partir desta tela também é possível visualizar o fluxo em cada uma das 5 cotas do núcleo, através de uma seleção na barra de rolagem.

5.2.3.1.6. Perfil Tridimensional

A tela Perfil Tridimensional, retratada na figura 5.23, apresenta o gráfico tridimensional da densidade média de potência no núcleo. Para apresentação do perfil atualizado, é necessário acionar o botão Atualiza Gráfico e acionar o mouse sobre a área do gráfico.

5.2.3.1.7. Perfil Axial

Ao solicitarmos o menu de perfil axial, o programa abre a tela com a configuração do núcleo para que seja selecionada a apresentação do perfil de um elemento. Esta tela é mostrada na figura 5.24. A seleção é efetuada através de um "click" na posição do elemento, o que automaticamente inibe a seleção de outros elementos, tornando-os sombreados, como pode ser visto na figura 5.25. O botão Cancela Seleção permite desfazer a seleção e escolher um novo elemento. Acionando o campo "Apresenta Perfil", o programa mostra a tela da figura 5.26 com o gráfico da densidade linear em função da posição axial. Para apresentação do perfil axial do elemento selecionado, é necessário acionar o botão Atualiza Gráfico e acionar o mouse sobre a área do gráfico.

5.2.3.1.8. Tendência

O acionamento do menu Exibir / Monitoração do Reator / Tendência mostra a tela de tendência da figura 5.27, com o gráfico de densidade de potência em função do tempo (últimas 24 horas). Nesta versão, o programa apresenta a densidade de potência nos últimos vinte minutos. O gráfico de uma nova posição (elemento e cota) pode ser selecionado pela barra de rolagem.

DISTRIBUIÇÃO DE FLUXO

	A	B	C	D	E
1	ECA1 1.61E12	ECB1 1.96E12	EC C1 1.90E12	EC D1 2.38E12	EC E1 1.52E12
2	ECA2 2.20E12	EC B2 1.96E12	EC C2 2.23E12	EC D2 1.96E12	EC E2 2.22E12
3	ECA3 2.04E12	EC B3 1.92E12	EC C3 1.72E12	EC D3 1.99E12	EC E3 1.98E12
4	ECA4 2.11E12	EC B4 1.96E12	EC C4 2.12E12	EC D4 1.96E12	EC E4 2.84E12
5	ECA5 1.22E12	EC B5 2.40E12	EC C5 2.67E12	EC D5 2.03E12	EC E5 1.14E12

Potência Térmica do Reator
 1.65E05 Watts

Axial off-set
 -0.17

Fator de Pico
 2.28 cota 42cm
 EC D3

Seleção da cota
 30cm OK

SAIR

Comentários
 Esta tela apresenta o fluxo médio em cada elemento combustível e o fluxo na posição de cada detector
 Fluxo em neutrons / cm² s
 A indicação em amarelo ☐ mostra o(s) elemento(s) com o fator de pico

13/10/98 17:24:32

Figura 5.22 - Tela Distribuição de Fluxo

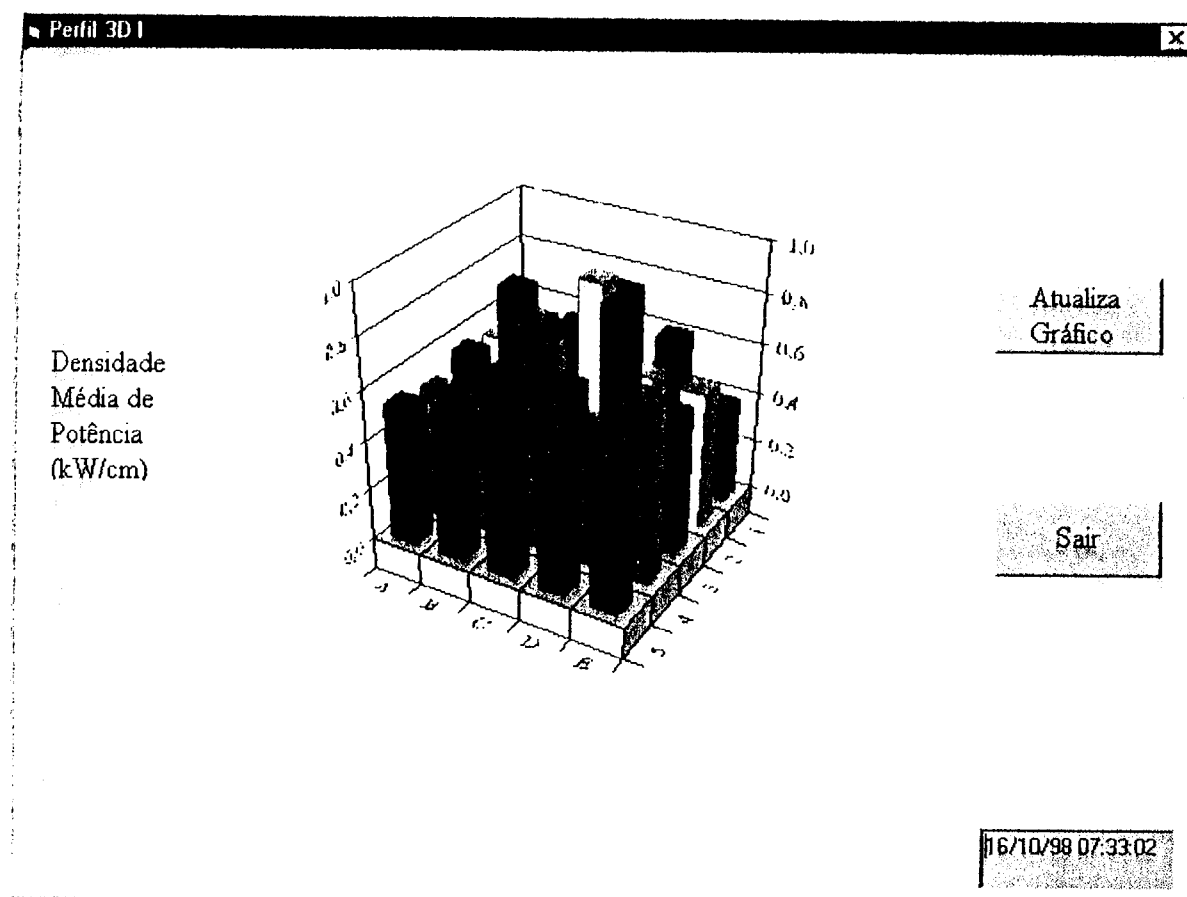


Figura 5.23 - Tela para apresentação do gráfico tridimensional da densidade de potência

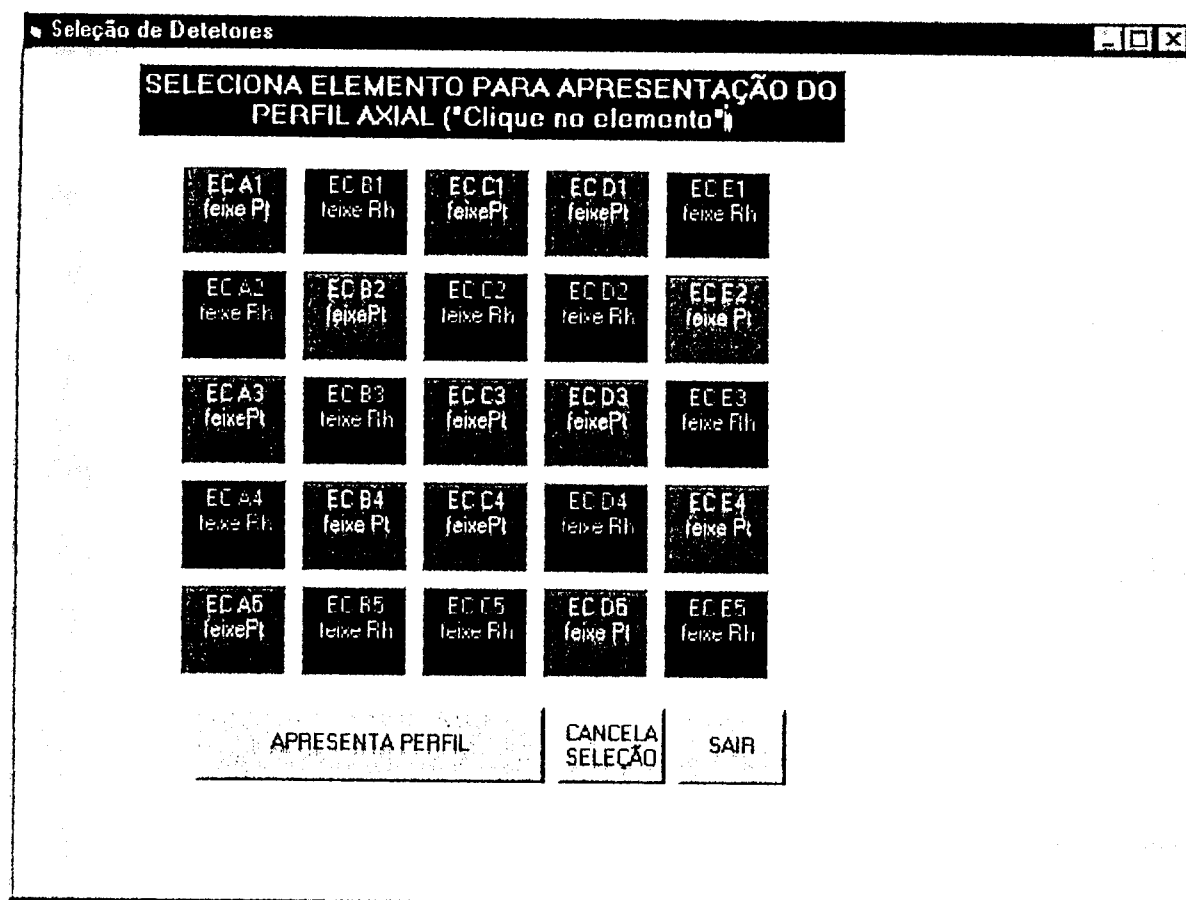


Figura 5.24 - Tela para seleção de um elemento para apresentação do perfil axial

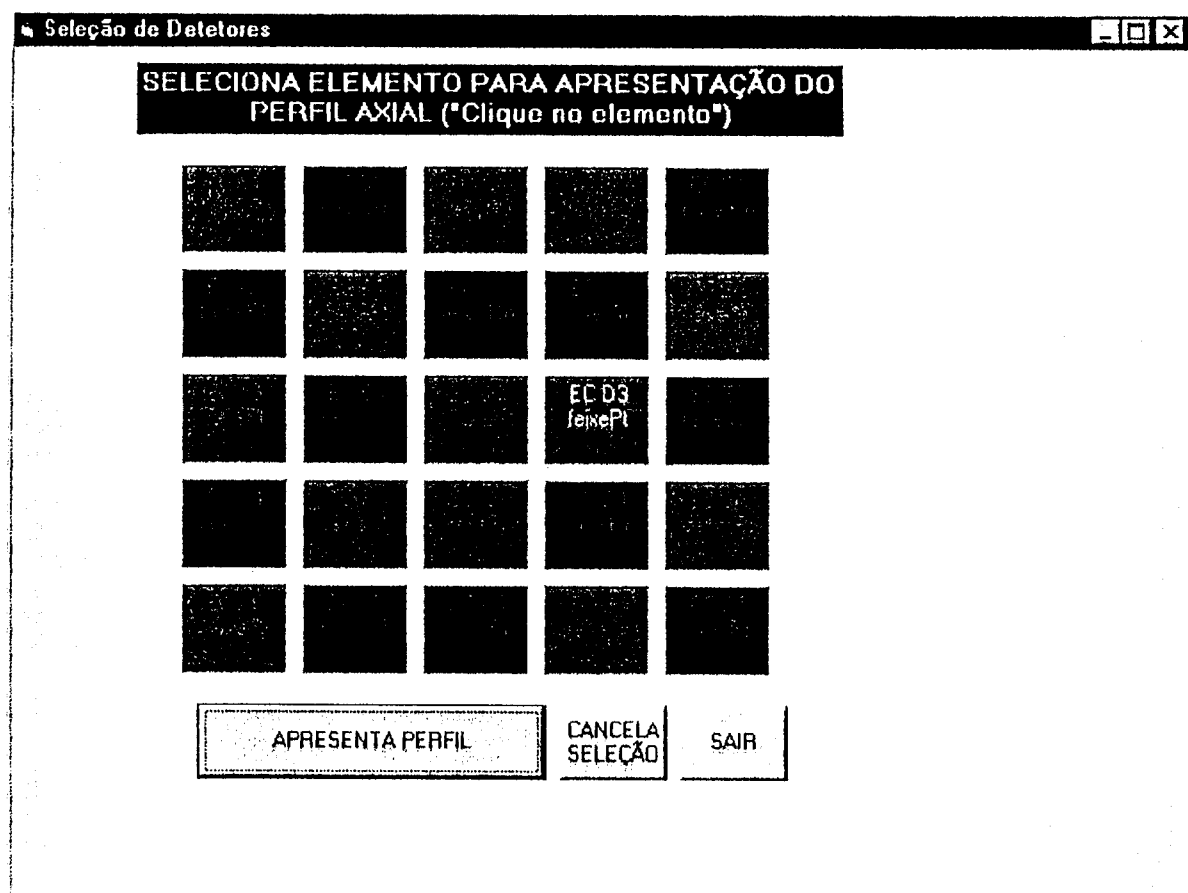


Figura 5.25 - Tela mostrando o elemento D3 selecionado

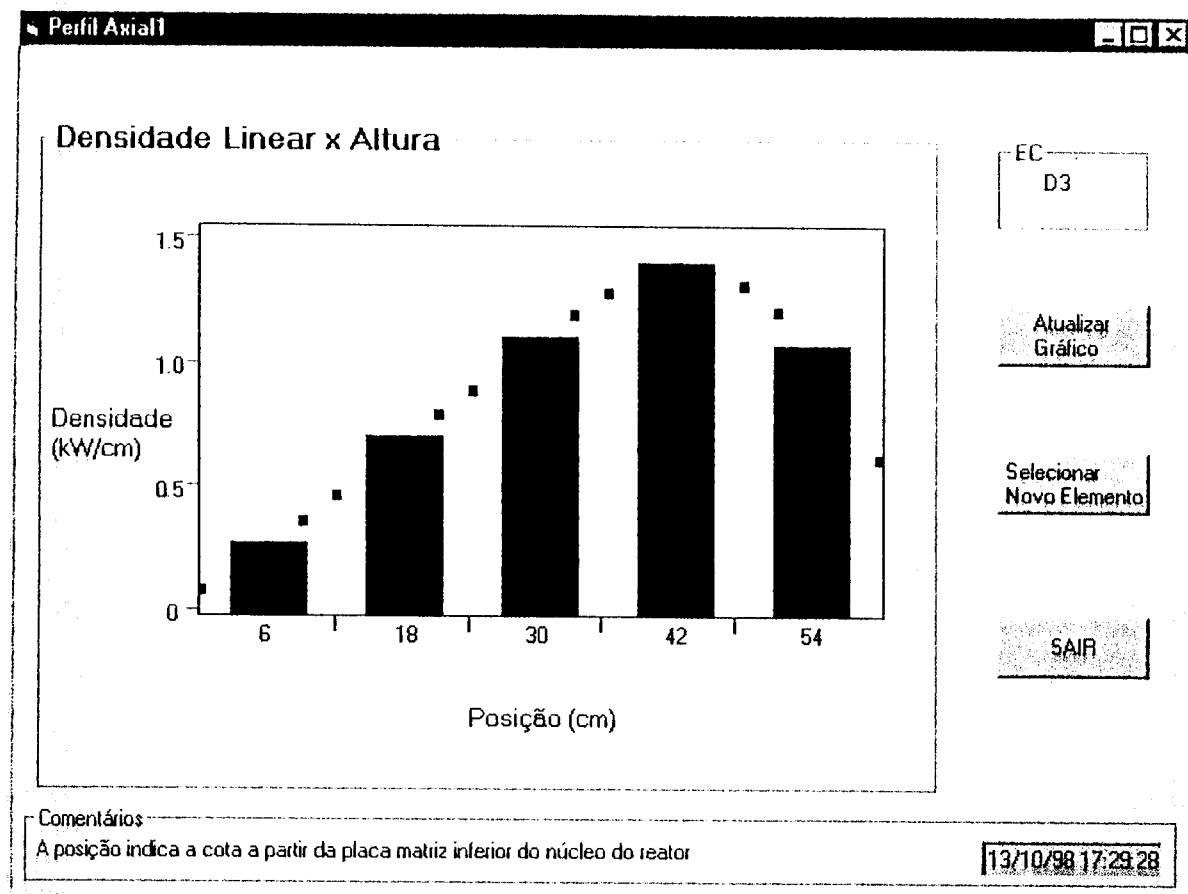


Figura 5.26 - Tela para apresentação do perfil axial da densidade de potência de um elemento

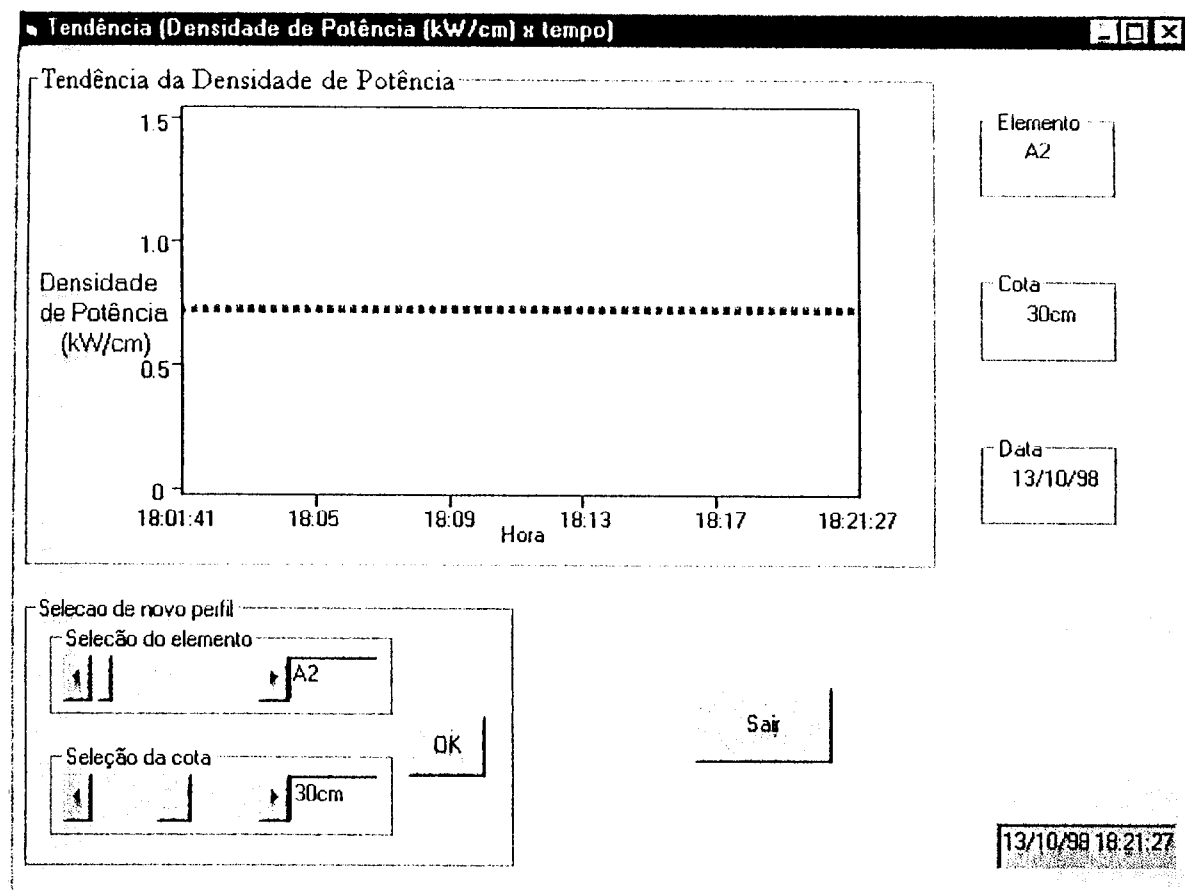


Figura 5.27- Tela para apresentação do gráfico de tendência da densidade de potência na posição de um detector

5.2.3.2. Monitoração do Sistema

O menu Exibir / Monitoração do Sistema apresentado na figura 5.28, permite observar dados importantes para a verificação do sistema (hardware e software) de monitoração "in-core"

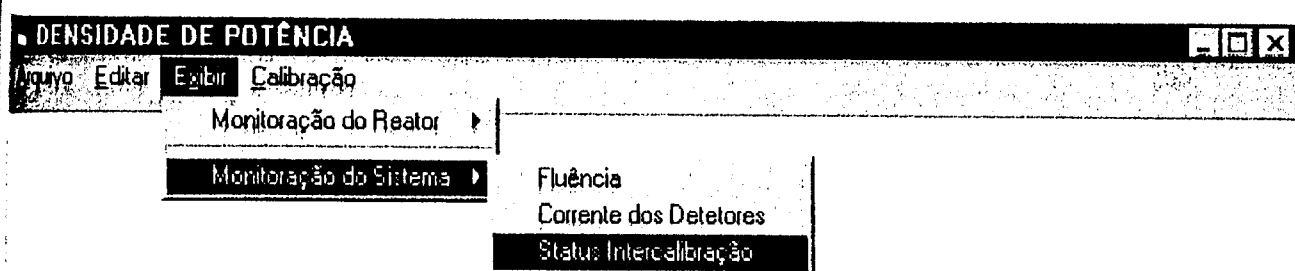


Figura 5.28- Apresentação do menu Exibir / Monitoração do Sistema

5.2.3.2.1. Fluência

O menu Exibir / Monitoração do Sistema / Fluência, possibilita visualizar a fluência na posição de cada detector a partir de sua instalação no núcleo, como pode ser visto na figura 5.29. Inicialmente são mostrados os valores da fluência na posição dos detectores da cota 6 cm. A barra de rolagem permite selecionar uma nova cota. A fluência é calculada pela subrotina CalculaFluencia a cada 2 horas.

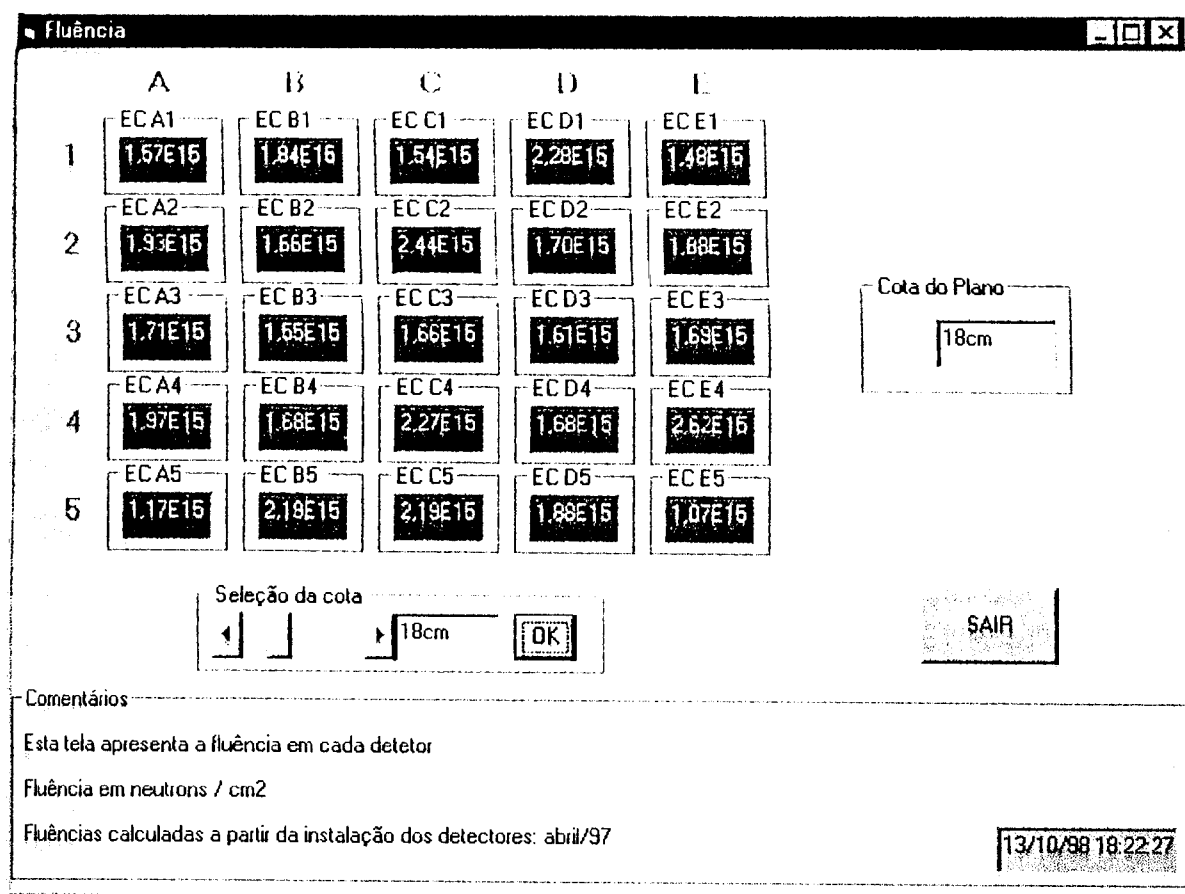


Figura 5.29 - Tela para apresentação da fluência nos 5 planos instrumentados

5.2.3.2.2. Corrente

A tela que apresenta a corrente dos detectores é chamada pelo menu Exibir/Monitoração do Sistema / Corrente dos Detectores. Inicialmente um feixe de detectores deve ser selecionado pela tela de configuração que é automaticamente carregada, quando acionamos este menu. Esta tela de configuração indica em vermelho eventuais posições com detectores falhos, como no exemplo da figura 5.30. Acionando o campo "Apresentar Corrente", é chamada a tela Corrente dos Detectores, mostrada na figura 5.31. O programa apresenta no campo "Valores Lidos", os valores das correntes dos detectores de cada cota do feixe fornecidos pela UAD, e no campo "Valores Corrigidos" o mesmo valor, ou se for um detector com falha, identificado pela equação (49), o valor da corrente corrigida pela subrotina FalhaDet de acordo com a descrição da seção 4.3. O campo correspondente ao detector com falha é mostrado em vermelho. Um novo feixe pode ser selecionado pela barra de rolagem e o botão OK, ou voltando para a tela de configuração.

5.2.3.2.3. Status de Intercalibração

O menu Exibir / Monitoração do Sistema / Status de Intercalibração, chama a tela Status, que apresenta os dados relativos aos elementos instrumentados com detectores de rádio, como mostrados na figura 5.32. O campo "Medido com Rh" mostra a densidade de potência indicada com os detectores de rádio através da subrotina Corrente em cada cota do elemento, de acordo com a equação (30). O campo "Calculado com Pt", mostra a densidade de potência "on line", calculada através do detector de platina localizado em posição simétrica. É apresentado também, a relação entre as medidas. O fator de calibração apresentado se refere ao nó da posição simétrica, e é calculado conforme a equação (43). Havendo interesse, um novo feixe pode ser selecionado pela barra de rolagem e pelo botão OK.

5.2.4. Menu Calibração

O menu Calibração mostra a tela da figura 5.33, que permite a calibração do sistema. Esta calibração consiste tanto na normalização dos valores de potência calculados

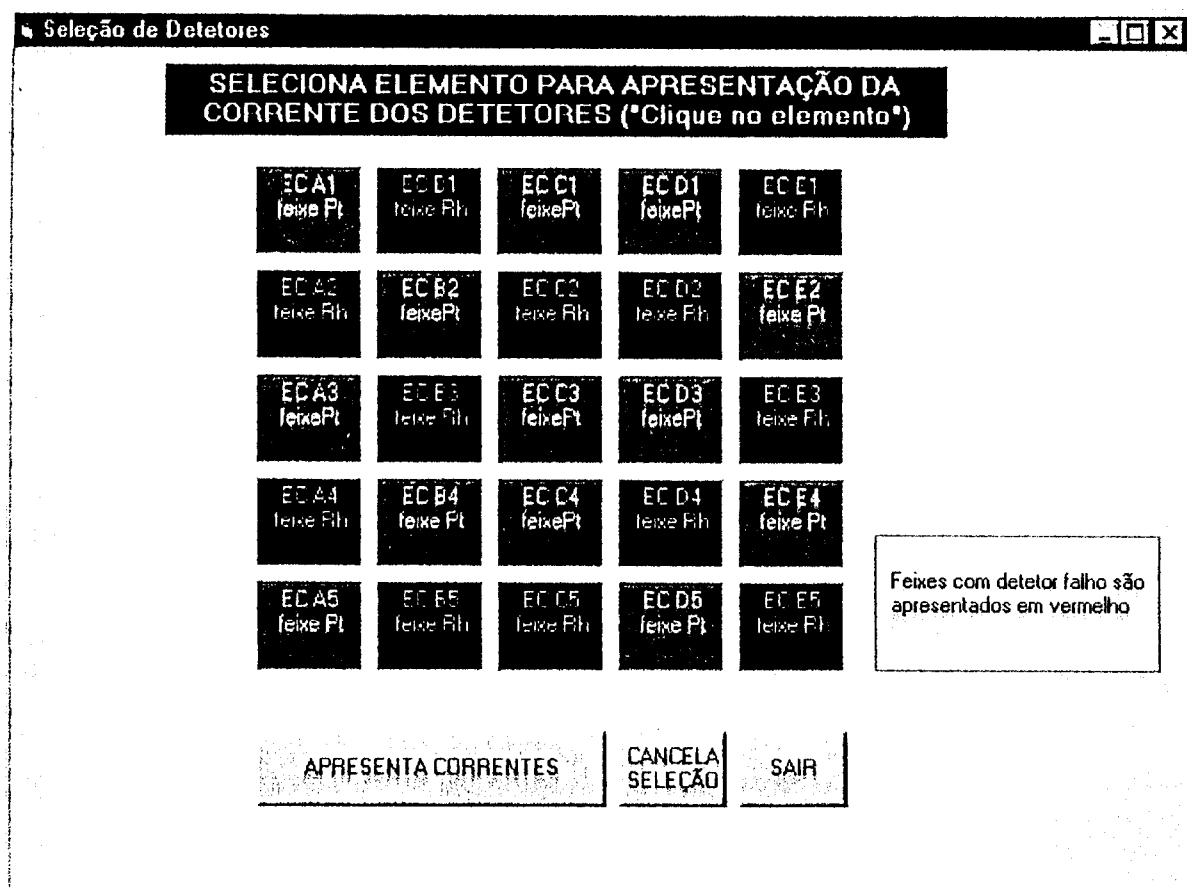


Figura 5.30 - Tela de seleção dos feixes instrumentados e indicação dos detectores falhos

Corrente dos Detetores

CORRENTE DOS DETETORES

Valores Lidos (A)	Elemento B3	Valores Corrigidos (A)
3.91E-09	Cota 6 cm	3.91E-09
	Cota 18 cm	1.43E-08
1.64E-08	Cota 30 cm	1.64E-08
2.08E-08	Cota 42 cm	2.08E-08
1.59E-08	Cota 54 cm	1.59E-08

Seleção do feixe:

Comentários:

O sinal dos detetores falhos foram substituídos por interpolação

O retângulo em vermelho indica posição com detetor falho

13/10/98 17:45:49

Figura 5.31 - Tela para apresentação da corrente dos detectores

Status da Intercalibração (entre os Detetores)

Feixe
E3

Posição Axial	Medido com Rh	Calculado com Pt	Relação Rh/Pt	Fator Calibração
Cota 6cm	2,67E02	2,67E02	1,00E00	3,87E10
Cota 18 cm	5,05E02	5,05E02	1,00E00	4,20E11
Cota 30 cm	7,69E02	7,69E02	1,00E00	3,70E11
Cota 42 cm	7,10E02	7,10E02	1,00E00	4,15E11
Cota 54 cm	4,96E02	4,96E02	1,00E00	4,09E11

Seleção do feixe de Rh

← E3 → OK

Sair

Comentários

"Medido com Rh" = Densidade de Potência (em watts/cm) medida com o detetor de Rh nesta posição (resposta lenta)

"Calculado com Pt" = Densidade de Potência (em watts/cm) calculada para esta posição a partir do detetor de Pt da posição simétrica (resposta pronta)

O valor assumido é o valor calculado com resposta pronta

13/10/98 17:32:28

Figura 5.32 - Tela para apresentação do status de calibração

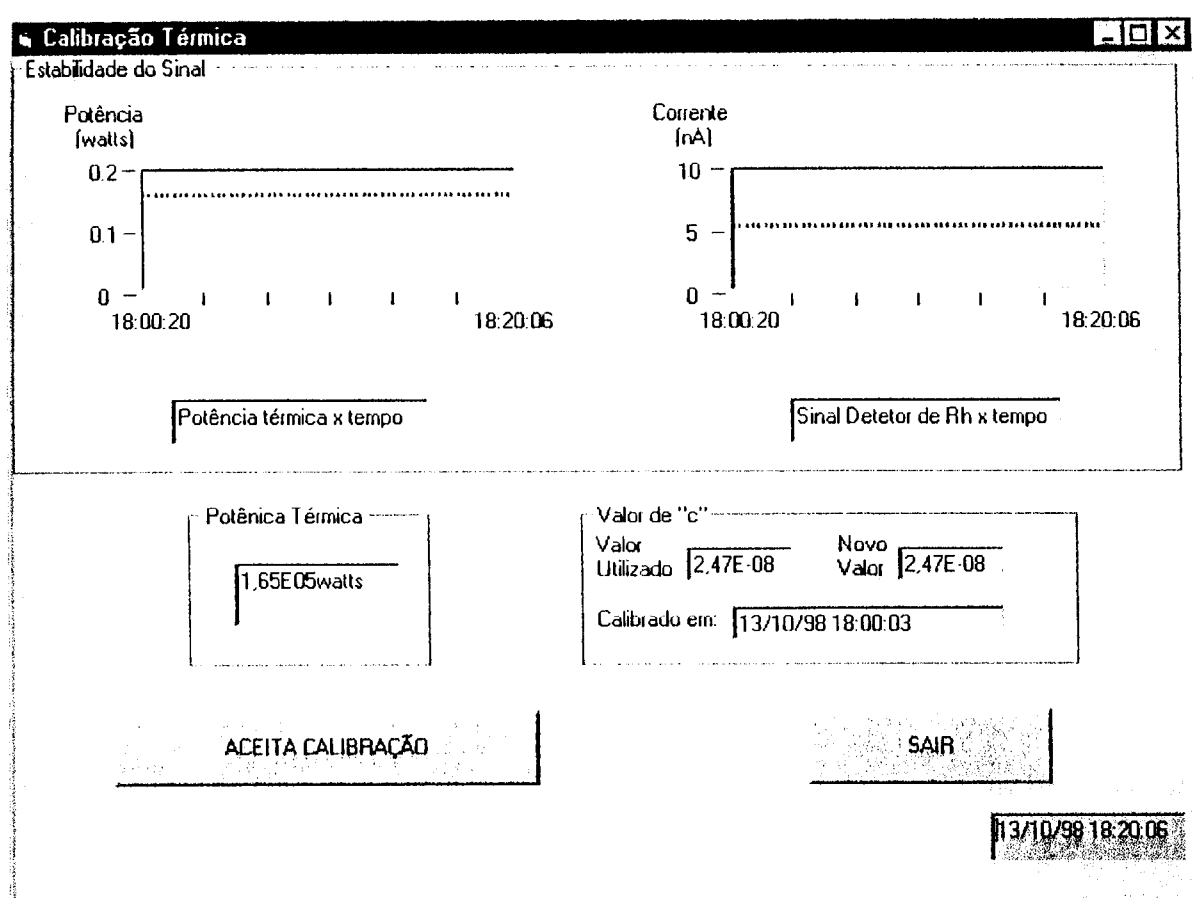


Figura 5.33 - Tela para atualização dos fatores de calibração

pelo programa em relação à potência térmica do reator, como na intercalibração entre os detectores de ródio e platina.

A intercalibração entre os detectores é efetivada quando atualizamos os valores de f_c (mostrados na figura 5.32) que representa a relação entre os valores densidade de potência e a corrente do detector de platina em cada posição instrumentada com detectores de platina, conforme a equação (43).

A normalização com a potência térmica do reator é efetivada quando efetuarmos a atualização do valor c que representa a relação entre a Potência Térmica do reator obtida pelo balanço térmico da planta, e a somatória das potências em cada nó do programa, conforme a equação (39).

O valor do fator c é calculado em todas as aquisições e mostrado nesta tela como "novo valor c ", para fornecer um indicativo de seu desvio e de uma eventual necessidade de atualização. Também são mostrados os valores da potência térmica e do c atual e a data da última calibração.

A tela de calibração mostra os gráficos de tendência da potência térmica e do detector de ródio da cota 6 cm do elemento A2, de maneira que o usuário possa efetivar os novos valores de c e f_c , quando o reator estiver em estado estacionário e a corrente dos detectores de ródio já estiver estabilizada.

Os novos valores dos fatores de calibração e de normalização somente serão efetivados após o acionamento do botão Aceita Calibração.

5.3. Diagrama de acesso às telas

O diagrama de acesso às telas permite a observação instantânea de todo o sistema, mostrando os diversos caminhos possíveis que o operador tem disponíveis.

A figura 5.34 mostra o caminho para solicitação de cada tela de operação. Para retornar à tela principal (Densidade de Potência), deve-se utilizar o botão SAIR.

5.4. Descrição das principais subrotinas

Os formulários do Visual Basic fornecem a interface visual dos seus programas, mas a maior parte do trabalho real do programa é realizada com o código de programa. Esse código executa tarefas em resposta a eventos do usuário e do sistema. O Visual Basic fornece uma linguagem de programação baseada na linguagem BASIC, ampliada para facilitar a programação através de estruturas de decisão e de loops.

O código deste programa está fragmentado em subrotinas dentro dos formulários e no arquivo módulo. Um fluxograma funcional do software é apresentado na figura 5.35. Neste item são apresentadas as principais subrotinas utilizadas pelo programa com algumas de suas funções.

Sub IniciaSistema

Esta subrotina está associada ao formulário INICIAL e é responsável pelos seguintes processamentos:

- leitura das seções de choque dos elementos combustíveis já corrigidos com a inclusão do fator de fissão rápida, e posição das barras de controle por um programa externo
- leitura da sensibilidade dos detectores
- leitura dos parâmetros operacionais da operação anterior, como: fluência, tempos de aquisição e gravação, fatores de calibração e de normalização
- abertura dos arquivos para gravação de dados

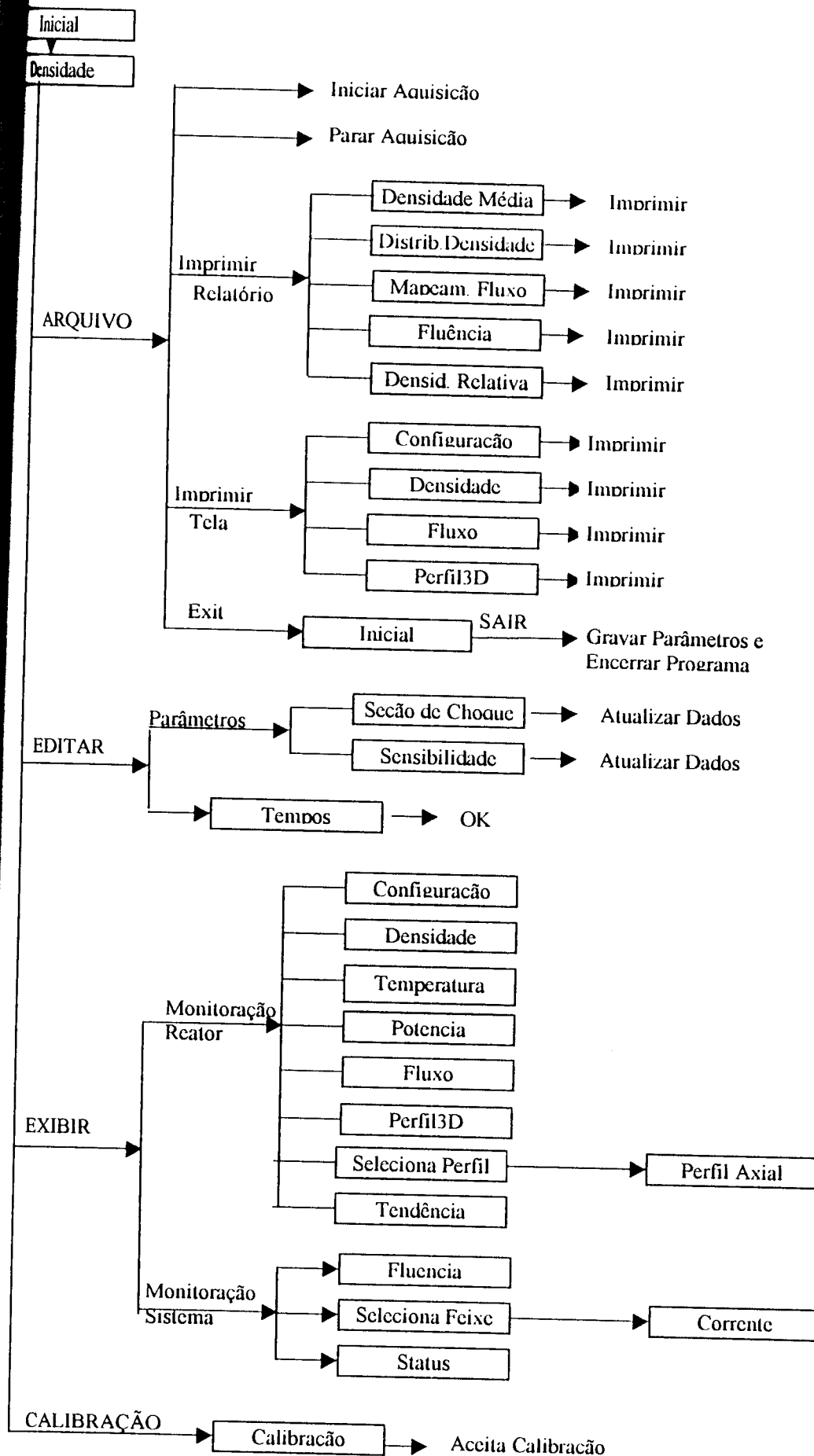


Figura 5.34 - Diagrama de Acesso às Telas

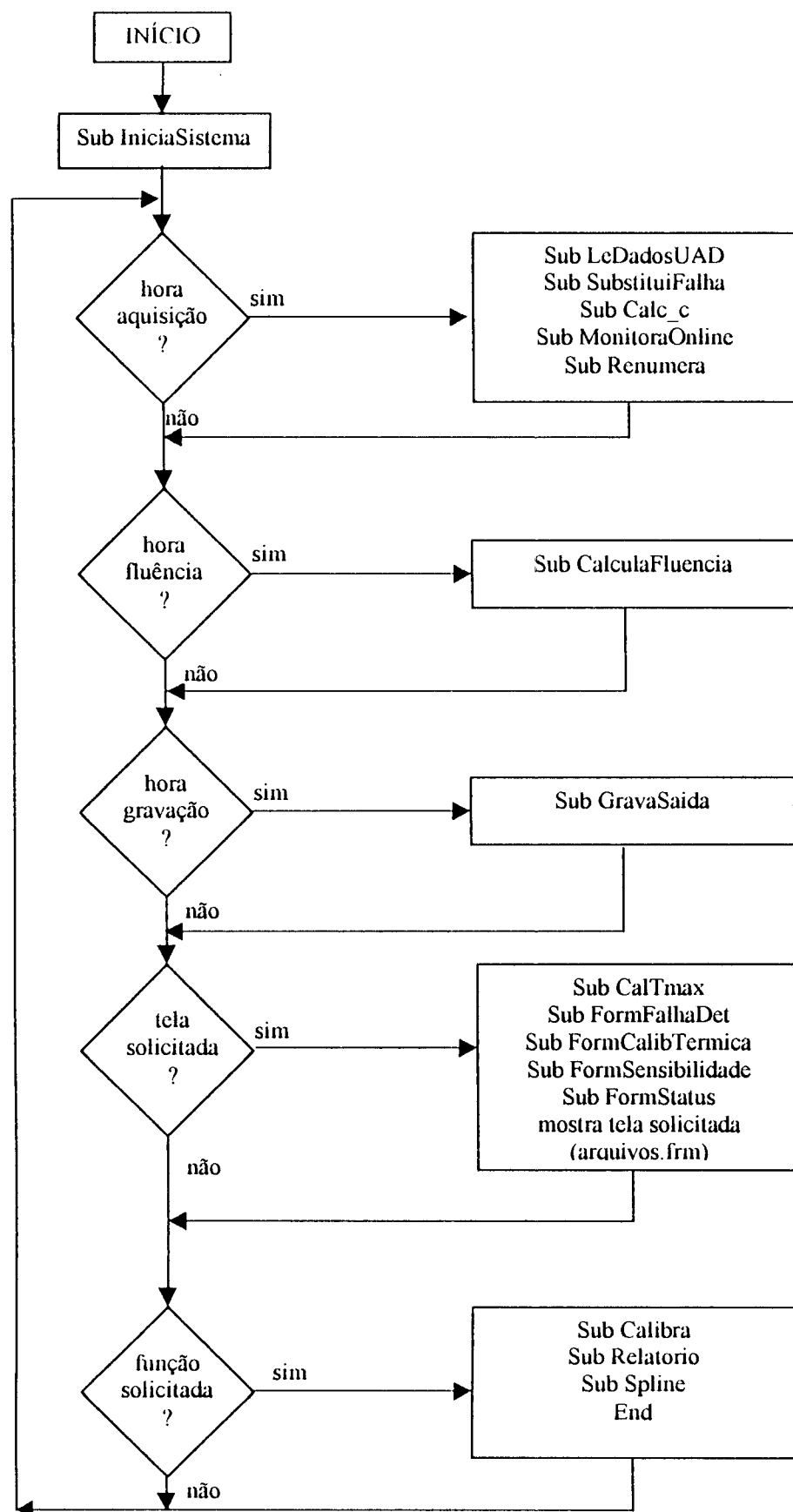


Figura 5.35 - Fluxograma funcional do software

Sub LeDadosUAD

Esta subrotina é a primeira rotina executada dentro do ciclo do tempo de aquisição e compreende as seguintes ações:

- Leitura das correntes dos detectores
- Leitura das temperaturas do refrigerante na saída do núcleo
- Cálculo dos Fatores de Simetria de acordo com a equação (33)
- Leitura dos dados de processo, como a vazão do refrigerante e as temperaturas de entrada e saída no núcleo do reator.

Nesta versão do programa os dados não são lidos da UAD, mas de arquivos com dados simulados.

Sub SubstituiFalha

Esta subrotina é executada a cada aquisição com as seguintes funções:

- Armazenar na memória os valores lidos de corrente
- Verificar se existe detector com falha, identificando-o
- Calcular o valor médio das correntes do feixe excluindo o detector falho
- Substituir o valor da corrente do detector falho pelo valor médio dos detectores deste feixe
- Atribuir a cor vermelha para o feixe que apresentar detector falho no formulário de Seleção de Detectores para apresentação das correntes

Sub Calcula c

Esta subrotina também é executada a cada ciclo de aquisição e executa as seguintes funções:

- Efetua a correção da corrente para eliminar a parcela devido a nêutrons epitérmicos e à radiação gama e calcular o fluxo, de acordo com a equação (3)
- Calcula os valores de potência ainda não normalizados para as posições instrumentadas com ródio de acordo com as equações (30) e (31)
- Calcula os valores de potência ainda não normalizados para as posições instrumentadas com platina através dos fatores de simetria, de acordo com as equações (34) e (35)
- Calcula o fator de normalização (c) instantâneo de acordo com a equação (39)
- Calcula os valores da densidade linear para as posições instrumentadas com ródio utilizando o valor de c instantâneo (chamado de novo c), somente para a apresentação na tela de status de acordo com as equações (41) e (42)

Sub MonitoraOnLine

Esta subrotina é executada a cada aquisição e tem as funções de:

- Calcular densidade linear de potência das posições instrumentadas com platina, de acordo com a equação (44)
- Calcular a densidade linear de potência das posições instrumentadas com ródio de acordo com a equação (45)
- Calcular o valor da potência gerada em cada elemento combustível
- Calcular o valor do fluxo na posição de cada detector e o fluxo médio de cada elemento
- Determinar o fator de pico e identificar o elemento e a cota de sua ocorrência
- Atribuir cor amarela na posição do fator de pico nos formulários Densidade, Potência e Fluxo
- Calcular o valor de "axial off set"
- Carregar os dados dos formulários Densidade, Fluxo e Potência

Sub CalculaFluencia

Esta subrotina executa as seguintes funções, em ciclo pré definido pelo programa:

- Calcula a fluência em todas as posições instrumentadas, a cada 2 horas
- Grava os dados no arquivo de fluências

Sub GravaSaida

Esta subrotina é executada em ciclo definido pelo usuário no formulário Tempos, e tem as seguintes funções:

- Gravar os valores das densidades lineares em arquivo para apresentação do gráfico de tendência
- Gravar os valores da potência térmica e da corrente de um detector de ródio para a verificação da estabilidade do reator no formulário Calibração

Sub CalculaTMax

Esta subrotina está associada ao formulário TEMPERATURA e tem a função de:

- Determinar o elemento que apresenta a temperatura máxima e o seu valor
- Atribuir a cor amarela para o elemento com a maior temperatura
- Carregar os dados do formulário temperatura

FormFalhaDet

Esta subrotina é responsável por:

- Limpar indicação de detector falho da apresentação anterior do formulário de corrente
- Carregar os valores da corrente lida pelo sistema no campo Valor UAD
- Carregar os valores da corrente lida ou da corrente corrigida se for o caso de um detector falho no campo Valor Corrigido
- Atribuir cor vermelha no campo Valor UAD do detector falho

Sub FormCalibTermica

Carrega os dados no formulário Calibração sempre que este é solicitado pelo usuário.

Sub FormSensibilidade

Carrega os dados no formulário Sensibilidade sempre que este é solicitado pelo usuário.

Sub Form Status

Carrega os dados no formulário Status sempre que este é solicitado pelo usuário.

Sub Calibra

Esta subrotina é executada sob o comando do usuário no formulário de Calibração.

- Atribui o valor instantâneo do fator de normalização (novo c) para o fator de normalização (c) efetivamente utilizado nos cálculos
- Calcula o valor da densidade linear de potência para as posições instrumentadas com platina, utilizando o novo fator de normalização e a potência não normalizada (determinada pelo sinal de rádio e pelo fator de simetria), de acordo com as equações (41) e (42).
- Calcula os fatores de calibração para as posições instrumentadas com platina de acordo com a equação (43)
- Grava os novos valores dos fatores de normalização e calibração em arquivos

Sub Relatorio

Esta subrotina define o formato dos relatórios impressos.

Sub Renumera

Esta subrotina executa as seguintes conversões:

- da numeração do feixe de detectores para a numeração da posição dos elementos combustíveis
- da numeração dos elementos combustíveis para a numeração do feixe
- da numeração do feixe de detectores para a coordenada do feixe.

Sub Spline

Esta subrotina é executada sempre que o relatório do mapeamento de fluxo é solicitado e tem a função de extrapolar o fluxo para o número de nós definido pelo programa. Nesta versão do software a extrapolação é feita para 11 nós em cada elemento combustível.

Timer1 Timer

Executa as rotinas LeDadosUAD, CalculaTmax, SubstituirFalha, Corrente, MonitoraOnLine, FormFalhaDet, CalibTermica e Status, dentro do ciclo tempo de aquisição

Timer2 Timer

Executa a rotina CalculaFluencia dentro do ciclo de 1 hora. Nesta versão está ajustado para 5 segundos

Timer3 Timer

Executa a rotina GravaSaida dentro do ciclo tempo de gravação

6. RESULTADOS

Conforme mencionado no capítulo 3, para consolidação e testes do programa desenvolvido, foram simulados sinais de detectores SPDs de um núcleo, baseado em dados de mapeamento de fluxo e cálculo da distribuição de potência apresentados nas referências /27/ e /28/. O experimento descrito nas referências foi realizado à potência de 192,98 W, sendo a distribuição espacial do fluxo de nêutrons térmicos nos 27 elementos combustíveis padrão determinada através de medidas de taxas de reação com folhas de Au, e a potência nos 4 elementos combustíveis de controle estimada. Devido a necessidade de se trabalhar com um núcleo simétrico, consideramos apenas os dados dos 25 elementos combustíveis, indicados na figura 3.2, responsáveis por 165 W da potência gerada no núcleo.

Na tabela 6.1, são apresentados os valores de fluxo da referência /27/ e na tabela 6.2, os dados nucleares da referência /28/ e o parâmetro nuclear "seção de choque" utilizado neste trabalho. A indicação entre parênteses da coluna "Posição do elemento" da tabela 6.2 permite visualizar a simetria existente entre os elementos indicados como RhXX e Pt XX. Para os cálculos do elemento central C3 determinamos o fator de simetria em relação aos elementos vizinhos B3 e C2.

Os valores da temperatura do refrigerante na saída de cada elemento combustível, da vazão e da temperatura do refrigerante na entrada e saída do núcleo foram estimados utilizando-se os valores de potência calculados na referência /28/. A tabela 6.3 apresenta os valores da diferença de temperatura na entrada e saída de cada elemento combustível utilizados neste programa e os valores dos fatores de simetria calculados, segundo a equação (33).

A corrente simulada no detector foi obtida da seguinte forma: inicialmente os pontos experimentais da referência /27/ foram ajustados utilizando-se a técnica de "cubic spline" para se determinar o valor do fluxo na posição dos detectores. O resultado foi integrado considerando-se a altura ativa do detector, e depois multiplicado pela

sensibilidade do detector, assumida como sendo igual a $7.68 \text{ E } -21 \text{ A/(n cm}^2\text{s)}$, com base na referência /6/. Devido à corrente muito pequena obtida nesta simulação, multiplicamos este resultado por um fator 1000, de maneira a tornar a corrente obtida compatível com a eletrônica utilizada e consequentemente considerando a potência do reator igual a 165 kW. A Tabela 6.4 apresenta os valores finais das correntes consideradas para cada detector.

Uma vez estabelecido os valores dos sinais dos detectores simulados, o programa desenvolvido foi utilizado para, a partir dos dados da tabela 6.4, fornecer os valores da potência em cada elemento combustível, conforme ilustrado na figura 5.21. A tabela 6.5 mostra, além dos valores de potência obtidos, a diferença percentual observada em relação aos resultados obtidos pela metodologia da referência /28/.

Outros valores calculados pelo programa foram: a fluência na posição de cada detector, a densidade de potência, densidade relativa e o fluxo neutrônico, para cada nó, a densidade de potência e o fluxo médio em cada elemento, e fatores globais como fluxo médio no reator, fator de pico e axial off-set. Estes resultados são mostrados nas telas ilustradas nas figuras 5.3, 5.13, 5.22 e nos relatórios das figuras 5.6 a 5.10.

Em termos de resultados, o fluxo médio de nêutrons térmicos calculado foi de $1.43 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2\text{s}$, o que indica uma diferença menor que 9% em relação ao valor de $1.56 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{s}$ obtido na referência /27/.

A tabela 6.6 apresenta os valores de fluxo médio obtido pelo Programa de Supervisão In-Core, os valores da referência /27/ multiplicados pelo fator 1000 e a diferença encontrada, cujo valor máximo foi de 4%; e a tabela 6.7 apresenta uma comparação entre os valores do maior fluxo relativo em cada elemento obtidos neste trabalho e os da referência /27/ normalizados para os elementos aqui utilizados.

O fator de pico encontrado foi de 2.28 na cota 42 cm do elemento D3. O maior valor de fluxo relativo (ou seja $\Phi_{\text{nó}}/\Phi_{\text{núcleo}}$) foi de 1.99 na cota 30 cm do elemento E4. A posição de maior fluxo é o mesmo da referência /27/, no entanto o valor não coincide, pois no nosso reator não consideramos alguns elementos combustíveis.

Uma vez verificado o funcionamento do programa considerando os valores de corrente da tabela 6.4, simulamos falha de 2 detectores para observar como o programa identifica as falhas e gera valores interpolados para substituir os valores considerados inválidos. Inicialmente analisamos uma falha no detector de uma posição qualquer, como na cota 18 cm da posição B3, isto é, substituímos o valor original $I = 1.04 \times 10^{-8}$ A por uma corrente alta, simulando uma perda de resistência da isolação do detector. Como ilustrado pelas figura 5.30 e 5.31, o programa detecta a falha e efetua a substituição do valor identificado como não válido. De acordo com a indicação da figura 6.1, observamos que o valor interpolado apresenta um desvio de 36% inferior em relação ao valor calculado sem considerarmos a falha do detector.

Simulando uma falha no detetor onde ocorre o fator de pico, o programa identifica a falha e efetua a substituição do valor não válido por um valor interpolado, conforme mostrado na figura 6.2. O valor que originalmente deveria ser 1393 watts/cm, ao ser interpolado resulta em 883 watts/cm, como indicado em destaque na figura 6.3, o que representa um desvio de 37% em relação ao valor original. Devemos destacar que devido ao algoritmo simples de interpolação, o resultado apresenta um desvio significativo.

Utilizando um PC com as características mencionadas no capítulo 3, o programa desenvolvido atualiza os dados na tela e em arquivos, em ciclos de até 5 milisegundos. Para esta avaliação, os valores de Tempo de Aquisição e Tempo de Gravação foram ajustados em 1 milissegundo e analisamos o arquivo de saída de históricos, tendo obtido 200 registros em 1 segundo, o que equívale a um tempo de processamento (leitura de dados, cálculos e gravação) de 5 milisegundos.

Vale ressaltar que em sistemas reais, o tempo de atualização dos dados se deve principalmente ao tempo de comunicação da Unidade de Aquisição de Dados com a Unidade de Supervisão, que é da ordem de 50 milisegundos.

Tabela 6.1 - Distribuição espacial do fluxo de nêutrons obtido da referência /27/

PosEC	Fluxo de nêutrons (10^8 n/cm ² s) em cada cota									
	Média	1,5	8,5	15,5	22,5	29,5	36,5	43,5	50,5	57,5
A1	12,08	5,56	7,59	10,67	14,07	-	15,50	14,63	11,33	7,90
A2	15,77	7,11	8,83	13,71	16,41	22,00	22,21	18,89	15,11	11,97
A3	14,95	7,28	7,69	10,80	17,33	22,44	20,93	17,65	14,93	10,45
A4	15,25	5,61	8,40	13,50	18,05	21,42	18,7	19,48	14,66	10,44
A5	9,99	5,89	5,71	8,76	-	12,84	14,30	11,50	9,45	6,39
B1	14,69	7,82	8,84	13,17	16,64	19,83	18,16	17,71	14,36	9,65
B2 *	16,12	7,20	7,90	14,52	17,65	21,19	22,28	21,13	17,04	13,6
B3	16,29	4,90	5,44	10,55	-	18,82	-	24,37	20,30	18,18
B4 *	16,20	5,11	7,30	13,39	17,49	20,52	23,07	22,31	18,50	14,84
B5	17,34	3,71	10,30	15,06	20,43	24,10	23,59	20,91	16,57	10,65
C1	13,69	6,72	9,32	-	14,60	17,66	17,91	15,28	12,76	9,90
C2	17,19	7,41	8,64	7,36	20,05	22,21	23,17	20,73	16,63	12,58
C3	13,90	6,46	6,42	11,34	15,97	19,93	18,63	-	13,96	9,76
C4	16,35	7,18	6,96	11,37	16,53	20,90	-	20,98	20,26	16,64
C5	19,26	8,07	9,52	15,68	19,36	26,3	29,87	22,47	20,93	15,4
D1	17,82	7,13	10,45	15,16	17,96	21,84	-	23,56	19,19	13,45
D2 *	15,96	6,46	7,64	12,35	17,03	20,94	21,71	21,76	18,76	14,06
D3	16,86	5,06	2,64	10,14	19,69	23,54	24,51	22,79	21,69	13,39
D4 *	16,56	5,60	5,00	11,54	19,48	23,46	23,97	21,88	20,24	14,71
D5	14,64	3,21	4,65	10,22	17,68	21,86	20,51	19,32	15,2	11,01
E1	11,4	5,65	7,48	10,61	-	15,13	15,50	11,78	11,03	7,45
E2	15,87	5,92	9,12	13,87	18,07	21,57	20,91	19,36	-	10,63
E3	14,51	7,35	7,35	11,33	16,27	20,03	18,52	18,2	15,26	10,09
E4	20,51	7,14	11,94	-	22,03	25,32	26,95	24,33	-	15,76
E5	9,35	4,40	5,12	7,61	9,62	11,29	-	12,64	9,85	7,87

* obtidos por interpolação dos elementos vizinhos

Tabela 6.2 - Parâmetros nucleares utilizados para os cálculos de potência

Posição do Elemento	** Inverso do Fator de Desvantagem Térmica	** Seção de Choque de Fissão (10^{-2} cm^{-1})	** Fator de Fissão Rápida	*** Parâmetro Nuclear "Seção de Choque" (cm^{-1})
E1(=Rh1)	1,0100	2,8839	1,0481	3,02E-02
E3(=Rh2)	1,0086	3,2119	1,0582	3,40E-02
E5(=Rh3)	1,0103	4,5743	1,0726	4,91E-02
D2(=Rh4)*	1,0090	3,3337	1,0596	3,57E-02
D4(=Rh5)*	1,0090	3,3337	1,0596	3,57E-02
C5(=Rh6)	1,0086	3,3378	1,0596	3,54E-02
C2(=Rh7)	1,0100	4,2115	1,0684	4,50E-02
B1(=Rh8)	1,0088	3,2434	1,0585	3,43E-02
B3(=Rh9)	1,0103	4,4941	1,0716	4,82E-02
B5(=Rh10)	1,0080	2,8737	1,0489	3,01E-02
A2(=Rh11)	1,0080	2,9047	1,0484	3,05E-02
A4(=Rh12)	1,0080	2,8691	1,0478	3,01E-02
A1(=Pt1)	1,0080	2,9217	1,0488	3,06E-02
A3(=Pt2)	1,0088	3,2094	1,0581	3,40E-02
A5(=Pt3)	1,0086	4,5715	1,0725	4,90E-02
B2(=Pt4)*	1,0090	3,3337	1,0596	3,57E-02
B4(=Pt5)*	1,0090	3,3337	1,0596	3,57E-02
C1(=Pt6)	1,0103	4,4718	1,0714	4,79E-02
C4(=Pt7)	1,0103	4,5071	1,0718	4,83E-02
D1(=Pt8)	1,0080	2,9037	1,0518	3,05E-02
D3(=Pt9)	1,0103	4,5106	1,0718	4,83E-02
D5(=Pt10)	1,0080	2,8728	1,0479	3,01E-02
E2(=Pt11)	1,0080	2,8927	1,0482	3,03E-02
E4(=Pt12)	1,0080	2,9356	1,0489	3,08E-02
C3(=Pt13)	1,0090	3,3337	1,0596	3,53E-02

* estimado por interpolação

** parâmetros nucleares utilizados na referência /28/

*** parâmetro nuclear utilizado neste trabalho

Tabela 6.3 - Valores simulados da temperatura do refrigerante na saída de cada elemento e do fator de simetria

Posição com Pt	T _f (° C)	Posição Simétrica	T _f (° C)	Fator de Sime tria	
A1(=Pt1)	34.47	E1(=Rh1)	34.17	w(21,1)	1,08
A3(=Pt2)	36.14	E3(=Rh2)	35.96	w(23,3)	1,03
A5(=Pt3)	35.92	E5(=Rh3)	35.56	w(25,5)	1,06
B2(=Pt4)	35.82	D2(=Rh4)	35.82	w(17,7)	1,00
B4(=Pt5)	35.82	D4(=Rh5)	35.82	w(19,9)	1,00
C1(=Pt6)	37.94	C5(=Rh6)	38.24	w(15,11)	0,96
C4(=Pt7)	39.57	C2(=Rh7)	39.37	w(12,14)	1,02
D1(=Pt8)	36.58	B1(=Rh8)	36.10	w(6,16)	1,08
D3(=Pt9)	39.87	B3(=Rh9)	39.50	w(8,18)	1,04
D5(=Pt10)	35.33	B5(=Rh10)	36.32	w(10,20)	0,84
E2(=Pt11)	35.82	A2(=Rh11)	35.80	w(2,22)	1,00
E4(=Pt12)	37.63	A4(=Rh12)	35.54	w(4,24)	1,37
C3(=Pt13)	35.94	C2(=Rh7)	39.37	w(7,13)	0,63
		B3(=Rh9)	39.50	w(9,13)	0,63

Tabela 6.4 - Valores simulados de corrente dos SPDs

Posição do Elemento	Corrente em Ampères				
	cota 6 cm	cota 18 cm	cota 30 cm	cota 42 cm	cota 54 cm
E1(=Rh1)	5,65E-09	9,9E-09	1,3E-08	1,08E-08	8,51E-09
E3(=Rh2)	5,86E-09	1,11E-08	1,69E-08	1,56E-08	1,09E-08
E5(=Rh3)	3,92E-09	7,16E-09	9,74E-09	1,09E-08	7,31E-09
D2(=Rh4)	4,89E-09	1,11E-08	1,67E-08	1,45E-08	1,03E-08
D4(=Rh5)	4,89E-09	1,11E-08	1,67E-08	1,45E-08	1,03E-08
C5(=Rh6)	6,95E-09	1,45E-08	2,28E-08	2,07E-08	1,66E-08
C2(=Rh7)	5,79E-09	1,6E-08	1,9E-08	1,83E-08	1,24E-08
B1(=Rh8)	6,78E-09	1,23E-08	1,67E-08	1,52E-08	1,02E-08
B3(=Rh9)	3,91E-09	1,04E-08	1,64E-08	2,08E-08	1,59E-08
B5(=Rh10)	7,04E-09	1,45E-08	2,05E-08	1,84E-08	1,17E-08
A2(=Rh11)	6,5E-09	1,25E-08	1,88E-08	1,68E-08	1,15E-08
A4(=Rh12)	6,01E-09	1,29E-08	1,8E-08	1,65E-08	1,02E-08
A1(=Pt1)	6,49E-10	1,15E-09	1,49E-09	1,43E-09	9,08E-10
A3(=Pt2)	7,1E-10	1,24E-09	2,14E-09	1,76E-09	1,25E-09
A5(=Pt3)	5,08E-10	9,26E-10	1,25E-09	1,17E-09	7,89E-10
B2(=Pt4)	5,5E-10	1,25E-09	1,88E-09	1,63E-09	1,16E-09
B4(=Pt5)	5,5E-10	1,25E-09	1,88E-09	1,63E-09	1,16E-09
C1(=Pt6)	8,1E-10	1,22E-09	1,7E-09	1,53E-09	1,1E-09
C4(=Pt7)	6,2E-10	1,27E-09	2,01E-09	2,03E-09	1,82E-09
D1(=Pt8)	8,57E-10	1,56E-09	2,12E-09	2,3E-09	1,57E-09
D3(=Pt9)	2,12E-10	1,37E-09	2,27E-09	2,23E-09	1,8E-09
D5(=Pt10)	3,41E-10	1,28E-09	2,08E-09	1,88E-09	1,23E-09
E2(=Pt11)	7,41E-10	1,48E-09	2,06E-09	1,89E-09	1,34E-09
E4(=Pt12)	9,72E-10	1,83E-09	2,45E-09	2,41E-09	1,66E-09
C3(=Pt13)	5,5E-10	1,25E-09	1,88E-09	1,63E-09	1,16E-09

Tabela 6.5 - Potência média nos elementos

Posição do Elemento	Potência Média no Elemento (kW)		Diferença (%)
	Calculado neste trabalho	Referência /28/ x 1000	
E1(=Rh1)	4,18	4,17	0,24
E3(=Rh2)	5,93	5,96	-0,50
E5(=Rh3)	5,54	5,56	-0,36
D2(=Rh4)	5,93	5,82	1,89
D4(=Rh5)	5,93	5,82	1,89
C5(=Rh6)	8,34	8,24	1,21
C2(=Rh7)	9,30	9,37	-0,75
B1(=Rh8)	6,07	6,10	-0,49
B3(=Rh9)	9,39	9,50	-1,16
B5(=Rh10)	6,29	6,32	-0,47
A2(=Rh11)	5,82	5,80	0,34
A4(=Rh12)	5,53	5,54	-0,18
A1(=Pt1)	4,48	4,47	0,22
A3(=Pt2)	6,11	6,14	-0,49
A5(=Pt3)	5,90	5,92	-0,34
B2(=Pt4)	5,93	5,82	1,89
B4(=Pt5)	5,93	5,82	1,89
C1(=Pt6)	8,04	7,94	1,26
C4(=Pt7)	9,50	9,57	-0,73
D1(=Pt8)	6,55	6,58	-0,46
D3(=Pt9)	9,75	9,87	-1,22
D5(=Pt10)	5,30	5,33	-0,56
E2(=Pt11)	5,84	5,82	0,34
E4(=Pt12)	7,61	7,63	-0,26
C3(=Pt13)	5,88	5,94	-1,01

Tabela 6.6 - Fluxo médio nos elementos

Posição do Elemento	Fluxo Médio no Elemento ($10^{12}n/cm^2s$)		Diferença (%)
	Calculado neste trabalho	Referência /27/ x 1000	
E1(=Rh1)	1,10	1,14	-3,51
E3(=Rh2)	1,39	1,45	-4,14
E5(=Rh3)	0,90	0,94	-4,26
D2(=Rh4)	1,33	1,35	-1,48
D4(=Rh5)	1,33	1,35	-1,48
C5(=Rh6)	1,88	1,93	-2,59
C2(=Rh7)	1,65	1,72	-4,07
B1(=Rh8)	1,41	1,47	-4,08
B3(=Rh9)	1,55	1,63	-4,91
B5(=Rh10)	1,66	1,73	-4,05
A2(=Rh11)	1,52	1,58	-3,80
A4(=Rh12)	1,47	1,53	-3,92
A1(=Pt1)	1,17	1,21	-3,31
A3(=Pt2)	1,43	1,50	-4,67
A5(=Pt3)	0,96	1,00	-4,00
B2(=Pt4)	1,33	1,35	-1,48
B4(=Pt5)	1,33	1,35	-1,48
C1(=Pt6)	1,34	1,37	-2,19
C4(=Pt7)	1,57	1,64	-4,27
D1(=Pt8)	1,71	1,78	-3,93
D3(=Pt9)	1,61	1,69	-4,73
D5(=Pt10)	1,40	1,46	-4,11
E2(=Pt11)	1,54	1,59	-3,14
E4(=Pt12)	1,97	2,05	-3,90
C3(=Pt13)	1,33	1,39	-4,32

Tabela 6.7 - Comparação dos valores de fluxo relativo máximo * em cada EC

Feixe com SPDs de ródio					Feixe com SPDs de platina				
EC	max (Φ_{rel}) ref /27/	max** (Φ_{rel}) ref /27/ normal.	max (Φ_{rel}) este trabalho	Difer. %	EC	max (Φ_{rel}) ref /27/	max** (Φ_{rel}) ref /27/ normal.	max (Φ_{rel}) este trabalho	Difer. %
E1(=Rh1)	1	1,07	1,06	-0,66	A1(=Pt1)	1	1,07	1,13	5,22
E3(=Rh2)	1,28	1,37	1,39	1,58	A3(=Pt2)	1,44	1,54	1,43	-6,91
E5(=Rh3)	0,81	0,87	0,90	2,89	A5(=Pt3)	0,92	0,98	0,95	-2,95
D2(=Rh4)	-	-	1,37	-	B2(=Pt4)	-	-	1,37	-
D4(=Rh5)	-	-	1,37	-	B4(=Pt5)	-	-	1,37	-
C5(=Rh6)	1,69	1,81	1,87	3,16	C1(=Pt6)	1,15	1,23	1,33	8,02
C2(=Rh7)	1,49	1,59	1,57	-1,48	C4(=Pt7)	1,35	1,44	1,49	3,44
B1(=Rh8)	1,27	1,36	1,37	0,78	D1(=Pt8)	1,51	1,61	1,66	3,37
B3(=Rh9)	1,56	1,67	1,71	2,17	D3(=Pt9)	1,57	1,68	1,77	5,31
B5(=Rh10)	1,55	1,66	1,68	1,10	D5(=Pt10)	1,4	1,50	1,42	-5,36
A2(=Rh11)	1,41	1,51	1,54	1,88	E2(=Pt11)	1,36	1,45	1,55	7,07
A4(=Rh12)	1,37	1,46	1,48	1,06	E4(=Pt12)	1,73	1,85	1,99	7,35
					C3(=Pt13)	1,26	1,35	1,34	-1,06

* fluxo máximo no elemento dividido pelo fluxo médio no núcleo

** fluxo da referência /27/ para os elementos utilizados neste trabalho

Relatório - Distribuição da Densidade de Potência						
13/10/98 17:53:57						
DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA (em watts/cm)						
EC	cota 6cm	cota 18cm	cota 30cm	cota 42cm	cota 54cm	média
A1	243	426	560	465	366	412
A2	263	506	761	680	465	535
A3	273	516	786	726	507	562
A4	240	515	719	659	407	508
A5	272	497	676	756	507	542
B1	309	561	762	693	465	558
B2	232	526	792	687	488	545
B3	250	912	1049	1331	1017	912
B4	232	526	792	687	488	545
B5	282	581	821	737	468	578
C1	315	657	1032	937	752	739
C2	346	957	1136	1094	741	855
C3	188	588	688	763	553	556
C4	354	977	1160	1117	757	873
C5	327	681	1071	973	780	766
D1	334	605	822	748	502	602
D2	232	526	792	687	488	545
D3	260	947	1090	1383	1057	947
D4	232	526	792	687	488	545
D5	238	490	692	621	395	487
E1	227	398	522	434	342	384
E2	264	507	763	682	467	537
E3	265	501	763	704	492	545
E4	331	710	990	908	561	700
E5	255	467	635	710	476	509

Fator de Pico: 2.26
Elemento: D3 cota: 42 cm

Visualizar Relatório Imprimir Salvar

Figura 6.1 - Relatório da distribuição de densidade de potência com falha no detector da cota 18 cm do elemento B3

Corrente dos Detetores

CORRENTE DOS DETETORES

Valores Lidos (A)	Elemento D3	Valores Corrigidos (A)
2.12E-10	Cota 6 cm	2.12E-10
1.37E-09	Cota 18 cm	1.37E-09
2.27E-09	Cota 30 cm	2.27E-09
[REDACTED]	Cota 42 cm	1.41E-09
1.80E-09	Cota 54 cm	1.80E-09

Seleção do feixe: D3 OK

Selecione outro elemento SAIR

Comentários

O sinal dos detetores falhos foram substituídos por interpolação

O retângulo em vermelho [REDACTED] indica posição com detetor falho

13/10/98 17:37:48

Figura 6.2 - Tela apresentando a correção do valor de corrente da cota 42 cm do elemento D3

Relatório - Distribuição da Densidade de Potência						
13/10/98 17:40:11						
DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA (em watts/cm)						
EC	cota 6cm	cota 18cm	cota 30cm	cota 42cm	cota 54cm	média
A1	245	429	564	469	369	415
A2	265	510	766	685	469	539
A3	275	520	792	731	511	566
A4	242	519	724	664	410	512
A5	274	501	681	762	511	546
B1	312	565	767	699	469	562
B2	234	530	798	693	492	549
B3	252	670	1057	850	1025	771
B4	234	530	798	693	492	549
B5	284	585	827	742	472	582
C1	317	662	1040	944	757	744
C2	349	964	1145	1102	747	861
C3	189	515	693	769	557	545
C4	356	984	1169	1126	763	880
C5	329	687	1080	980	786	772
D1	336	610	828	754	506	607
D2	234	530	798	693	492	549
D3	262	697	1099	883	1065	801
D4	234	530	798	693	492	549
D5	240	493	698	626	398	491
E1	229	401	526	437	344	387
E2	266	511	769	687	470	541
E3	267	505	769	710	496	549
E4	333	715	998	914	565	705
E5	257	470	640	716	480	513

Fator de Pico: 1,94
Elemento: C4 cota: 30 cm

Visualizar Relatório Imprimir Sair

Figura 6.3 - Relatório da distribuição de densidade de potência com falha no detector da cota 42 cm do elemento D3 (local do fator de pico)

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados preliminares, podemos concluir de uma forma geral que a metodologia proposta apresenta um desempenho satisfatório, uma vez que consegue reproduzir o fluxo médio e os fatores de pico determinados na referência /27/, com desvios inferiores a 3 % e 9 % respectivamente, embora tenha apresentado, sistematicamente, valores mais baixos nas extremidades superior e inferior do núcleo. Para o programa de supervisão do núcleo, esta diferença está a favor da segurança. No caso de assimetrias muito acentuadas, devemos introduzir fatores analíticos para correção. De qualquer forma, o programa atende aos requisitos básicos para um sistema de monitoração, uma vez que estudos realizados com o Sistema de Monitoração "on line" da distribuição de potência (PDMS) /43/ desenvolvido na França, recomendam que a precisão associada às densidades lineares sejam inferiores a 10%, e a monitoração "on line" seja computada a cada 10 segundos, a fim de garantir a integridade das varetas combustíveis.

O sistema proposto permite a medida direta da fluência através da corrente integrada do detector e a monitoração direta do fator de pico, permitindo um aumento nas margens de operação bem como melhorias na otimização do gerenciamento do núcleo, resultando em economia e segurança.

O trabalho cumpriu uma fase do projeto nacional de um sistema de detecção interno para supervisão do núcleo de reatores nucleares. Embora existam fornecedores internacionais, é essencial o amplo entendimento dos processos envolvidos e o completo domínio das soluções implementadas.

Neste trabalho, construiu-se uma ferramenta que possibilita decisões importantes de projeto, como a avaliação da Interface Homem-Máquina, a completeza das funções implementadas, a metodologia de cálculo e tempos envolvidos no processamento.

Cabe aos trabalhos futuros, a implementação do módulo de comunicação com o campo e a introdução de melhorias no sistema, tanto na adequação dos cálculos

através de acoplamentos "on-line" com códigos de neutrônica e de termo-hidráulica, na validação dos sinais, nos algoritmos de substituição de detectores falhos, como na otimização do software.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - HINCHLEY, E.; KUGLER, G. *On-line Control of the CANDU - PWR Power Distribution*. Ontario: 1975. (AECL-5045)
- 02 - BABCOCK & WILCOX. *Prompt / Delayed Incore Detector - In-Reactor Demonstration*. Lynchburg, Virginia: March 1986. 9RDD:86:4800:01).
- 03 - BÖCK, H. Miniature Detectors for Reactor Incore Neutron Flux Monitoring. *Atomic Energy Review*, v.14, n.1, p. 87-132, 1976.
- 04 - TODT SR., W. H. Characteristics of Self-Powered Neutron Detectors used in Power Reactors. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR CORE ASSESSMENT, Oct 14-17, 1996, Mito-shi, Japan.
- 05 - SILVA, M.M. *Cálculo da sensibilidade térmica dos detectores auto-energizáveis de cobalto utilizando o método de Monte Carlo*. . São Paulo: 1991. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- 06 - SURKOV, VADIM. *Determinação da Sensibilidade de Detectores Auto Energizados (SPD)*. São Paulo: 1994. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- 07 - ROCHA, F.D.G. *Utilização de Detetores do Tipo "Self-Powered" no reator IEA-R1*. São Paulo: 1990. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

- 08 - KANTROWITZ, M. L. Kalman Filtering on Self-Powered Neutron Detectors. . In: SPECIALISTS' MEETING ON IN CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, Oct 1-4, 1991, Pittsburg, USA. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1992. p. 123 - 130.
- 09 - ALPELQVIST, G.; ANDERSSON, T.; MAGNUSSON, L. ROMSLO, K.. Radcal Gamma Thermometers - Performance Experience from Swedish Light Water Reactors. In: SPECIALISTS' MEETING ON IN CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, June 7-10, 1988, Cadarache, France. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1989. p. 262-270.
- 10 - WEISS, H. Experimental comparison between in-core gamma radiation and neutron flux distribution in a pressurized water reactor. *Atomkerenergie*, vol. 15, p. 249-254, 1970.
- 11 - PROCESS DATATEC S/C LTDA. *Noise Analysis* . Sorocaba: 1989.
- 12 - FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS SA. Sistema de Instrumentação Nuclear Interno. *Manual de Operação - Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto*, vol XV, PDS 15, 1979.
- 13 - DURYEA, J. L.; LUNZ, K.G.; MILLER, R. W. Core Monitoring Hardware: a cost/benefit review for backfits. In: SPECIALISTS' MEETING ON IN CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, Oct 1-4, 1991, Pittsburg, USA. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1992. p. 159 - 166.
- 14 - CACCIAPOUTI, R. J.; MORRISSEY, K. J.; PAULSON, R. C. Installation of fixed detector at Yankee. In: SPECIALISTS' MEETING ON IN CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, Oct 1-4, 1991, Pittsburg, USA. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1992. p. 153 - 158.
- 15 - LOISY, F.; HUBER, M.; JANVIER, M. Technology and Use of Gamma Thermometers. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, June 7-10, 1988, Cadarache, France. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1989. p. 271 - 277.

- 16 - DUCHENE, J. et al. Development of a "mixed incore system" (fixed and movable) based on subminiaturized fission chambers: description and first test results. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, June 7-10, 1988, Cadarache, France. *Proceedings* ... Paris: OECD, 1989. p. 345-350.
- 17 - BIGNA, G.; GUYARD, J.C. Direct Experimental Tests and Comparison Between Sub-Miniature Fission Chambers and SPND for Fixed In-Core Instrumentation of LWR. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR CORE ASSESSMENT, Oct 14-17, 1996, Mito-shi, Japan.
- 18 - LEYSE, R. H.; SMITH, R. D. Gamma Thermometer Developments for Light Water Reactors. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. NS-26, No. 1, February 1979.
- 19 - RAGHAVAN, R. et al. Application of the gamma thermometer as BWR fixed in core calibration system. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR CORE ASSESSMENT, Oct 14-17, 1996, Mito-shi, Japan.
- 20 - ERBEN, O.; FISER, V.; LEHMANN, M.; VRZAL, J.; BAJGL, J. A comment on measurement with self-powered neutron detectors. In: SPECIALISTS' MEETING ON IN CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, Oct 1-4, 1991, Pittsburg, USA. *Proceedings* ... Paris: OECD, 1992.
- 21 - PARENT, G.; SERDULA, K.J. Changes in the long-term delayed response of platinum self-powered detector with irradiation. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, June 7-10, 1988, Cadarache, France. *Proceedings* Paris: OECD, 1989. p. 345-350.
- 22 - GORSKI, J.P.; CACCIAPOUTI, R. J. Experience with Fixed Incore Detectors at Seabrook Station. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR CORE ASSESSMENT, Oct 14-17, 1996, Mito-shi, Japan.

- 23 - ANDERSSON, T. et al. On-line distribution monitoring with fixed in-core detectors at Ringhals2. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, June 7-10, 1988, Cadarache, France. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1989. p. 26 - 33.
- 24 - BANDA, L; AHLUWALIA, S. S. A Mini-fixed in-core detector assembly for reactor core monitoring. . In: SPECIALISTS' MEETING ON IN CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, Oct 1-4, 1991, Pittsburg, USA. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1992. p. 49 - 56.
- 25 - DIO, W.H.; GRUEN, A. Incore instrumentation systems for PWR core control and protection. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, June 7-10, 1988, Cadarache, France. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1989. p. 145 - 157.
- 26 - BOYD, W.A.; MILLEWR, R.W. The BEACON On-Line Core Monitoring System Functional Upgrades and Applications. In: OECD/NEANSC SPECIALIST'S MEETING ON IN-CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR CORE ASSESSMENT, Oct 14-17, 1996, Mito-shi, Japan.
- 27 - BITELLI, U. d'U., Medida da distribuição espacial do fluxo de nêutrons térmicos no núcleo do reator IEA-R1. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DE REATORES E TERMO-HIDRÁULICA. Caxambu, MG, 1993. *Anais ...* p. 124 - 127.
- 28 - BITELLI, U. d'U., Calibração de Potência do Reator IEA-R1 pelo Método de Ativação de Folhas de Ouro. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DE REATORES E TERMO-HIDRÁULICA. Caxambu, MG, 1993. *Anais ...* p. 128 - 131.
- 29 - CENTRO TECNOLÓGICO DA MARINHA EM SÃO PAULO. *Descrição da arquitetura de hardware do Sistema de Detecção Nuclear Interna*. RP11.01-2171-MI-02/00, 1992.

- 30 - STROIHL, C. E. *Desenvolvimento de um conjunto eletrômetro / amplificador e filtro para análise de ruído de reatores*. São Paulo: 1996. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- 31 - SURKOV, V.; SOARES, A. J. Determinação da sensibilidade de detectores auto-energizados. . In: V Congresso Geral de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, 28 de agosto - 2 de setembro, 1994, Rio de Janeiro. *Anais ...* p. 261 - 264.
- 32 - MESSAOUD, B. *Étude Expérimentale de Sensibilités de Collectrons au Rhodium Amélioration de la Precision et Extension aux Fluences et aux Flux Élevés*. Thèse présentée au Centre des Sciences et de la Technologie Nucléaire d'Alger. 1980.
- 33 - LAAKSONEN, T.; SAASTAMOINEN, J. Calculational studies of sensitivity characteristics and their burnup behavior for Rhodium Self-Powered Neutron Detectors. In: IAEA SPECIALISTS' MEETING ON "IN-CORE INSTRUMENTATION AND FAILED FUEL DETECTION AND LOCATION", May, 1974, Mississauga, Ontario, Canada. *Proceedings ...* AECL-5124.
- 34 - ADORJAN, F.; KERESZTURI, A.; MAKAI, M. Interpolation of Axial and Radial Power Distributions. In: TOPICAL MEETING ON REACTOR PHYSICS AND SHIELDING, Sep 17-19, 1989, Chicago, USA.
- 35 - MARCHUK, G.I. *Methods of Numerical Mathematics*. New York: Springer - Verlag, 1975.
- 36 - BOOR, C. de. *A Practical Guide to Splines*. New York: Springer - Verlag, 1978.
- 37 - MELLO, R. E. F. *Estudo Hidrotérmico do Caroço do Reator de Piscina IEA_R1 com Vistas ao Aumento de Potência*. São Paulo: 1970. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- 38 - LAMARSH, J. R. *Introduction to nuclear engineering*. Addison - Wesley Publishing Company, 1975.

- 39 - HIROMOTO, Y.; PASQUALETTO, H. Calibração de potência do reator IEA-R1 pelo método do balanço térmico. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DE REATORES E TERMO-HIDRÁULICA, 1997, Poços de Caldas, MG. *Anais ...* p. 723 - 728.
- 40 - McKELVY, M; MARTINSEN, R. *Usando Visual Basic 5*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.
- 41 - GUREWICH, N.; GUREWICH, O. *Aprenda em 21 dias Visual Basic 5*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.
- 42 - HOLZENER, S.; THE PETER NORTON COMPUTING GROUP. *Visual Basic for Windows Versão 3.0*. Rio de Janeiro: Editora Campos, 1994
- 43 - MATSUMOTO, J.; KOIKE, J. Evaluation of the uncertainty of axial power distribution measurement with a four-section ex core detector system. In: SPECIALISTS' MEETING ON IN CORE INSTRUMENTATION AND REACTOR ASSESSMENT, June 7-10, 1988, Cadarache, France. *Proceedings ...* Paris: OECD, 1989. p. 55 - 62.

ANEXO

LISTAGEM DO PROGRAMA

1. CalibTermica . frm

```
Private Sub MSChart1_ChartSelected(MouseFlags As Integer, Cancel As Integer)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Calibra
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
FormCalibTermica
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SairButton_Click()
```

```
ontelacalibracao = 0
```

```
CalibTermica.Hide
```

```
Densidade.Show
```

```
End Sub
```

2. ConfigFalha . frm

```
Private Sub CancelaButton_Click()
```

```
For i = 0 To 24
```

```
ConfigFalha.Text1(i).Enabled = True
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CorrenteButton_Click()
```

```
'Deixa todos os ECs válidos para o proximo carregamento
```

```
For i = 0 To 24
```

```
ConfigFalha.Text1(i).Enabled = True
```

```
Next i
```

```
ontelafalhadet = 1
```

```
Falhadet.Show
```

```
ConfigFalha.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SairButton_Click()
```

```
'ao sair, deixa os ECs válidos
```

```
For i = 0 To 24
```

```
ConfigFalha.Text1(i).Enabled = True
```

```
Next i
```

```
ConfigFalha.Hide
```

```
Densidade.Show
```

```
End Sub
```

```

Private Sub Text1_Click(Index As Integer)
Global Elemento as integer 'elemento=numero do EC selecionado
For i = 0 To 24
ConfigFalha.Text1(i).Enabled = False
Next i
ConfigFalha.Text1(Index).Enabled = True
elemento = Index
Text2.Text = Format$(elemento)
Falhadet.Text11.Text = coordenada(feixe(elemento))
Falhadet.Text13.Text = coordenada(feixe(elemento))
End Sub

```

3. Configuracao . frm

```

Private Sub Form_Load()
Text3.Text = Now
End Sub

Private Sub ImprimirButton_Click()
Configuracao.PrintForm
End Sub

Private Sub SairButton_Click()
ontelaconfiguracao = 0
Configuracao.Hide
Densidade.Show
End Sub

```

4. Densidade . frm

```

Private Sub IniciarAquisicao_Click()
Densidade.Timer1.Enabled = True

End Sub

Private Sub MenuCalibracao_Click()
ontelacalibracao = 1
CalibTermica.Show
End Sub

Private Sub CancelaImprButton_Click()
CancelaImprButton.Visible = False
ImprimirButton.Visible = False
End Sub

Private Sub EditarTempos_Click()
tempos.Show
End Sub

Private Sub ExitItem_Click()
'fecha todos os arquivos de gravação

Close #14
Close #15
Close #16

Inicial.Show

```

End Sub

Private Sub Form_Load()

contador = 1

Text8.Text = Now

CancelaImprButton.Visible = False

ImprimirButton.Visible = False

IniciaSistema

Renumerar

Open Directorio + "saidaq0.txt" For Output As #14

'Open Directorio + "saidaPtermica.txt" For Output As #15

Open Directorio + "saidac.txt" For Output As #16

LeDadosUAD

SubstituiFalha

Calcula_c

MonitoraOnLine

CalculaFluencia

If fImpressao = 1 Then

ImprimirButton.Visible = True

End If

End Sub

Private Sub ImprimirButton_Click()

Densidade.PrintForm

ImprimirButton.Visible = False

End Sub

Private Sub ImprimirTelaConfiguracao_Click()

ontelaconfiguracao = 1

Configuracao.ImprimirButton.Visible = True

Configuracao.Show

End Sub

Private Sub ImprimirTelaDensidade_Click()

Densidade.ImprimirButton.Visible = True

CancelaImprButton.Visible = True

End Sub

Private Sub ImprimirTelaFluxo_Click()

ontelafluxo = 1

Fluxo.ImprimirButton.Visible = True

plano = 0

Fluxo.Frame2.Visible = False

Fluxo.Show

End Sub

Private Sub ImprimirTelaPerfil3D_Click()

ontelaperfil3D = 1

Perfil3D.ImprimirButton.Visible = True

Perfil3D.Show

End Sub

Private Sub IniciarSistema_Click()

'Le parametros e dados anteriores armazenados

End Sub

```
Private Sub menurelatcalibracao_Click()
    tiporelatorio = 6
    RelatDensidade.Show
    RelatDensidade.Caption = "Relatório - Dados de Calibração"
End Sub
```

```
Private Sub MenurelatDensidade_Click()
    tiporelatorio = 1
    RelatDensidade.Show
    RelatDensidade.Caption = "Relatório - Densidade Média nos Elementos"
End Sub
```

```
Private Sub menurelatdistribuicao_Click()
    tiporelatorio = 2
    RelatDensidade.Show
    RelatDensidade.Caption = "Relatório - Distribuição da Densidade de Potência"
End Sub
```

```
Private Sub menurelatfluencia_Click()
    tiporelatorio = 4
    RelatDensidade.Show
    RelatDensidade.Caption = "Relatório - Fluência"
End Sub
```

```
Private Sub menurelatfluxo_Click()
    tiporelatorio = 3
    RelatDensidade.Show
    RelatDensidade.Caption = "Relatório - Mapeamento de Fluxo"
End Sub
```

```
Private Sub menurelatqrelativo_Click()
    tiporelatorio = 5
    RelatDensidade.Show
    RelatDensidade.Caption = "Relatorio Distribuição da Densidade Relativa"
End Sub
```

```
Private Sub MenuSecaodeChoque_Click()
    ontelasigma = 1
    For i = 0 To 24
        Sigmao.Text1(i).Text = Format$(Sigma(i), "0.00E-00")
        Sigmao.Text2(i).Text = Format$(Sigma(i), "0.00E-00")
    Next i
    Sigmao.Show
End Sub
```

```
Private Sub MenuSensibilidade_Click()
    ontelasensibilidade = 1
    elemento = 0
    Sensibilidade.Show
End Sub
```

```
Private Sub PararAquisicao_Click()
    Densidade.Timer1.Enabled = False
    Densidade.Timer2.Enabled = False
    Densidade.Timer3.Enabled = False
    Densidade.Timer4.Enabled = False
    Close #19
```

Close #15

Close #8

End Sub

Private Sub telaauxiliar_Click()

Auxiliar.Show

End Sub

Private Sub MenuConfiguracao_Click()

ontelaconfiguracao = 1

Configuracao.ImprimirButton.Visible = False

Configuracao.Show

End Sub

Private Sub MenuCorrente_Click()

ConfigFalha.Show

End Sub

Private Sub MenuFluencia_Click()

ontelafluencia = 1

Fluencia.Show

End Sub

Private Sub MenuFluxo_Click()

ontelafluxo = 1

Fluxo.ImprimirButton.Visible = False

plano = 0

Fluxo.Text9.Text = "valor médio"

Fluxo.Show

End Sub

Private Sub MenuPerfil_Click()

SelecPerfil.Show

End Sub

Private Sub MenuPerfil3D_Click()

ontelaperfil3D = 1

Perfil3D.ImprimirButton.Visible = False

Perfil3D.Show

End Sub

Private Sub MenuPotencia_Click()

ontelapotencia = 1

Potencia.Show

End Sub

Private Sub MenuStatus_Click()

feixe_Rh = 0

ontelastatus = 1

Status.Show

End Sub

Private Sub MenuTemperatura_Click()

ontelatemperatura = 1

Temperatura.Show

End Sub

Private Sub MenuTendencia_Click()

'Deixa todos os ECs válidos para o proximo carregamento

```

Tendencia.Text4.Text = coordenada(feixe(1))
ontelatendencia = 1
Tendencia.Show

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
'tempo setado para aquisicao
LeDadosUAD
SubstituiFalha
Spline
If ontelatemperatura = 1 Then
    CalculaTmax
End If
Calcula_c
'Calibra
MonitoraOnLine
If ontelaFalhadet = 1 Then
    FormFalhadet
End If

If ontelacalibracao = 1 Then
    FormCalibTermica
End If

If ontelastatus = 1 Then
    formStatus
End If

TimerFluencia = True

Print #19, Format(Time, "h:m"), Format$(I_det0(0), "0.00E-00")
Print #15, Now, Ptermica

End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
'tempo setado para calculo de fluencia
'default inicial = 5 seg

CalculaFluencia

End Sub

Private Sub Timer3_Timer()
'tempo setado para tempo de gravacao de q c Q e I_Rh2(1)
'que sao mostrados nas tendencias
'default inicial = 1 seg
'pode ser alterado pela tela tempos
GravaSaida

End Sub

Private Sub MenuVisualizar_Click()
tiporelatorio = 2
RelatDensidade.Show
End Sub

```

```

Private Sub Timer4_Timer()
    Atualizar o relógio de todos os forms
    Timer 4 = 1 segundo
    If ontelacalibracao = 1 Then
        CalibTermica.Text17.Text = Now
    End If

    If ontelaconfiguracao = 1 Then
        Configuracao.Text13.Text = Now
    End If

    Densidade.Text18.Text = Now

    If ontelaFalhadet = 1 Then
        Falhadet.Text14.Text = Now
    End If

    If ontelafluencia = 1 Then
        Fluencia.Text3.Text = Now
    End If

    If ontelafluxo = 1 Then
        Fluxo.Text8.Text = Now
    End If

    If ontelaperfil = 1 Then
        Perfil.Text2.Text = Now
    End If

    If ontelaperfil3D = 1 Then
        Perfil3D.Text1.Text = Now
    End If

    If ontelapotencia = 1 Then
        Potencia.Text8.Text = Now
    End If

    If ontelasensibilidade = 1 Then
        Sensibilidade.Text15.Text = Now
    End If

    If ontelasigma = 1 Then
        Sigmao.Text3.Text = Now
    End If

    If ontelastatus = 1 Then
        Status.Text21.Text = Now
    End If

    If ontelatemperatura = 1 Then
        Temperatura.Text5.Text = Now
    End If

    If ontelatendencia = 1 Then
        Tendencia.Text3.Text = Now
    End If
End Sub

```

5. Falhadet .frm

```

Private Sub Command8_Click()
Fluxo.Show
End Sub

Private Sub Command9_Click()
elemento=novoelemento
End Sub

Private Sub Form_Load()
FormFalhadet
End Sub

Private Sub HScroll2_Change()
valorbarra = HScroll2.Value
Text13.Text = coordenada(feixe(valorbarra))
End Sub

Private Sub NovaSelecao_Click()
ontelaFalhadet = 0
Falhadet.Hide
ConfigFalha.Show
End Sub

Private Sub OKButton_Click()
elemento = HScroll2.Value
Text11.Text = coordenada(feixe(elemento))
Falhadet.Show
End Sub

Private Sub SairButton_Click()
ontelaFalhadet = 0
Falhadet.Hide
Densidade.Show
End Sub

```

6. Fluencia .frm

```

Private Sub OKButton_Click()
plano = HScroll2.Value
Fluencia.Text4.Text = Format$(cotacm(plano - 1)) + "cm"
'mostra os dados da nova cota
If plano = 1 Then
    For i = 0 To 24
        Fluencia.Text1(i).Text = Format$(fluencia0(i), "0.00E-00")
    Next i
End If

If plano = 2 Then
    For i = 0 To 24
        Fluencia.Text1(i).Text = Format$(fluencia1(i), "0.00E-00")
    Next i
End If

If plano = 3 Then
    For i = 0 To 24
        Fluencia.Text1(i).Text = Format$(fluencia2(i), "0.00E-00")
    Next i
End If

```

```

    Next i
End If

If plano = 4 Then
    For i = 0 To 24
        Fluencia.Text1(i).Text = Format$(fluencia3(i), "0.00E-00")
    Next i
End If

If plano = 5 Then
    For i = 0 To 24
        Fluencia.Text1(i).Text = Format$(fluencia4(i), "0.00E-00")
    Next i
End If

End Sub

Private Sub Form_Load()

    plano = 1
    Fluencia.Text4.Text = Format$(cotacm(plano - 1), "0") + "cm"
    HScroll2.Value = plano

End Sub

Private Sub HScroll2_Change()
    Text2.Text = Format$(cotacm(HScroll2.Value - 1), "00") + "cm"
End Sub

Private Sub SairButton_Click()
    ontelafluencia = 0
    Fluencia.Hide
    Densidade.Show
End Sub

```

7. Fluxo . frm

```

Private Sub Form_Load()
    Calcula_c
    plano = 0
    Text9.Text = "valor medio"
    HScroll2.Value = plano

End Sub

Private Sub HScroll2_Change()
    If HScroll2.Value = 0 Then
        Text9.Text = "valor medio"
    Else
        Text9.Text = Format$(cotacm(HScroll2.Value - 1), "0") + "cm"
    End If
End Sub

Private Sub ImprimirButton_Click()
    Fluxo.PrintForm
End Sub

Private Sub OKButton_Click()
    plano = HScroll2.Value

```

mostra os dados da nova cota

```

If plano = 0 Then
  For i = 0 To 24
    Fluxo.Text1(i).Text = Format$(Flu(i), "0.00E-00")
  Next i
End If

If plano = 1 Then
  For i = 0 To 24
    Fluxo.Text1(i).Text = Format$(Flu0(i), "0.00E-00")
  Next i
End If

If plano = 2 Then
  For i = 0 To 24
    Fluxo.Text1(i).Text = Format$(Flu1(i), "0.00E-00")
  Next i
End If

If plano = 3 Then
  For i = 0 To 24
    Fluxo.Text1(i).Text = Format$(Flu2(i), "0.00E-00")
  Next i
End If

If plano = 4 Then
  For i = 0 To 24
    Fluxo.Text1(i).Text = Format$(Flu3(i), "0.00E-00")
  Next i
End If

If plano = 5 Then
  For i = 0 To 24
    Fluxo.Text1(i).Text = Format$(Flu4(i), "0.00E-00")
  Next i
End If

End Sub

```

```

Private Sub SairButton_Click()
  ontelafluxo = 0
  Fluxo.Hide
  Densidade.Show
End Sub

```

8. Inicial . frm

```

Private Sub IniciarButton_Click()
  IniciaSistema

  Open Directorio + "saidaI_Rh.txt" For Output As #19
  Open Directorio + "saidaPtermica.txt" For Output As #15
  Open Directorio + "tendencia.txt" For Output As #8
  Densidade.Show
End Sub

```

```
Private Sub Label2_Click()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SairButton_Click()
```

```
End
```

```
End Sub
```

9. Perfil . frm

```
Private Sub AtualizaButton_Click()
```

```
Dim altura(1 To 7) As Single
```

```
Dim p As Integer
```

```
altura(1) = -8
```

```
altura(2) = 6
```

```
altura(3) = 18
```

```
altura(4) = 30
```

```
altura(5) = 43
```

```
altura(6) = 54
```

```
altura(7) = 68
```

```
Open Directorio + "perfil.txt" For Output As #17
```

```
Print #17, "posicao", "densidade"
```

```
Print #17, altura(1), 0
```

```
Print #17, altura(2), Format$(q0(feixe(elemento)) / 1000, "0.00")
```

```
Print #17, altura(3), Format$(q1(feixe(elemento)) / 1000, "0.00")
```

```
Print #17, altura(4), Format$(q2(feixe(elemento)) / 1000, "0.00")
```

```
Print #17, altura(5), Format$(q3(feixe(elemento)) / 1000, "0.00")
```

```
Print #17, altura(6), Format$(q4(feixe(elemento)) / 1000, "0.00")
```

```
Print #17, altura(7), 0
```

```
Close #17
```

```
End Sub
```

```
Private Sub NovaSelecao_Click()
```

```
ontelaperfil = 0
```

```
SelecPerfil.Show
```

```
Perfil.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SairButton_Click()
```

```
ontelaperfil = 0
```

```
Perfil.Hide
```

```
Densidade.Show
```

```
End Sub
```

10. Perfil3D . frm

```
Private Sub AtualizaButton_Click()
```

```
Open Directorio + "perfil3D.txt" For Output As #18
```

```
Print #18, "esq-dir", "5", "4", "3", "2", "1"
```

```
Print #18, "A", q(14) / 1000, q(11) / 1000, q(13) / 1000, q(10) / 1000, q(12) / 1000
```

```
Print #18, "B", q(9) / 1000, q(16) / 1000, q(8) / 1000, q(15) / 1000, q(7) / 1000
```

```
Print #18, "C", q(5) / 1000, q(18) / 1000, q(24) / 1000, q(6) / 1000, q(17) / 1000
```

```
Print #18, "D", q(21) / 1000, q(4) / 1000, q(20) / 1000, q(3) / 1000, q(19) / 1000
```

```
Print #18, "E", q(2) / 1000, q(23) / 1000, q(1) / 1000, q(22) / 1000, q(0) / 1000
```

```
Close #18
```

End Sub

Private Sub ImprimirButton_Click()
 Perfil3D.PrintForm
 End Sub

Private Sub SairButton_Click()
 ontelaperfil3D = 0
 Perfil3D.Hide
 Densidade.Show
 End Sub

11. Potencia . frm

Private Sub Form_Load()
 IniciaSistema
 Calcula_c
 Calibra
 MonitoraOnLine
 End Sub

Private Sub SairButton_Click()
 ontelapotencia = 0
 Potencia.Hide
 Densidade.Show
 End Sub

12. RelatDensidade . frm

Private Sub CancelaButton_Click()

 RelatDensidade.Hide
 Densidade.Show
 End Sub

Private Sub ImprimirButton_Click()

Printer.FontSize = 10

'-----
 Printer.Print
 Printer.Print
 Printer.Print
 Printer.Print
 Printer.Print
 Printer.Print

If tiporelatorio = 1 Then

```
relatorio
End If
```

```
If tiporelatorio = 2 Then
Printer.Print Tab(20); Now; Tab(35); "DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA (cm watts/cm)"
Printer.Print
Printer.Print
Printer.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 6cm"; Tab(45); "cota 18cm"; Tab(60); "cota 30cm"; Tab(75); "cota
42cm"; Tab(90); "cota 54cm"; Tab(105); "média"
Printer.Print
```

```
For i = 0 To 24
Printer.Print Tab(20); coordenada(feixe(i)); Tab(30); Format$(q0(feixe(i)), "0.00"); Tab(45); Format$(q1(feixe(i)),
"0.00"); Tab(60); Format$(q2(feixe(i)), "0.00"); Tab(75); Format$(q3(feixe(i)), "0.00"); Tab(90);
Format$(q4(feixe(i)), "0.00"); Tab(105); Format$(q(feixe(i)), "0.00")
Printer.Print
Next i
End If
```

```
If tiporelatorio = 3 Then
Printer.Print Tab(20); Now; Tab(35); "DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO (em neutrons/cm2s)"
Printer.Print
Printer.Print
Printer.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 6cm"; Tab(45); "cota 18cm"; Tab(60); "cota 30cm"; Tab(75); "cota
42cm"; Tab(90); "cota 54cm"; Tab(105); "média"
Printer.Print
```

```
For i = 0 To 24
Printer.Print Tab(20); coordenada(feixe(i)); Tab(30); Format$(Flu0(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(45);
Format$(Flu1(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(60); Format$(Flu2(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(75);
Format$(Flu3(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(90); Format$(Flu4(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(105);
Format$(Flu(feixe(i)), "0.00E-00")
Printer.Print
Next i
End If
```

```
If tiporelatorio = 4 Then
Printer.Print Tab(20); Now; Tab(35); "FLUÊNCIA NA POSIÇÃO DOS DETETORES (em neutrons/cm2)"
Printer.Print
Printer.Print
Printer.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 6cm"; Tab(45); "cota 18cm"; Tab(60); "cota 30cm"; Tab(75); "cota
42cm"; Tab(90); "cota 54cm"
Printer.Print
```

```
For i = 0 To 24
Printer.Print Tab(20); coordenada(feixe(i)); Tab(30); Format$(fluencia0(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(45);
Format$(fluencia1(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(60); Format$(fluencia2(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(75);
Format$(fluencia3(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(90); Format$(fluencia4(feixe(i)), "0.00E-00")
Printer.Print
Next i
End If
```

```
'-----
```

```
If tiporelatorio = 5 Then
Printer.Print Tab(20); Now; Tab(35); "DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE RELATIVA"
Printer.Print
Printer.Print
Printer.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 6cm"; Tab(45); "cota 18cm"; Tab(60); "cota 30cm"; Tab(75); "cota
42cm"; Tab(90); "cota 54cm"
Printer.Print
```

```

For i = 0 To 24
Printer.Print Tab(20); coordenada(feixe(i)); Tab(30); Format$(qrel0(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(45);
Format$(qrel1(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(60); Format$(qrel2(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(75);
Format$(qrel3(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(90); Format$(qrel4(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(105);
Format$(qrel(feixe(i)), "0.00E-00")
Printer.Print
Next i
End If

If tiporelatorio = 6 Then
Printer.Print Tab(20); Now; Tab(35); "FATOR DE CALIBRAÇÃO (fc)"; Tab(120); "fator de simetria"
Printer.Print
Printer.Print
Printer.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 6cm"; Tab(45); "cota 18cm"; Tab(60); "cota 30cm"; Tab(75); "cota
42cm"; Tab(90); "cota 54cm"
Printer.Print Tab(20); "-----"; Tab(110); "-----"

For i = 12 To 24
Printer.Print Tab(20); coordenada(feixe(i)); Tab(30); Format$(fc0(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(45);
Format$(fc1(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(60); Format$(fc2(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(75); Format$(fc3(feixe(i)),
"0.00E-00"); Tab(90); Format$(fc4(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(90); Format$(w(feixe(i + 12)), "0.00E-00")
Printer.Print
Next i
Printer.Print Tab(10); "fator de normalização:"; Tab(30); Format$(c, "0.00E-00")
End If

Printer.EndDoc
End Sub

Private Sub VisualizaButton_Click()

RelatDensidade.Cls
RelatDensidade.FontSize = 6
'-----
If tiporelatorio = 1 Then

Dim k As Integer

RelatDensidade.Print Now; Tab(30); "Densidade Média nos Elementos EC A1 a EC E5 (cm watts/cm)"
RelatDensidade.Print

RelatDensidade.Print Tab(12); "A"; Tab(32); "B"; Tab(52); "C"; Tab(72); "D"; Tab(92); "E"
RelatDensidade.Print

For k = 0 To 4
RelatDensidade.Print Tab(5); k + 1; Tab(10); Format$(q(feixe(0 + k)), "0.00"); Tab(30); Format$(q(feixe(5 + k)),
"0.00"); Tab(50); Format$(q(feixe(10 + k)), "0.00"); Tab(70); Format$(q(feixe(15 + k)), "0.00"); Tab(90);
Format$(q(feixe(20 + k)), "0.00")
RelatDensidade.Print
Next k
End If
'-----
If tiporelatorio = 2 Then 'distr.densidade q0(i)

RelatDensidade.Print Tab(20); Now; Tab(35); "DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA (em
watts/cm)"

RelatDensidade.Print

```

```

RelatDensidade.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 6cm"; Tab(45); "cota 18cm"; Tab(60); "cota 30cm"; Tab(75);
"cota 42cm"; Tab(90); "cota 54cm"; Tab(105); "média"
RelatDensidade.Print

For i = 0 To 24
RelatDensidade.Print Tab(20); coordenada(feixe(i)); Tab(30); Format$(q0(feixe(i)), "0"); Tab(45);
Format$(q1(feixe(i)), "0"); Tab(60); Format$(q2(feixe(i)), "0"); Tab(75); Format$(q3(feixe(i)), "0"); Tab(90);
Format$(q4(feixe(i)), "0"); Tab(105); Format$(q(feixe(i)), "0")
Next i

RelatDensidade.Print
RelatDensidade.Print Tab(5); "Fator de Pico:"; Format$(Fpico, "0.00")
RelatDensidade.Print Tab(5); "Elemento:"; coordenadamaxi; Tab(22); "cota:"; cotacm(cota); "cm"

'RelatDensidade.Print tab(2) ;"* valor interpolado"
End If
'-----
If tiporelatorio = 3 Then 'flu0(i)...
Spline
RelatDensidade.Print Tab(5); Now; Tab(35); "MAPEAMENTO DE FLUXO (cm neutrons/cm2s)"
RelatDensidade.Print Tab(40); "(cota (em cm) medida a partir da placa matriz inferior do núcleo)"
RelatDensidade.Print
RelatDensidade.Print Tab(2); "EC"; Tab(7); "cota 0"; Tab(17); "cota 6"; "*", Tab(27); "cota 12"; Tab(37); "cota 18";
"*, Tab(47); "cota 24"; Tab(57); "cota 30"; "*", Tab(67); "cota 36"; Tab(77); "cota 42"; "*", Tab(87); "cota 48";
Tab(97); "cota 54"; "*", Tab(107); "cota 60"; Tab(117); "média"
'RelatDensidade.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 1"; Tab(45); "cota 2"; Tab(60); "cota 3"; Tab(75); "cota 4";
Tab(90); "cota 5"; Tab(105); "média"
RelatDensidade.Print

For i = 0 To 24
RelatDensidade.Print Tab(2); coordenada(feixe(i)); Tab(7); Format$(Map(feixe(i), 2), "0.00E-00"); Tab(17);
Format$(Map(feixe(i), 3), "0.00E-00"); Tab(27); Format$(Map(feixe(i), 4), "0.00E-00"); Tab(37);
Format$(Map(feixe(i), 5), "0.00E-00"); Tab(47); Format$(Map(feixe(i), 6), "0.00E-00"); Tab(57);
Format$(Map(feixe(i), 7), "0.00E-00"); Tab(67); Format$(Map(feixe(i), 8), "0.00E-00"); Tab(77);
Format$(Map(feixe(i), 9), "0.00E-00"); Tab(87); Format$(Map(feixe(i), 10), "0.00E-00"); Tab(97);
Format$(Map(feixe(i), 11), "0.00E-00"); Tab(107); Format$(Map(feixe(i), 12), "0.00E-00"); Tab(117);
Format$(mapmedia(feixe(i)), "0.00E-00")
'RelatDensidade.Print Tab(5); coordenada(feixe(i)); Tab(15); Format$(Flu0(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(25);
Format$(Flu1(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(35); Format$(Flu2(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(45);
Format$(Flu3(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(55); Format$(Flu4(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(115);
Format$(Flu(feixe(i)), "0.00E-00")
Next i
RelatDensidade.Print
RelatDensidade.Print Tab(20); "Fluxo Médio:"; Format$(maptotal, "0.00E-00")
RelatDensidade.Print
RelatDensidade.Print Tab(2); "* posições instrumentadas"
End If

If tiporelatorio = 4 Then 'fluencia0(i)...
RelatDensidade.Print Tab(20); Now; Tab(35); "FLUÊNCIA NA POSIÇÃO DOS DETETORES (em neutron/cm2)"

RelatDensidade.Print
RelatDensidade.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 6cm"; Tab(45); "cota 18cm"; Tab(60); "cota 30cm"; Tab(75);
"cota 42cm"; Tab(90); "cota 54cm"
RelatDensidade.Print

For i = 0 To 24
RelatDensidade.Print Tab(20); coordenada(feixe(i)); Tab(30); Format$(fluencia0(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(45);
Format$(fluencia1(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(60); Format$(fluencia2(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(75);
Format$(fluencia3(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(90); Format$(fluencia4(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(105)

```

```

Next i
End If
'-----

If tiporelatorio = 6 Then

RelatDensidade.Print Tab(20); Now; Tab(35); "FATOR DE CALIBRAÇÃO (fc)"; Tab(88); "fator de simetria"

RelatDensidade.Print
RelatDensidade.Print Tab(20); "-----"; Tab(88);
"-----"

RelatDensidade.Print
RelatDensidade.Print Tab(5); "EC"; Tab(15); "cota 6cm"; Tab(30); "cota 18cm"; Tab(45); "cota 30cm"; Tab(60);
"cota 42cm"; Tab(75); "cota 54cm"
RelatDensidade.Print

For feixe(i) = 0 To 11
    fc0(feixe(i)) = 0
Next feixe(i)

For i = 0 To 24
    If fc0(feixe(i)) > 1 Then

        RelatDensidade.Print Tab(5); coordenada(feixe(i)); Tab(15); Format$(fc0(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(30);
        Format$(fc1(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(45); Format$(fc2(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(60); Format$(fc3(feixe(i)),
        "0.00E-00"); Tab(75); Format$(fc4(feixe(i)), "0.00E-00"); Tab(90); Format$(w(feixe(i)), "0.00E-00")
        End If
    Next i
    RelatDensidade.Print
    RelatDensidade.Print

    RelatDensidade.Print Tab(10); "fator de normalização:"; Tab(30); Format$(c, "0.00E-00")
    End If
    '-----
    If tiporelatorio = 5 Then 'qrel0(i)

    RelatDensidade.Print Tab(20); Now; Tab(35); "DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE RELATIVA"

    RelatDensidade.Print
    RelatDensidade.Print Tab(20); "EC"; Tab(30); "cota 6cm"; Tab(45); "cota 18cm"; Tab(60); "cota 30cm"; Tab(75);
    "cota 42cm"; Tab(90); "cota 54cm"; Tab(105); "média"
    RelatDensidade.Print

    For i = 0 To 24
        RelatDensidade.Print Tab(20); coordenada(feixe(i)); Tab(30); Format$(qrel0(feixe(i)), "0.00"); Tab(45);
        Format$(qrel1(feixe(i)), "0.00"); Tab(60); Format$(qrel2(feixe(i)), "0.00"); Tab(75); Format$(qrel3(feixe(i)),
        "0.00"); Tab(90); Format$(qrel4(feixe(i)), "0.00"); Tab(105); Format$(qrel(feixe(i)), "0.00")
    Next i
    RelatDensidade.Print Tab(20); "Densidade Média:"; Format$(qmedia, "0.00")
    RelatDensidade.Print Tab(20); "Fator de Pico:"; Format$(Fpico, "0.00")
    RelatDensidade.Print Tab(20); "Elemento:"; coordenadamaxi; Tab(37); "cota:"; cotacm(cota); "cm"

    End If

End Sub

```

13. Select Perfil . frm

```
Private Sub ApresentaButton_Click()  
'carrega tela Perfil  
    Perfil.Text1.Text = coordenada(feixe(elemento))
```

```
'Deixa todos os ECs válidos para o proximo carregamento  
For i = 0 To 24  
    SelecPerfil.Text1(i).Enabled = True  
Next i  
ontelaperfil = 1  
Perfil.Show  
SelecPerfil.Hide  
End Sub
```

```
Private Sub CancelaButton_Click()  
For i = 0 To 24  
    SelecPerfil.Text1(i).Enabled = True  
Next i  
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
'carrega tela Perfil  
    Perfil.Text1.Text = coordenada(feixe(elemento))
```

```
'Deixa todos os ECs válidos para o proximo carregamento  
For i = 0 To 24  
    SelecPerfil.Text1(i).Enabled = True  
Next i  
ontelaperfil = 1  
Perfil.Show  
SelecPerfil.Hide  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
'ao carregar o form, habilitar os botões  
For i = 0 To 24  
    SelecPerfil.Text1(i).Enabled = True  
Next i  
End Sub
```

```
Private Sub OKFrame_Click()  
'carrega tela Perfil  
    Perfil.Text1.Text = coordenada(feixe(elemento))
```

```
'Deixa todos os ECs válidos para o proximo carregamento  
For i = 0 To 24  
    SelecPerfil.Text1(i).Enabled = True  
Next i  
ontelaperfil = 1  
Perfil.Show  
SelecPerfil.Hide  
End Sub
```

```

Private Sub SairButton_Click()
'ao sair, deixa os ECs válidos
For i = 0 To 24
SelecaoPerfil.Text1(i).Enabled = True
Next i

SelecaoPerfil.Hide
Densidade.Show
End Sub

Private Sub Text1_Click(Index As Integer)
'Global Elemento as integer 'elemento=numero do EC selecionado
elemento = Index
For i = 0 To 24
SelecaoPerfil.Text1(i).Enabled = False
Next i
SelecaoPerfil.Text1(Index).Enabled = True

End Sub

Private Sub Text3_Change()

End Sub

```

14. Sensibilidade . frm

```

Private Sub AtualizaButton_Click()
'valor digitado passa a ser a nova sensibilidade
novaSens0(elemento) = CDBl(Sensibilidade.Text8.Text) / 6
novaSens1(elemento) = CDBl(Sensibilidade.Text9.Text) / 6
novaSens2(elemento) = CDBl(Sensibilidade.Text10.Text) / 6
novaSens3(elemento) = CDBl(Sensibilidade.Text11.Text) / 6
novaSens4(elemento) = CDBl(Sensibilidade.Text12.Text) / 6

'valida novos valores de Sens_Rh
'ou corrigido pelo programa ou digitado
Sens_Rh0(elemento) = novaSens0(elemento)
Sens_Rh1(elemento) = novaSens1(elemento)
Sens_Rh2(elemento) = novaSens2(elemento)
Sens_Rh3(elemento) = novaSens3(elemento)
Sens_Rh4(elemento) = novaSens4(elemento)

'carrega dados atualizados na tela
FormSensibilidade

'grava novos valores no arquivo de Sensib_Rh.txt
'para teste está sendo usado um arquivo de saída especial
Open Directorio + "saidaSens_Rh.txt" For Output As #11
MyTime = Format(Time, "h:m") 'Returns "17:4:23".

Print #11, Now

For i = 0 To 11

```

```

Print #11, Format$(Sens_Rh0(i), "0.00E-00"), Format$(Sens_Rh1(i), "0.00E-00"), Format$(Sens_Rh2(i), "0.00E-00"), Format$(Sens_Rh3(i), "0.00E-00"), Format$(Sens_Rh4(i), "0.00E-00")
Next i
Close #11
End Sub

```

```

Private Sub OKButton_Click()
'atribui novo valor de elemento
elemento = HScroll1.Value
Text1.Text = coordenada(elemento)

'carrega valores do novo elemento na tela
FormSensibilidade

```

```
End Sub
```

```

Private Sub Form_Load()
'carrega tela com valor do elemento=0
elemento = HScroll1.Value
Text1.Text = coordenada(elemento)
Text13.Text = coordenada(elemento)
FormSensibilidade
End Sub

```

```

Private Sub HScroll1_Change()
'mostra valor da barra de rolagem
valorbarra = HScroll1.Value
Text13.Text = coordenada(valorbarra)
End Sub

```

```

Private Sub SairButton_Click()
Sensibilidade.Hide
Densidade.Show
End Sub

```

15. Sigmao . frm

```

Private Sub AtualizaButton_Click()
'Accita os novos valores e grava em arquivo

```

```

Open Diretorio + "saidaSigma.txt" For Output As #12
  For i = 0 To 24
'assume valor digitado
Sigma(i) = CDBl(Sigmao.Text2(i).Text)

```

```

'atualiza tela
Sigmao.Text1(i).Text = Format$(Sigma(i), "0.00E-00")
Sigmao.Text2(i).Text = Format$(Sigma(i), "0.00E-00")

```

```

'atualiza arquivo
Print #12, Sigmao.Text1(i).Text
  Next i
Close #12
End Sub

```

```
Private Sub SairButton_Click()  
ontelasigma = 0  
Sigmao.Hide  
Densidade.Show  
End Sub
```

16. Status . frm

```
Private Sub Form_Load()  
formStatus  
End Sub
```

```
Private Sub OKButton_Click()  
feixe_Rh = HScroll1.Value  
'mostra novos dados  
formStatus  
End Sub
```

```
Private Sub HScroll1_Change()  
valorbarra = HScroll1.Value  
Text22.Text = coordenada(valorbarra)  
End Sub
```

```
Private Sub SairButton_Click()  
ontelastatus = 0  
Status.Hide  
Densidade.Show  
End Sub
```

17. Temperatura . frm

```
Private Sub Command1_Click()  
ontelatemperatura = 0  
Temperatura.Hide  
Densidade.Show  
End Sub
```

18. tempos . frm

```
Private Sub Form_Load()  
tempos.Text1.Text = TAq  
tempos.Text2.Text = TGr
```

```
Combo1.AddItem "1"  
Combo1.AddItem "2"  
Combo1.AddItem "5"  
Combo1.AddItem "10"  
Combo1.AddItem "30"  
Combo1.AddItem "60"  
Combo1.AddItem "120"  
Combo1.AddItem "300"  
Combo1.AddItem "600"
```

```
Combo2.AddItem "1"  
Combo2.AddItem "2"  
Combo2.AddItem "5"
```

```

Combo2.AddItem "10"
Combo2.AddItem "30"
Combo2.AddItem "60"
Combo2.AddItem "120"
Combo2.AddItem "300"
Combo2.AddItem "600"

```

```
End Sub
```

```

Private Sub OK2Button_Click()
'Atualiza tempo de gravação
Rem Transforma as Strings dos tempos em numeros

```

```
TGr = CDb1(Combo2.Text)
```

```
tempos.Text2.Text = TGr
```

```
Rem Verifica se Tempo de gravação < Tempo e Aquisição
```

```
If TGr < TAq Then
```

```
Response% = MsgBox("Tempo de Gravação deverá ser maior ou igual ao Tempo de Aquisição!", 48, "Tempo de Gravação")
```

```
Else
```

```
TempoGravacao = TGr
```

```
End If
```

```
Densidade.Timer3.Interval = TGr * 1000
```

```
End Sub
```

```
Private Sub OKButton_Click()
```

```
'Atualiza valores do tempo de aquisição
```

```
Rem Transforma as Strings dos tempos em numeros
```

```
TAq = CDb1(Combo1.Text)
```

```
tempos.Text1.Text = TAq
```

```
Densidade.Timer1.Interval = TAq * 1000
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SairButton_Click()
```

```
tempos.Hide
```

```
Densidade.Show
```

```
End Sub
```

19. Tendencia . frm

```
Private Sub OKButton_Click()
```

```
plano = HScroll2.Value
```

```
elemento = HScroll1.Value
```

```
Tendencia.Text4.Text = coordenada(feixe(elemento))
```

```
Tendencia.Text5.Text = Format$(cotacm(plano - 1), "0") + "cm"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Text11.Text = coordenada(feixe(elemento))
```

```
Text12.Text = Format$(cotacm(plano), "0") + "cm"
```

```
Tendencia.Text4.Text = coordenada(feixe(elemento))
```

```
Tendencia.Text15.Text = Format$(cotacm(plano), "0") + "cm"  
Tendencia.Text16.Text = Format$(Now, "mm/dd/yy")  
End Sub
```

```
Private Sub HScroll1_Change()  
valorbarra = HScroll1.Value  
Text1.Text = coordenada(feixe(valorbarra))  
End Sub
```

```
Private Sub HScroll2_Change()  
Text2.Text = Format$(cotacm(HScroll2.Value - 1), "0") + "cm"  
End Sub
```

```
Private Sub NovaSelecao_Click()  
ontelatendencia = 0  
Tendencia.Hide  
SeleccTend.Show  
End Sub
```

```
Private Sub SairButton_Click()  
ontelatendencia = 0  
Tendencia.Hide  
Densidade.Show  
End Sub
```

20. Psico1.bas

Global Const Directorio = "c:\user\yoko\tese\visual\"

'Global Const Directorio = "a:\"

Global Const Vermelho = &H000000FF

'Global Const Amarelo = &H80000000

Global Const Amarelo = &HFFFFFF

Global Const Branco = &H00000000

Global Const Verde = &H00000000

Global Const Preto = &H00000000

Global Const Azul = &H00000000

Global tiporclatorio As Integer

Global Sigma_Rh0(0 To 11), Sigma_Rh1(0 To 11), Sigma_Rh2(0 To 11), Sigma_Rh3(0 To 11), Sigma_Rh4(0 To 11) As Double

Global Sigma_Pt0(0 To 12), Sigma_Pt1(0 To 12), Sigma_Pt2(0 To 12), Sigma_Pt3(0 To 12), Sigma_Pt4(0 To 12) As Double

Global Sigma0(0 To 24), Sigma1(0 To 24), Sigma2(0 To 24), Sigma3(0 To 24), Sigma4(0 To 24) As Double

Global Sigma(0 To 25) As Double

Global Sens_Rh0(0 To 11), Sens_Rh1(0 To 11), Sens_Rh2(0 To 11), Sens_Rh3(0 To 11), Sens_Rh4(0 To 11) As Double

Global Potctotal, Potc(0 To 25), Potc0(0 To 25), Potc1(0 To 25), Potc2(0 To 25), Potc3(0 To 25), Potc4(0 To 25) As Double

Global I_falha0(0 To 25), I_falha1(0 To 25), I_falha2(0 To 25), I_falha3(0 To 25), I_falha4(0 To 25) As Double

Global I_det0(0 To 24), I_det1(0 To 24), I_det2(0 To 24), I_det3(0 To 24), I_det4(0 To 24) As Double

Global T_Rh(0 To 25), T_Pt(0 To 25), Temp(0 To 25) As Double

Global Tempmax, Temp_saida, Temp_entrada, Vazao As Single

Global TempmaxEC As Integer 'elemento com a maior temperatura

Global w(0 To 25) As Double

Global w1, w2, Ptermica, c, novoc, AO, AOSup, AOInf As Double

Global Pot(0 To 25)

Global Potenc, densidad As Double

Global Pot0(0 To 25), Pot1(0 To 25), Pot2(0 To 25), Pot3(0 To 25), Pot4(0 To 25) As Double

Global densid0(0 To 25), densid1(0 To 25), densid2(0 To 25), densid3(0 To 25), densid4(0 To 25) As Double

Global Flu(0 To 25), Flu0(0 To 25), Flu1(0 To 25), Flu2(0 To 25), Flu3(0 To 25), Flu4(0 To 25) As Double

Global Fluencia(0 To 25), fluencia0(0 To 25), fluencia1(0 To 25), fluencia2(0 To 25), fluencia3(0 To 25), fluencia4(0 To 25) As Double

Global massa_inicial, Sensib_inicial As Double

Global novaSens0(0 To 11), novaSens1(0 To 11), novaSens2(0 To 11), novaSens3(0 To 11), novaSens4(0 To 11) As Double

Global qrel(0 To 25), qrel0(0 To 25), qrel1(0 To 25), qrel2(0 To 25), qrel3(0 To 25), qrel4(0 To 25) As Double

Global fc(0 To 25), fc0(0 To 25), fc1(0 To 25), fc2(0 To 25), fc3(0 To 25), fc4(0 To 25) As Double

Global q(0 To 25), q0(0 To 25), q1(0 To 25), q2(0 To 25), q3(0 To 25), q4(0 To 25) As Double

Global qsoma, qmedia, Fpico As Single

Global flusoma, flumedia As Double

Global ECmaxi, ECmax(1 To 5), feixemaxi, qmaxi, qmax(1 To 5) As Double

Global media(0 To 24) As Double 'corrente media do feixe, desconsiderando detetor falho

Global faixa(0 To 24) 'range de detetor não falho

Global faixa1(0 To 24)
 Global TimerFluencia, TAq, TGr, TimerAquisicao, TimerGravacao As Double
 Global elemento, feixe_Rh As Integer 'para escolha do feixe
 Global valorbarra As Integer 'valor corrente da barra de rolagem
 'feixe é o nome dado para elemento na tela status varia de 0 a 11
 Global feixe(0 To 24) As Integer 'converte valor da posicao para o feixe do programa
 Global feixe1 As Integer 'feixe apresentado
 Global k As Integer 'contador auxiliar de i
 Global plano. contador As Integer 'plano para mostrar fluência
 Global cota As Integer 'cota=cotamaxi
 Global cotacm(0 To 4) As Integer
 Global posicao(0 To 24) As Integer 'elemento com a numeracao correta da posicao

'coordenada(feixe)=A1,A2 etc
 Global coordenada(0 To 24), coordenadamaxi As String

Global I_det(0 To 24) As Double
 Global x(0 To 13), y(0 To 13), xno(0 To 13), d As Double
 Global dif1(1 To 7), dif2(1 To 7), der(1 To 7) As Double
 Global a(0 To 13), c1(1 To 7), c2(1 To 7), c3(1 To 7), c4(1 To 7) As Double
 Global Map(0 To 24, 0 To 13)
 Global mapmedia(0 To 24), maptotal As Double
 Global calibdata As String
 Global ontelaconfiguracao, ontelafluxo, ontelaperfil3D, ontelasigma As Integer
 Global ontelasensibilidade, ontelatemperatura, ontelapotencia, ontelaperfil As Integer
 Global ontelatendencia, ontelafluencia, ontelastatus, ontelacalibracao As Integer
 Global ontelafalhadet As Integer
 'input #1 = Sigam_rh
 'input #6 = Sigma_Pt
 'input#2 = Sens_Rh
 'input #3 = I_det
 'input #4 = T_Rh e T_Pt
 'input #7 = Q
 'input #5 = I_det
 '#8=saidateste
 '9=c e fc = Fcalib
 '10=saidaCalib
 '11=saidaSens_rh
 '12=saidaSigma
 '13=saidaFluencia
 '14=saidaq0
 '15=saida Ptermica
 '16=saida c
 '17=perfil q0,q1,q2,q3,q4 e posicao
 '18 = Perfil3D
 '19= I_Rh1

Dim densid(0 To 24) As Double

Sub IniciaSistema()

'-----Define tempos default

TAq = 1

TGr = 1

contador = 1 'indice para alternar os 2 arquivos de dados de entrada

```

elemento = 0
Densidade.Timer1.Interval = TAq * 1000 'frequencia de aquisicao
Densidade.Timer2.Interval = 5000 'frequencia para calculo de fluência
Densidade.Timer3.Interval = TGr * 1000 'frequência de gravação

'-----Leitura das seções de choque de ECs com ródio
Open Directorio + "Sigma_Rh.txt" For Input As #1
  For i = 0 To 11
    Input #1, Sigma_Rh0(i)
    Sigma(i) = Sigma_Rh0(i)
    Input #1, Sigma_Rh1(i)
    Input #1, Sigma_Rh2(i)
    Input #1, Sigma_Rh3(i)
    Input #1, Sigma_Rh4(i)
  Next i
Close #1

'-----Ler seção de choques dos ECs de platina
Open Directorio + "Sigma_Pt.txt" For Input As #6
  For i = 0 To 12
    Input #6, Sigma_Pt0(i)
    Sigma(i + 12) = Sigma_Pt0(i)
    Input #6, Sigma_Pt1(i)
    Input #6, Sigma_Pt2(i)
    Input #6, Sigma_Pt3(i)
    Input #6, Sigma_Pt4(i)
  Next i
Close #6

'-----Ler sensibilidades dos detetores de Rh
Open Directorio + "Sensib_Rh.txt" For Input As #2
  For i = 0 To 11
    Input #2, Sens_Rh0(i)
    Input #2, Sens_Rh1(i)
    Input #2, Sens_Rh2(i)
    Input #2, Sens_Rh3(i)
    Input #2, Sens_Rh4(i)
  Next i
Close #2

'-----Ler c e fc anteriores
Open Directorio + "Fcalib.txt" For Input As #9
  For i = 12 To 24
    Input #9, fc0(i)
    Input #9, fc1(i)
    Input #9, fc2(i)
    Input #9, fc3(i)
    Input #9, fc4(i)
  Next i
  Input #9, c
  Input #9, calibdata

Close #9

'----- Ler fluência de arquivo
'   provisório: fluência=0
Open Directorio + "fluencia.txt" For Input As #7

For i = 0 To 24
  Input #7, fluencia0(i), fluencia1(i), fluencia2(i), fluencia3(i), fluencia4(i)

```

Next i

Close #7
End Sub

Sub LeDadosUAD()

'-----Aquisicao de I_det, Temperatura e Pot_termica
' Ciclo com 2 conjunto de dados

If contador = 1 Then

'-----Ler o primeiro conjunto de dados

Rem ler corrente dos detetores

Open Directorio + "I_det1.txt" For Input As #3

For i = 0 To 24

Input #3, I_det0(i)

Input #3, I_det1(i)

Input #3, I_det2(i)

Input #3, I_det3(i)

Input #3, I_det4(i)

Next i

Close #3

Rem ler os delta Ts e calcula w_Pt/Rh

'w=fator de simetria Pt/Rh para modo calibração e para MonitoraOnLine

Open Directorio + "DeltaT.txt" For Input As #4

Input #4, Temp_entrada

Input #4, Temp_saida

Input #4, Vazao

For i = 0 To 12

Input #4, T_Rh(i)

Input #4, T_Pt(i)

Temp(i) = T_Rh(i) + Temp_entrada

Temp(i + 12) = T_Pt(i) + Temp_entrada

w(i) = T_Pt(i) / T_Rh(i)

Next i

Temp(12) = T_Pt(0) + Temp_entrada

Close #4

contador = 2

Else

'-----Ler 2o. conjunto de dados

Rem Ler corrente dos detetores

Open Directorio + "I_det1.txt" For Input As #5

For i = 0 To 24

Input #5, I_det0(i)

Input #5, I_det1(i)

Input #5, I_det2(i)

Input #5, I_det3(i)

Input #5, I_det4(i)

Next i

Close #5

Rem ler os delta Ts e calcula w_Pt/Rh

'w=fator de simetria Pt/Rh para modo calibração

Open Directorio + "DeltaT.txt" For Input As #4

Input #4, Temp_entrada

Input #4, Tem_saida

Input #4, Vazao

For i = 0 To 12

Input #4, T_Rh(i)

Input #4, T_Pt(i)

Temp(i) = T_Rh(i) + Temp_entrada

Temp(i + 12) = T_Pt(i) + Temp_entrada

w(i) = T_Pt(i) / T_Rh(i)

Next i

Temp(12) = T_Pt(0) + Temp_entrada

Close #4

contador = 1

End If

End Sub

Sub CalculaTmax()

'Identifica temperatura máxima

Tempmax = Temp(0)

For i = 0 To 24

If Temp(i) > Tempmax Then

Tempmax = Temp(i)

TempmaxEC = i

End If

'Limpa alarme anterior

Temperatura.Text1(i).BackColor = Verde

Temperatura.Text1(i).ForeColor = Branco

Next i

'Indicar em amarelo se Temp(i)>0.99*Tempmax

For i = 0 To 24

If Temp(i) > 0.999 * Tempmax Then

Temperatura.Text1(i).BackColor = Amarelo

Temperatura.Text1(i).ForeColor = Preto

End If

Next i

'Carrega dados no Temperatura.form

For i = 0 To 24

Temperatura.Text1(i).Text = Format\$(Temp(i), "00.0")

Next i

Temperatura.Text2.Text = Format(Ptermica, "0.00E-00")

Temperatura.Text3.Text = Format(Vazao, "0.00E-00")

Temperatura.Text4.Text = Temp_entrada

Temperatura.Text5.Text = Now

End Sub

Sub SubstituiFalha()

Dim numero(0 To 24) As Integer 'numero=numero de detetores

```
'numero inicial =5, se existir 1 detetor falho, numero=4
'Detecta falha de detetor e substitui sinal de detetor
'I_falha0(i)= valor antigo de I_det
'Sinaliza em vermelho feixe falho
```

```
'limpar alarmes anteriores
```

```
For i = 0 To 11
```

```
k = posicao(i)
```

```
ConfigFalha.Text1(k).BackColor = Azul
```

```
Next i
```

```
For i = 12 To 24
```

```
k = posicao(i)
```

```
ConfigFalha.Text1(k).BackColor = Verde
```

```
Next i
```

```
'Armazena em I_falha os valores lidos da UAD
```

```
For i = 0 To 24
```

```
numero(i) = 5
```

```
  I_falha0(i) = I_det0(i)
```

```
  If I_det0(i) > 0.0000001 Then
```

```
    I_det0(i) = 0
```

```
    numero(i) = numero(i) - 1
```

```
  End If
```

```
  I_falha1(i) = I_det1(i)
```

```
  If I_det1(i) > 0.0000001 Then
```

```
    I_det1(i) = 0
```

```
    numero(i) = numero(i) - 1
```

```
  End If
```

```
  I_falha2(i) = I_det2(i)
```

```
  If I_det2(i) > 0.0000001 Then
```

```
    I_det2(i) = 0
```

```
    numero(i) = numero(i) - 1
```

```
  End If
```

```
  I_falha3(i) = I_det3(i)
```

```
  If I_det3(i) > 0.0000001 Then
```

```
    I_det3(i) = 0
```

```
    numero(i) = numero(i) - 1
```

```
  End If
```

```
  I_falha4(i) = I_det4(i)
```

```
  If I_det4(i) > 0.0000001 Then
```

```
    I_det4(i) = 0
```

```
    numero(i) = numero(i) - 1
```

```
  End If
```

```
'faixa(i) é o range de validade do sinal 5*media>I_det>0.1*media
```

```
media(i) = (I_det0(i) + I_det1(i) + I_det2(i) + I_det3(i) + I_det4(i)) / numero(i)
```

```
faixa(i) = I_det0(i) < 5 * media(i) And I_det0(i) > 0.1 * media(i)
```

```
If faixa(i) = False Then
```

```
  media(i) = (numero(i) * media(i) - I_det0(i)) / 4
```

```
  I_det0(i) = media(i)
```

```
  k = posicao(i) 'elemento com detetor falho
```

```
  ConfigFalha.Text1(k).BackColor = Vermelho
```

```
End If
```

```
faixa(i) = I_det1(i) < 5 * media(i) And I_det1(i) > 0.1 * media(i)
```

```
If faixa(i) = False Then
```

```
media(i) = (numero(i) * media(i) - I_det1(i)) / 4
```

```
I_det1(i) = media(i)
```

```
k = posicao(i)
```

```
ConfigFalha.Text1(k).BackColor = Vermelho
```

```
End If
```

```
faixa(i) = I_det2(i) < 5 * media(i) And I_det2(i) > 0.1 * media(i)
```

```
If faixa(i) = False Then
```

```
media(i) = (numero(i) * media(i) - I_det2(i)) / 4
```

```
I_det2(i) = media(i)
```

```
k = posicao(i)
```

```
ConfigFalha.Text1(k).BackColor = Vermelho
```

```
End If
```

```
faixa(i) = I_det3(i) < 5 * media(i) And I_det3(i) > 0.1 * media(i)
```

```
If faixa(i) = False Then
```

```
media(i) = (numero(i) * media(i) - I_det3(i)) / 4
```

```
I_det3(i) = media(i)
```

```
k = posicao(i)
```

```
ConfigFalha.Text1(k).BackColor = Vermelho
```

```
End If
```

```
faixa(i) = I_det4(i) < 5 * media(i) And I_det4(i) > 0.1 * media(i)
```

```
If faixa(i) = False Then
```

```
media(i) = (numero(i) * media(i) - I_det4(i)) / 4
```

```
I_det4(i) = media(i)
```

```
k = posicao(i)
```

```
ConfigFalha.Text1(k).BackColor = Vermelho
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Sub Calcula_c()
```

```
'-----Rem Calculo de Potc com feixes de Rh e de c
```

```
' Potc=(valor da potência em função da incógnita c)
```

```
' = potência não normalizada
```

```
Potctotal = 0
```

```
'Cálculo de Potc para detectores com ródio
```

```
For i = 0 To 11
```

```
Potc0(i) = 0.9 * I_det0(i) * Sigma_Rh0(i) / (Sens_Rh0(i) * 6)
```

```
Potc(i) = Potc0(i)
```

```
Potc1(i) = 0.9 * I_det1(i) * Sigma_Rh1(i) / (Sens_Rh1(i) * 6)
```

```
Potc(i) = Potc(i) + Potc1(i)
```

```
Potc2(i) = 0.9 * I_det2(i) * Sigma_Rh2(i) / (Sens_Rh2(i) * 6)
```

```
Potc(i) = Potc(i) + Potc2(i)
```

```
Potc3(i) = 0.9 * I_det3(i) * Sigma_Rh3(i) / (Sens_Rh3(i) * 6)
```

```
Potc(i) = Potc(i) + Potc3(i)
```

```

Potc4(i) = 0.9 * I_det4(i) * Sigma_Rh4(i) / (Sens_Rh4(i) * 6)
Potc(i) = Potc(i) + Potc4(i)
Potctotal = Potctotal + Potc(i)

```

```
Next i
```

```
Rem Potc para ECs com Platina
```

```
For i = 0 To 11
```

```

w(i + 12) = w(i)
Potc0(i + 12) = Potc0(i) * w(i + 12)
Potc1(i + 12) = Potc1(i) * w(i + 12)
Potc2(i + 12) = Potc2(i) * w(i + 12)
Potc3(i + 12) = Potc3(i) * w(i + 12)
Potc4(i + 12) = Potc4(i) * w(i + 12)

```

```

Potc(i + 12) = Potc(i) * w(i + 12)
Potctotal = Potctotal + Potc(i + 12)

```

```
Next i
```

```
Rem tratamento especial para o elemento central
```

```
'Para o EC13(=Pt13) é utilizada a simetria especial
```

```
'Simetria com EC12 (Rh7) e EC18 (Rh9)
```

```
w1 = T_Pt(12) / T_Rh(6)
```

```
w2 = T_Pt(12) / T_Rh(8)
```

```

Potc0(24) = (Potc0(6) * w1 + Potc0(8) * w2) / 2
Potc1(24) = (Potc1(6) * w1 + Potc1(8) * w2) / 2
Potc2(24) = (Potc2(6) * w1 + Potc2(8) * w2) / 2
Potc3(24) = (Potc3(6) * w1 + Potc3(8) * w2) / 2
Potc4(24) = (Potc4(6) * w1 + Potc4(8) * w2) / 2

```

```

Potc(24) = (Potc(6) * w1 + Potc(8) * w2) / 2
Potctotal = Potctotal + Potc(24)

```

```
'cálculo da potência térmica
```

```
'cp = 4.18(J/g)*3.785(l/gal)*1000(g/l)/60(seg/min)
```

```
cp = 263.69
```

```
Ptermica = Vazao * cp * (Temp_saida - Temp_entrada)
```

```
Rem cálculo de "c" instantâneos
```

```
'Não é utilizado para cálculos
```

```
novoc = Ptermica / Potctotal
```

```
'Calculo de densid para mostrar na tela de status
```

```
'densid=densidade calculada com detetor de ródio
```

```
For i = 0 To 11
```

```

densid0(i) = Potc0(i) * novoc / (18 * 0.12)
densid1(i) = Potc1(i) * novoc / (18 * 0.12)
densid2(i) = Potc2(i) * novoc / (18 * 0.12)
densid3(i) = Potc3(i) * novoc / (18 * 0.12)
densid4(i) = Potc4(i) * novoc / (18 * 0.12)

```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Sub Calibra()
```

```
Rem Calibracao
```

Rem cálculo de potência

'Densidade = $P_j / (NH)$

'25 elementos

'N=18 varetas em cada EC

'altura do núcleo H = 60 cm

'cada Ec tem 5 nós axiais

'o núcleo tem 125 nós

c = novoc

For i = 12 To 24

'densid= densidade calculada pelo detetor de r[odio e corrigido por w

densid0(i) = Potc0(i) * c / (18 * 0.12)

densid1(i) = Potc1(i) * c / (18 * 0.12)

densid2(i) = Potc2(i) * c / (18 * 0.12)

densid3(i) = Potc3(i) * c / (18 * 0.12)

densid4(i) = Potc4(i) * c / (18 * 0.12)

Next i

For i = 12 To 24

fc0(i) = densid0(i) / I_det0(i)

fc1(i) = densid1(i) / I_det1(i)

fc2(i) = densid2(i) / I_det2(i)

fc3(i) = densid3(i) / I_det3(i)

fc4(i) = densid4(i) / I_det4(i)

Next i

calibdata = Now

CalibTermica.Text3.Text = calibdata

Open Diretorio + "Saidacalib.txt" For Output As #10

For i = 12 To 24

Print #10, Format\$(fc0(i), "0.00E-00"), Format\$(fc1(i), "0.00E-00"), Format\$(fc2(i), "0.00E-00"), Format\$(fc3(i), "0.00E-00"), Format\$(fc4(i), "0.00E-00")

Next i

Print #10, Format\$(c, "0.00")

Print #10, calibdata

Close #10

End Sub

Sub MonitoraOnLine()

'Calculo de densidade de potencia

'em cada EC e em cada no

'q_Pt= fc*I_det for 12 to 24

'q_Rh=wjj*q_Pt for 0 to 11

'Calculo da potênica em cada EC

'Pot(i)=q(i)*18 varetas* 60 cm

'Calculo de fluxo em cada cota

'Fjk=qjk*(18varetas*0.12cm)/(Sigma*c)

qsoma = 0

flusoma = 0

For i = 12 To 24 'para feixe de Pt

q0(i) = fc0(i) * I_det0(i)

```

Flu0(i) = q0(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Pt0(i - 12) * c)
q1(i) = fc1(i) * I_det1(i)
Flu1(i) = q1(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Pt0(i - 12) * c)
q2(i) = fc2(i) * I_det2(i)
Flu2(i) = q2(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Pt0(i - 12) * c)
q3(i) = fc3(i) * I_det3(i)
Flu3(i) = q3(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Pt0(i - 12) * c)
q4(i) = fc4(i) * I_det4(i)
Flu4(i) = q4(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Pt0(i - 12) * c)

q(i) = (q0(i) + q1(i) + q2(i) + q3(i) + q4(i)) / 5
Pot(i) = q(i) * 18 * 0.6
Flu(i) = Pot(i) / (5 * c * Sigma_Pt0(i - 12))

```

```

qsoma = qsoma + q(i)
flusoma = flusoma + Flu(i)
Next i

```

```

For i = 0 To 11 'para feixe de Rh
q0(i) = (1 / w(i)) * q0(i + 12)
Flu0(i) = q0(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Rh0(i) * c)
q1(i) = (1 / w(i)) * q1(i + 12)
Flu1(i) = q1(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Rh0(i) * c)
q2(i) = (1 / w(i)) * q2(i + 12)
Flu2(i) = q2(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Rh0(i) * c)
q3(i) = (1 / w(i)) * q3(i + 12)
Flu3(i) = q3(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Rh0(i) * c)
q4(i) = (1 / w(i)) * q4(i + 12)
Flu4(i) = q4(i) * 18 * 0.12 / (Sigma_Rh0(i) * c)

q(i) = (q0(i) + q1(i) + q2(i) + q3(i) + q4(i)) / 5
Pot(i) = q(i) * 18 * 0.6
Flu(i) = Pot(i) / (5 * c * Sigma_Rh0(i))

```

```

qsoma = qsoma + q(i)
flusoma = flusoma + Flu(i)
Next i

```

```

'-----
'calcula da densidade media do reator
qmedia = qsoma / 25
flumedia = flusoma / 25

```

```

'-----
'Calculo de qmax
qmax(1) = 0 'q máximo na cota 1
qmax(2) = 0
qmax(3) = 0
qmax(4) = 0
qmax(5) = 0

```

```

For i = 0 To 24
If q0(i) > qmax(1) Then
    qmax(1) = q0(i)
    ECmax(1) = i 'elemento com maior densidade
End If

```

```

If q1(i) > qmax(2) Then
    qmax(2) = q1(i)

```

```
ECmax(2) = i
End If
```

```
If q2(i) > qmax(3) Then
    qmax(3) = q2(i)
    ECmax(3) = i
End If
```

```
If q3(i) > qmax(4) Then
    qmax(4) = q3(i)
    ECmax(4) = i
End If
```

```
If q4(i) > qmax(5) Then
    qmax(5) = q4(i)
    ECmax(5) = i
End If
Next i
```

```
'Calculo qmax em todas as cotas
Dim n As Integer
qmaxi = 0
For n = 1 To 5
    If qmax(n) > qmaxi Then
        qmaxi = qmax(n)
        feixemaxi = ECmax(n)
        'ECmaxi = posicao(feixemaxi) + 1
        cota = n 'cota com maior densidade
    End If
Next n
coordenadamaxi = coordenada(feixemaxi)
```

```
'_____
'calculo do fator de pico
Fpico = qmaxi / qmedia
```

```
'_____
'calculo da densidade relativa
For i = 0 To 24
    qrel0(i) = q0(i) / qmedia
    qrel1(i) = q1(i) / qmedia
    qrel2(i) = q2(i) / qmedia
    qrel3(i) = q3(i) / qmedia
    qrel4(i) = q4(i) / qmedia
    qrel(i) = q(i) / qmedia
Next i
```

```
'_____
'tlimpar os alarmes antes de colocar os novos alarmes
For i = 0 To 24
    Densidade.Text1(i).BackColor = Verde
    Potencia.Text1(i).BackColor = Verde
    Fluxo.Text1(i).BackColor = Verde
    Densidade.Text1(i).ForeColor = Branco
    Potencia.Text1(i).ForeColor = Branco
    Fluxo.Text1(i).ForeColor = Branco
Next i
```

```
'apresentar em amarelo todos elementos com
' valores acima de 0.99*Fpico
```

```

For i = 0 To 24
If q0(i) > 0.99 * qmaxi Then
    Densidade.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Potencia.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Fluxo.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Densidade.Text1(i).ForeColor = Preto
    Potencia.Text1(i).ForeColor = Preto
    Fluxo.Text1(i).ForeColor = Preto
End If

If q1(i) > 0.99 * qmaxi Then
    Densidade.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Potencia.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Fluxo.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Densidade.Text1(i).ForeColor = Preto
    Potencia.Text1(i).ForeColor = Preto
    Fluxo.Text1(i).ForeColor = Preto
End If

If q2(i) > 0.99 * qmaxi Then
    Densidade.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Potencia.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Fluxo.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Densidade.Text1(i).ForeColor = Preto
    Potencia.Text1(i).ForeColor = Preto
    Fluxo.Text1(i).ForeColor = Preto
End If

If q3(i) > 0.99 * qmaxi Then
    Densidade.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Potencia.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Fluxo.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Densidade.Text1(i).ForeColor = Preto
    Potencia.Text1(i).ForeColor = Preto
    Fluxo.Text1(i).ForeColor = Preto
End If

If q4(i) > 0.99 * qmaxi Then
    Densidade.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Potencia.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Fluxo.Text1(i).BackColor = Amarelo
    Densidade.Text1(i).ForeColor = Preto
    Potencia.Text1(i).ForeColor = Preto
    Fluxo.Text1(i).ForeColor = Preto
End If

Next i

'-----
'Calculo de Axial Off Set
AOSup = 0
AOInf = 0

For i = 0 To 24
AOSup = AOSup + q0(i) + q1(i) + q2(i) / 2
AOInf = AOInf + (q2(i) / 2) + q3(i) + q4(i)
Next i
AO = (AOSup - AOInf) / (AOSup + AOInf)

```

Rem loop para apresentação nos forms

For i = 0 To 24

Densidade.Text1(i).Text = Format\$(q(i), "0.00E-00")

Fluxo.Text1(i).Text = Format\$(Flu(i), "0.00E-00")

Potencia.Text1(i).Text = Format\$(Pot(i), "0.00E-00")

Next i

Densidade.Text2.Text = Format\$(Ptermica, "0.00E-00")

Densidade.Text3.Text = Format\$(AO, "0.00")

Densidade.Text4.Text = Format\$(Fpico, "0.00")

Densidade.Text5.Text = Format\$(cotacm(cota), "00") + "cm"

Densidade.Text6.Text = Format\$(coordenadamaxi)

Fluxo.Text2.Text = Format\$(Ptermica, "0.00E-00")

Fluxo.Text3.Text = Format\$(AO, "0.00")

Fluxo.Text4.Text = Format\$(Fpico, "0.00")

Fluxo.Text5.Text = Format\$(cotacm(cota), "00") + "cm"

Fluxo.Text6.Text = Format\$(coordenadamaxi)

Potencia.Text2.Text = Format\$(Ptermica, "0.00E-00")

Potencia.Text3.Text = Format\$(AO, "0.00")

Potencia.Text4.Text = Format\$(Fpico, "0.00")

Potencia.Text5.Text = Format\$(cotacm(cota), "00") + "cm"

Potencia.Text6.Text = Format\$(coordenadamaxi)

End Sub

Sub relatorio()

'Imprime valores numericos da densidade de potencia

Printer.FontSize = 10

Printer.Print

Printer.Print

Printer.Print

Printer.Print

Printer.Print Now; Tab(30); "Densidade Média nos Elementos EC A1 a EC E5 (em watts/cm)"

Printer.Print

Printer.Print

Printer.Print Tab(17); "A"; Tab(37); "B"; Tab(57); "C"; Tab(77); "D"; Tab(97); "E"

Printer.Print

For k = 0 To 4

Printer.Print Tab(5); k + 1; Tab(15); Format\$(q(feixe(0 + k)), "0.00"); Tab(35); Format\$(q(feixe(5 + k)), "0.00");

Tab(55); Format\$(q(feixe(10 + k)), "0.00"); Tab(75); Format\$(q(feixe(15 + k)), "0.00"); Tab(95);

Format\$(q(feixe(20 + k)), "0.00")

Printer.Print

Next k

Printer.EndDoc

'Printer.Print Tab(12); "A"; Tab(32); "B"; Tab(52); "C"; Tab(72); "D"; Tab(92); "E"

'Printer.Print

'Printer.Print Tab(5); "1"; Tab(10); Densidade.Text1(0).Text; Tab(30); Densidade.Text1(1).Text; Tab(50);

Densidade.Text1(2).Text; Tab(70); Densidade.Text1(3).Text; Tab(90); Densidade.Text1(4).Text

```

Printer.Print Tab(5); "2"; Tab(10); Densidade.Text1(5).Text; Tab(30); Densidade.Text1(6).Text; Tab(50);
Densidade.Text1(7).Text; Tab(70); Densidade.Text1(8).Text; Tab(90); Densidade.Text1(9).Text
Printer.Print Tab(5); "3"; Tab(10); Densidade.Text1(10).Text; Tab(30); Densidade.Text1(11).Text; Tab(50);
Densidade.Text1(12).Text; Tab(70); Densidade.Text1(13).Text; Tab(90); Densidade.Text1(14).Text
Printer.Print Tab(5); "4"; Tab(10); Densidade.Text1(15).Text; Tab(30); Densidade.Text1(16).Text; Tab(50);
Densidade.Text1(17).Text; Tab(70); Densidade.Text1(18).Text; Tab(90); Densidade.Text1(19).Text
Printer.Print Tab(5); "5"; Tab(10); Densidade.Text1(20).Text; Tab(30); Densidade.Text1(21).Text; Tab(50);
Densidade.Text1(22).Text; Tab(70); Densidade.Text1(23).Text; Tab(90); Densidade.Text1(24).Text
End Sub

```

```
Sub CalculaFluencia()
```

```
'-----Calcula fluencia e atualiza arquivo
```

```
'-----calcula corrente integrada
```

```
Sensib_inicial = 1.28E-21
```

```
massa_inicial = 0.02
```

```
Open Directorio + "saidaFluencia.txt" For Output As #13
```

```
For i = 0 To 24
```

```
fluencia0(i) = fluencia0(i) + Flu0(i) * Densidade.Timer2.Interval / 1000
```

```
fluencia1(i) = fluencia1(i) + Flu1(i) * Densidade.Timer2.Interval / 1000
```

```
fluencia2(i) = fluencia2(i) + Flu2(i) * Densidade.Timer2.Interval / 1000
```

```
fluencia3(i) = fluencia3(i) + Flu3(i) * Densidade.Timer2.Interval / 1000
```

```
fluencia4(i) = fluencia4(i) + Flu4(i) * Densidade.Timer2.Interval / 1000
```

```
Print #13, Format$(fluencia0(i), "0.00E-00"), Format$(fluencia1(i), "0.00E-00"), Format$(fluencia2(i), "0.00E-00"),
Format$(fluencia3(i), "0.00E-00"), Format$(fluencia4(i), "0.00E-00")
```

```
Next i
```

```
Close #13
```

```
For i = 0 To 11
```

```
novaSens0(i) = Sensib_inicial * (1 - (1.5E-22 * fluencia0(i)))
```

```
novaSens1(i) = Sensib_inicial * (1 - (1.5E-22 * fluencia1(i)))
```

```
novaSens2(i) = Sensib_inicial * (1 - (1.5E-22 * fluencia2(i)))
```

```
novaSens3(i) = Sensib_inicial * (1 - (1.5E-22 * fluencia3(i)))
```

```
novaSens4(i) = Sensib_inicial * (1 - (1.5E-22 * fluencia4(i)))
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Sub GravaSaida()
```

```
'Open Directorio + "tendencia.txt" For Output As #8
```

```
For i = 0 To 24
```

```
MyTime = Format(Time, "h:m")
```

```
Print #8, MyTime, ":", Format(q0(i) / 1000, "0.00")
```

```
Next i
```

```
'Close #14
```

```
'Open Directorio + "saidac.txt" For Output As #16
```

```
Print #16, Now, Format$(c, "0.00E-00")
```

```
'Close #16
```

```
End Sub
```

```
Sub FormFalhadet()
```

```

Limpa alarme anterior
Falhadet.Text1.BackColor = Branco
Falhadet.Text2.BackColor = Branco
Falhadet.Text3.BackColor = Branco
Falhadet.Text4.BackColor = Branco
Falhadet.Text5.BackColor = Branco
Falhadet.Text6.BackColor = Branco
Falhadet.Text7.BackColor = Branco
Falhadet.Text8.BackColor = Branco
Falhadet.Text9.BackColor = Branco
Falhadet.Text10.BackColor = Branco

```

```

Falhadet.Text11.Text = elemento + 1
Falhadet.Text13.Text = elemento + 1
feixe1 = feixe(elemento)
Falhadet.Text1.Text = Format$(I_falha0(feixe1), "0.00E-00")
Falhadet.Text2.Text = Format$(I_falha1(feixe1), "0.00E-00")
Falhadet.Text3.Text = Format$(I_falha2(feixe1), "0.00E-00")
Falhadet.Text4.Text = Format$(I_falha3(feixe1), "0.00E-00")
Falhadet.Text5.Text = Format$(I_falha4(feixe1), "0.00E-00")

```

```

Falhadet.Text6.Text = Format$(I_det0(feixe1), "0.00E-00")
Falhadet.Text7.Text = Format$(I_det1(feixe1), "0.00E-00")
Falhadet.Text8.Text = Format$(I_det2(feixe1), "0.00E-00")
Falhadet.Text9.Text = Format$(I_det3(feixe1), "0.00E-00")
Falhadet.Text10.Text = Format$(I_det4(feixe1), "0.00E-00")

```

'alerta falha detetor

```

faixa1(feixe1) = I_falha0(feixe1) < 1.1 * I_det0(feixe1) And I_falha0(feixe1) > 0.9 * I_det0(feixe1)
If faixa1(feixe1) = False Then
Falhadet.Text1.BackColor = Vermelho
End If

```

```

faixa1(feixe1) = I_falha1(feixe1) < 1.1 * I_det1(feixe1) And I_falha1(feixe1) > 0.9 * I_det1(feixe1)
If faixa1(feixe1) = False Then
Falhadet.Text2.BackColor = Vermelho
End If

```

```

faixa1(feixe1) = I_falha2(feixe1) < 1.1 * I_det2(feixe1) And I_falha2(feixe1) > 0.9 * I_det2(feixe1)
If faixa1(feixe1) = False Then
Falhadet.Text3.BackColor = Vermelho
End If

```

```

faixa1(feixe1) = I_falha3(feixe1) < 1.1 * I_det3(feixe1) And I_falha3(feixe1) > 0.9 * I_det3(feixe1)
If faixa1(feixe1) = False Then
Falhadet.Text4.BackColor = Vermelho
End If

```

```

faixa1(feixe1) = I_falha4(feixe1) < 1.1 * I_det4(feixe1) And I_falha4(feixe1) > 0.9 * I_det4(feixe1)
If faixa1(feixe1) = False Then
Falhadet.Text5.BackColor = Vermelho
End If

```

End Sub

```

Sub FormCalibTermica()
CalibTermica.Text6.Text = Format$(Ptermica, "0.00E-00")
CalibTermica.Text4.Text = Format$(c, "0.00E-00")

```

```

CalibTermica.Text5.Text = Format$(novoc, "0.00E-00")
CalibTermica.Text3.Text = calibdata
End Sub

```

```

Sub FormSensibilidade()
'rotina para atualizar dados na tela

```

```

'Sensibilidade.HScroll1.Value = elemento
Sensibilidade.Text2.Text = "Rh"

```

```

Sensibilidade.Text3.Text = Format$(Sens_Rh0(elemento) * 6, "0.00E-00")
Sensibilidade.Text4.Text = Format$(Sens_Rh1(elemento) * 6, "0.00E-00")
Sensibilidade.Text5.Text = Format$(Sens_Rh2(elemento) * 6, "0.00E-00")
Sensibilidade.Text6.Text = Format$(Sens_Rh3(elemento) * 6, "0.00E-00")
Sensibilidade.Text7.Text = Format$(Sens_Rh4(elemento) * 6, "0.00E-00")

```

```

Sensibilidade.Text8.Text = Format$(novaSens0(elemento) * 6, "0.00E-00")
Sensibilidade.Text9.Text = Format$(novaSens1(elemento) * 6, "0.00E-00")
Sensibilidade.Text10.Text = Format$(novaSens2(elemento) * 6, "0.00E-00")
Sensibilidade.Text11.Text = Format$(novaSens3(elemento) * 6, "0.00E-00")
Sensibilidade.Text12.Text = Format$(novaSens4(elemento) * 6, "0.00E-00")

```

```

End Sub

```

```

Sub formStatus()

```

```

Status.Text24.Text = Format$(coordenada(feixe_Rh))

```

```

'densid é a densidade calculada com o sinal do Rh
Status.Text1.Text = Format$(densid0(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text2.Text = Format$(densid1(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text3.Text = Format$(densid2(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text4.Text = Format$(densid3(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text5.Text = Format$(densid4(feixe_Rh), "0.00E-00")

```

```

'q é a densidade calculada on line com Pt
Status.Text6.Text = Format$(q0(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text7.Text = Format$(q1(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text8.Text = Format$(q2(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text9.Text = Format$(q3(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text10.Text = Format$(q4(feixe_Rh), "0.00E-00")

```

```

'mostra relação entre real atrasado Rh e extrapolado tempo real Pt
Status.Text11.Text = Format$(densid0(feixe_Rh) / q0(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text12.Text = Format$(densid1(feixe_Rh) / q1(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text13.Text = Format$(densid2(feixe_Rh) / q2(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text14.Text = Format$(densid3(feixe_Rh) / q3(feixe_Rh), "0.00E-00")
Status.Text15.Text = Format$(densid4(feixe_Rh) / q4(feixe_Rh), "0.00E-00")

```

```

'fc
Status.Text16.Text = Format$(fc0(feixe_Rh + 12), "0.00E-00")
Status.Text17.Text = Format$(fc1(feixe_Rh + 12), "0.00E-00")
Status.Text18.Text = Format$(fc2(feixe_Rh + 12), "0.00E-00")
Status.Text19.Text = Format$(fc3(feixe_Rh + 12), "0.00E-00")
Status.Text20.Text = Format$(fc4(feixe_Rh + 12), "0.00E-00")

```

```

End Sub

```

Sub Renumerar()

'Feixe de 0 a 11 = feixe com ródio

'Feixe de 12 a 24= feixe com platina

'Posicao = 0 a 24

'Para apresentação, a posição real=posicao + 1

feixe(20) = 0

feixe(22) = 1

feixe(24) = 2

feixe(16) = 3

feixe(18) = 4

feixe(14) = 5

feixe(11) = 6

feixe(5) = 7

feixe(7) = 8

feixe(9) = 9

feixe(1) = 10

feixe(3) = 11

feixe(0) = 12

feixe(2) = 13

feixe(4) = 14

feixe(6) = 15

feixe(8) = 16

feixe(10) = 17

feixe(13) = 18

feixe(15) = 19

feixe(17) = 20

feixe(19) = 21

feixe(21) = 22

feixe(23) = 23

feixe(12) = 24

posicao(0) = 20

posicao(1) = 22

posicao(2) = 24

posicao(3) = 16

posicao(4) = 18

posicao(5) = 14

posicao(6) = 11

posicao(7) = 5

posicao(8) = 7

posicao(9) = 9

posicao(10) = 1

posicao(11) = 3

posicao(12) = 0

posicao(13) = 2

posicao(14) = 4

posicao(15) = 6

posicao(16) = 8

posicao(17) = 10

posicao(18) = 13

posicao(19) = 15

posicao(20) = 17

posicao(21) = 19

posicao(22) = 21

posicao(23) = 23

posicao(24) = 12

coordenada(0) = "E1"

```

coordenada(1) = "E3"
coordenada(2) = "E5"
coordenada(3) = "D2"
coordenada(4) = "D4"
coordenada(5) = "C5"
coordenada(6) = "C2"
coordenada(7) = "B1"
coordenada(8) = "B3"
coordenada(9) = "B5"
coordenada(10) = "A2"
coordenada(11) = "A4"
coordenada(12) = "A1"
coordenada(13) = "A3"
coordenada(14) = "A5"
coordenada(15) = "B2"
coordenada(16) = "B4"
coordenada(17) = "C1"
coordenada(18) = "C4"
coordenada(19) = "D1"
coordenada(20) = "D3"
coordenada(21) = "D5"
coordenada(22) = "E2"
coordenada(23) = "E4"
coordenada(24) = "C3"
cotacm(0) = 6
cotacm(1) = 18
cotacm(2) = 30
cotacm(3) = 42
cotacm(4) = 54
End Sub

```

Sub Spline()

```

x(1) = -6
x(2) = 6
x(3) = 18
x(4) = 30
x(5) = 42
x(6) = 54
x(7) = 66
d = 12

```

```

maptotal = 0
For i = 0 To 24
'Atribui valores de y
'For i = 0 To 24
y(1) = 0
y(2) = Flu0(i)
y(3) = Flu1(i)
y(4) = Flu2(i)
y(5) = Flu3(i)
y(6) = Flu4(i)
y(7) = 0

```

'Determina a primeira diferencial = dif1

```

For k = 1 To 6
dif1(k) = (y(k + 1) - y(k)) / d
Next k

```

```

'Determina a segunda diferencial=dif2
For k = 2 To 6
dif2(k) = (dif1(k) - dif1(k - 1)) / d
Next k

```

```

'Determina derivada segunda
der(2) = dif2(2)
der(6) = dif2(6)
der(4) = (dif2(2) / 14) - 6 * (dif2(3) / 14) + 24 * (dif2(4) / 14) - 6 * (dif2(5) / 14) + (dif2(6) / 14)
der(3) = -(der(2) / 4) + 6 * (dif2(3) / 4) - (der(4) / 4)
der(5) = -(der(4) / 4) + 6 * (dif2(5) / 4) - (der(6) / 4)
der(1) = 2 * der(2) - der(3)
der(7) = 2 * der(6) - der(5)

```

```

'Determina os coeficientes dos 6 polinômios
For k = 1 To 6
c1(k) = der(k) / (6 * d)
c2(k) = der(k + 1) / (6 * d)
c3(k) = y(k) / d - (d * der(k) / 6)
c4(k) = y(k + 1) / d - (d * der(k + 1) / 6)
Next k

```

```

'Determina a corrente no centro do nó
'Existem 6 trechos, o nó 1 pertence ao trecho 1
'Identifica y para cada faixa [k,k+1]= discretiza xno
mapmedia(i) = 0
For k = 1 To 13

```

```

' xno = centro do nó
xno(k) = -6 + 6 * (k - 1)
a(k) = Int((((xno(k) + 6) / 6) + 2) / 2)
'x(a(k)) = centro do detector ou distancia extrapolada

```

```

Map(i, k) = c1(a(k)) * (x(a(k) + 1) - xno(k)) ^ 3 + c2(a(k)) * (xno(k) - x(a(k))) ^ 3 + c3(a(k)) * (x(a(k) + 1) - xno(k))
+ c4(a(k)) * (xno(k) - x(a(k)))
mapmedia(i) = mapmedia(i) + Map(i, k)

```

```

Next k
mapmedia(i) = (mapmedia(i) - Map(i, 1) - Map(i, 13) - Map(i, 2) / 2 - Map(i, 12) / 2) / 10
'Flu0(i) = Flu(2)
'Flu1(i) = Flu(3)
'Flu2(i) = Flu(4)
'Flu3(i) = Flu(5)
'Flu4(i) = Flu(6)
maptotal = maptotal + mapmedia(i)

```

```

Next i
maptotal = maptotal / 25

```

```

End Sub

```