

Pré-processador para o Código RELAP5, Programa de Análise de Acidentes Termo-Hidráulicos de Reatores Nucleares, Utilizando a Ferramenta Microsoft MS-EXCEL

Patrícia Andrea Paladino Biaty¹ e Gaiânê Sabundjian¹

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
patriciapaladino@uol.com.br e gdjian@ipen.br

RESUMO

O estudo termo-hidráulico utilizado para análise de acidentes e transientes em reatores nucleares, é feito com o uso de algumas ferramentas computacionais sofisticadas. A maioria destes programas possui uma filosofia realista (“best estimate”) e foi desenvolvida para simular acidentes e transientes em reatores refrigerados a água leve do tipo PWR (Pressurized Water Reactor) e sistemas associados. No entanto, com o objetivo de atender a demanda de trabalhos na área de licenciamento de instalações nucleares no país, a ferramenta selecionada é o código RELAP5 versão 3.3, que será o objeto de nosso estudo. Uma das maiores dificuldades na simulação de uma instalação nuclear com o código RELAP5/MOD3.3 é a quantidade de informações necessárias para a simulação de acidentes ou transientes termo-hidráulicos, que na maioria dos casos é muito grande. Além disto, existe a necessidade de uma quantidade razoável de operações matemáticas para os cálculos da geometria dos componentes. Portanto, a fim de facilitar a manipulação destas informações, viu-se a necessidade de se desenvolver um pré-processador amigável com o usuário para realização dos cálculos matemáticos para o código RELAP5. Uma das ferramentas utilizadas para alguns destes cálculos é o MS-EXCEL.

1. INTRODUÇÃO

O estudo termo-hidráulico utilizado para análise de acidentes e transientes em reatores nucleares, é feito com o uso de alguns códigos computacionais cujos principais são: RELAP5 [1], TRAC [2], ATHLET [3] e CATHARE [4].

O código RELAP5/MOD3.3 tem a capacidade de simular os principais acidentes de uma instalação nuclear. A idéia desse trabalho é desenvolver um pré-processador utilizando o MS-EXCEL, uma das mais populares e poderosas ferramentas para cálculos e fórmulas, na qual se viu sua potencialidade através da sua combinação com o VBA (Visual Basic for Applications) e suas macros. Outra ferramenta utilizada no trabalho foi o AUTOCAD para execução dos principais desenhos inseridos nas tabelas do EXCEL. O objetivo desse trabalho é utilizar essas ferramentas para construção de:

- Arquivo de fórmulas matemáticas de figuras geométricas, a fim de acessá-las na medida em que forem sendo necessárias;
- Planilha de cálculo dos dados geométricos;
- Planilha dos dados de entrada para o código, discriminados por meio de cores para diferenciar os dados calculados, dos obtidos por meio de outras fontes e dos assumidos por falta de informações suficientes da planta em estudo.

2. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

2.1. Código RELAP5/MOD3.3

O código RELAP5/MOD3.3 tem a capacidade de simular acidentes de perda de refrigerante primário por pequena ou grande ruptura (LOCA – Loss of Coolant Accident), acidentes de perda de potência elétrica, perda de água de alimentação, perda de vazão, etc. Este programa computacional possui um modelo de sete equações de conservação, sendo três para cada uma das fases (líquido e vapor), mais uma para gases não condensáveis e, finalmente, uma equação adicional para o tratamento do boro solúvel. Sendo que, esta análise do comportamento termo-hidráulico durante quaisquer destes acidentes ou transientes se aplica tanto para o circuito primário como para o secundário de uma instalação nuclear. O primeiro passo para simulação de uma planta com o RELAP5/MOD3.3 é a nodalização de um dos circuitos ou de ambos, em componentes hidrodinâmicos. Na modelagem procura-se fazer a representação geométrica mais realista possível através de componentes próprios do código, tais como: “PIPE” para tubulações, “BRANCH” para bifurcações ou “T’s”, “VALVE” para válvulas, “PUMP” para bombas, “SEPARATR” para separadores de vapor, entre outros. Além dos dados geométricos da planta, que fazem parte dos dados de entrada do código RELAP5, devem-se representar também as estruturas de troca de calor entre dois ou mais componentes ou com o ambiente, os sistemas de controle, os dados de cinética do reator e os dados dos materiais que constituem a planta.

Como exemplo de nodalização de um típico PWR, considera-se a Unidade Angra 2, um trabalho que vem sendo desenvolvido através de uma Cooperação Técnica entre o IPEN e os Institutos de Pesquisas da CNEN (CDTN e IEN) e a sede (CODRE, onde foi desenvolvida uma nodalização básica [6], Fig. 1, e estabelecido o regime permanente com o código RELAP5/MOD3.2.2g, versão anterior a atual, onde foram simulados alguns transientes a partir de um conjunto de dados de entrada, chamado “input” básico.

O trabalho citado anteriormente teve a finalidade de tornar o processo de qualificação da nodalização em caso de transiente o mais eficiente possível. No entanto, este processo de qualificação é bem complexo, pois deve ser observada, a correta adequação da lógica de atuação de sistemas, de funções de controle e proteção e das reais condições de contorno impostas ao problema que só devem atuar ao longo do transiente analisado.

Uma das maiores dificuldades na simulação de uma instalação nuclear com o código RELAP5/MOD3.3 é portanto, a quantidade de informações necessárias para a simulação de acidentes ou transientes termo-hidráulicos.

A modelagem de Angra 2, Fig. 1, sugerida para o código RELAP5, será tomada como exemplo para verificar a execução correta do pré-processador proposto nesse trabalho.

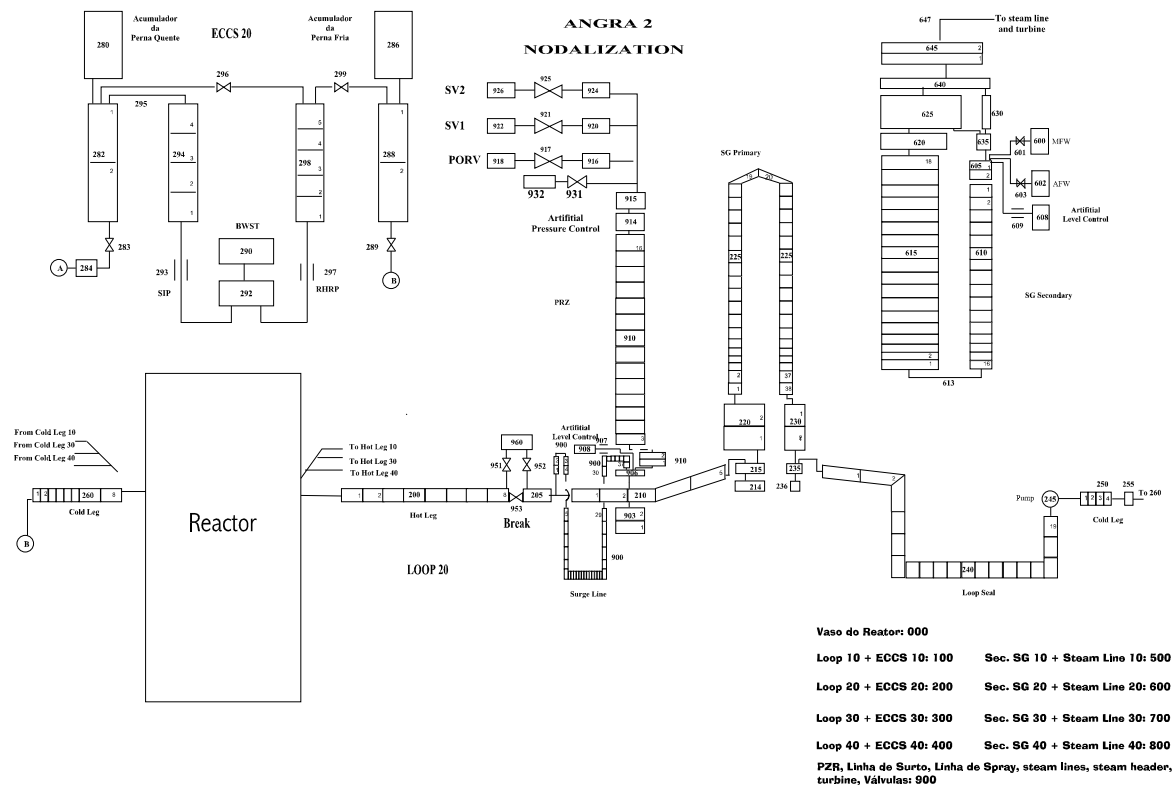


Figura 1. Nodalização de ANGRA 2 para o RELAP5.

2.2. Programa MS-EXCEL [8]

O Microsoft Excel é um programa de planilha para guardar e analisar números e dados. O Excel facilita a análise dos números, fórmulas e texto; é a mais conceituada e popular planilha de cálculo para o ambiente Windows, possuindo recursos avançados de formatação e tabelas práticas.

O Excel oferece um completo e aperfeiçoado ambiente de desenvolvimento integrado para escrever, executar, testar e depurar macros em VBA (Visual Basic for Application). O Excel possui um gravador de macros. Caso execute uma tarefa várias vezes no Microsoft Excel essa tarefa pode ser automatizada com uma macro. Uma macro é uma seqüência de comandos e funções armazenadas em um módulo do Visual Basic e pode ser executada sempre que se precisar executar a tarefa.

Quando uma macro é gravada, o Excel armazena informações sobre cada etapa executada. Em seguida, executa a macro para repetir ou "reproduzir" os comandos. O Visual Basic armazena cada macro em um novo módulo anexado a uma pasta de trabalho. Após a macro ser gravada, seu código é exibido com o Editor do Visual Basic para corrigir erros ou alterar o que a macro faz. O Editor do Visual Basic é um programa criado para facilitar a gravação e edição de código de macro. Com o Editor do Visual Basic é possível editar macros, copiar macros de um módulo para outro, copiar macros entre pastas de trabalho diferentes, renomear os módulos que armazenam as macros ou renomeá-las e principalmente escrever seqüências de comandos utilizando a linguagem VBA. A linguagem VBA suporta todos os "loops" comuns e controles de fluxos, sendo bastante útil no desenvolvimento deste trabalho.

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Como já mencionado anteriormente, a quantidade de cálculos geométricos da nodalização de uma planta nuclear típica é muito grande, assim como os dados de entrada para os programas de análise de acidentes termo-hidráulicos. Uma das formas de calcular os dados geométricos de uma planta nuclear é por meio de um “software” matemático. Um dos mais utilizados é o “MATHCAD”, sendo que este programa executa os cálculos matemáticos, uma vez que sejam digitadas todas as equações geométricas da planta num formato próprio do programa. Outra forma é através do cálculo algébrico, no qual o trabalho de cálculo além de ser extremamente grande leva os usuários do RELAP5 a cometerem muitos erros. Estes são alguns dos exemplos das dificuldades encontradas para o cálculo do “input” básico de uma planta nuclear para o RELAP5, como pode ser visto na referência [7], onde se encontram os cálculos dos dados de entrada de Angra 2 e se pode ter uma idéia da quantidade de informações necessárias para o código. A partir dessas dificuldades encontradas na elaboração da memória de cálculo de uma instalação nuclear, viu-se a necessidade de se desenvolver um pré-processador amigável com o usuário, para realização dos cálculos matemáticos.

Algumas tentativas neste sentido têm sido desenvolvidas com sucesso pelo professor Dr. Francesco D’Áuria, na Universidade de Pisa, o qual motivou o desenvolvimento desse trabalho.

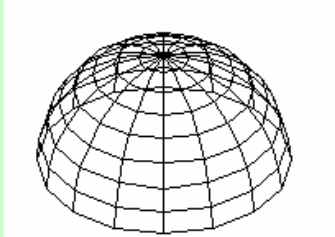
Esse trabalho é constituído da elaboração de uma planilha MS-EXCEL que contém a preparação dos dados geométricos de uma instalação nuclear e será também gerada por esta planilha os dados de entrada para o código RELAP5.

3.1. Desenvolvimento do Pré-processador

O trabalho foi desenvolvido através de uma planilha do EXCEL contendo as seguintes pastas de trabalho: apresentação, nodalização, formulário geométrico e entradas do RELAP.

As pastas de trabalho estão relacionadas entre si, de forma que o usuário possa introduzir dados sobre a geometria da parte localizada na nodalização e ao mesmo tempo ser gerado os dados de entrada para o código RELAP5.

Através de uma listagem de figuras geométricas é possível acessar o formulário geométrico, com valores diferenciados por cores, sendo o amarelo o dados que devem ser inseridos e o laranja, os dados que são calculados pelo formulário geométrico. As figuras geométricas são provenientes da ferramenta de desenho AUTOCAD, que permite também a construção dos sólidos em três dimensões. A Fig. 2 mostra um exemplo de um cálculo simples do formulário geométrico. A Tabela 1 detalha os cálculos dos dados geométricos necessários para o código RELAP5 para um componente PIPE (210) e um componente BRANCH (205) da nodalização de Angra 2 proposta na Fig. 2, e a visualização do “link” que permite o regresso para a listagem.

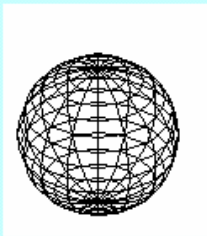


CALOTA ESFÉRICA DE RAIOS r E ALTURA h

Volume = $\frac{1}{3} \pi h^2 (3r - h)$
 Área da superfície = $2 \pi r h$

Entre com os dados: h =
r =

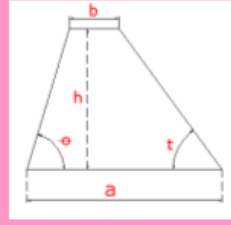
Volume =
 Área =



ESFERA DE RAIOS r

Volume = $\frac{4}{3} \pi r^3$
 Área da Superfície = $4 \pi r^2$

Entre com os dados:
 raio da esfera =
 Volume =



Trapezóide de altura h e lados paralelos a e b

área = $\frac{1}{2} h (a + b)$
 perímetro = $a + b + h (1/\text{sen} \theta + 1/\text{sen} t)$
 = $a + b + h (\text{cossec} \theta + \text{cossec} t)$

Entre com os dados: a = 2 Área = 15
b = 4 Perímetro = 20,14
h = 5
 $\theta = 45$
t = 45

Figura 2. Exemplo do formulário geométrico, com os dados fornecidos em amarelo e os dados calculados em cor de laranja.

Cada macro foi atribuída a uma tecla de atalho, que por sua vez foi atribuída a um botão na barra de ferramentas para facilitar a introdução dos dados.

À medida que a geometria é introduzida, o usuário interage com a planilha do EXCEL, introduzindo os dados que aparecerão em amarelo, enquanto a macro calcula os dados em laranja, que por sua vez geram a planilha do “input” do RELAP5, que pode ser vista através da Tabela 2.

Tabela 1. Entrada de dados e principais cálculos

Volume	geometria	Aesc	h	Vol	Diâmetro int	α	Dtub_externo	Dhid	θ (ângulo)	λ (rugos)	ELEV
100, 1	cilindro	0,4414	0,58	0,256012							
100, 2	cilindro	0,4414	0,58	0,256012							
100, 3	cilindro reto	0,441786467	0,665	0,293788	0,75		0,866	0,75		0,000015	0
100, 4	cilindro reto	0,441786467	0,665	0,293788	0,75		0,866	0,75		0,000015	0
100, 5	cilindro reto	0,441786467	0,665	0,293788	0,75		0,866	0,75		0,000015	0
100, 6	cilindro reto	0,441786467	0,665	0,293788	0,75		0,866	0,75		0,000015	0
100, 7	cilindro reto	0,441786467	0,665	0,293788	0,75		0,866	0,75		0,000015	0
100, 8	cilindro reto	0,441786467	0,665	0,293788	0,75		0,866	0,75		0,000015	0
Componente BRANCH											
105	cilindro reto	0,441786467	1,524	0,67328258	0,75		0,442	0,75		0,000015	0
Componente PIPE											
110, 1	cilindro reto	0,441786467	0,541	0,23900648	0,75			0,75		0,000015	0
110, 2	cilindro reto	0,441786467	0,541	0,23900648	0,75			0,75		0,000015	0
110, 3	cilindro reto	0,441786467	0,541	0,23900648	0,75			0,75	90	0,000015	0,4019
110, 4	cilindro reto	0,441786467	0,541	0,23900648	0,75			0,75	40	0,000015	0,2616
110, 5	cilindro reto	0,441786467	0,541	0,23900648	0,75			0,75	40	0,000015	0,2616

Tabela 2. Dados de entrada para o RELAP5 a partir da planilha de cálculos

2000000	hotpip2	pipe						
2000001	8							
2000101	0,4414	2	0,4418	8				
2000201	0	7						
2000301	0,58	2	0,773	6	0,295	7	0,6	8
2000401	0	8						
2000501	0	8						
2000601	0	8						
2000701	0	8						

4. CONCLUSÕES

Simplificar dados complexos é uma tarefa difícil. Construir um pré-processador que funcione com clareza, simplicidade, objetividade e eficiência é mais que um trabalho, é um processo em constante aperfeiçoamento. Através desse trabalho podemos concluir que muitas vezes programas como o MS-EXCEL, instalado em aproximadamente 400 milhões de computadores é utilizado em apenas 10% da sua potencialidade por usuários médios, fornecendo ferramentas muito poderosas.

Com o objetivo de facilitar a entrada dos complexos e numerosos dados do RELAP5, esse trabalho fornece também pré-requisitos para a construção de outros pré-processadores.

REFERÊNCIAS

1. ISL INC (2001), “RELAP5/MOD3 Code Manual” *NUREG/CR-5535*, USA (1994).
2. J.W. SPORE et al., “TRAC-PF1/MOD2 Theory Manual LA-12031- M”, *NUREG/CR-5673, VOL. I*, USA (1993).
3. K. WOLFER, G. LERCH, J. MIRO & H. SONNENBURG, “The GRS Thermal Hydraulic System Code ATHLET for PWR and BWR Analysis”, *3rd Int. Topical Meeting on Nuclear Power Plant Thermal Hydraulics and Operation*, Seoul, Korea (1988).
4. J. MICAELLY & D. BESTUIB, “CATHARE, the New Improved French Thermal Hydraulic Code for Safety Reactor Studies”, *Int. ENS/ANS Conference on Thermal Reactor Safety*, Avignon, France (1988).
5. A. A. MADEIRA & R. C. BORGES, “Relatório de Acompanhamento da Cooperação Técnica na CNEN para a Aplicação do Código Relap5 à Usina Angra 2 – Março/2001 (CODRE, IPEN, CDTN E IEN)”, *Comissão Nacional de Energia Nuclear, Relatório de Atividades RA-SUASE-04/2001*, Brasil (2001).
6. THE RELAP5 DEVELOPMENT TEAM, “RELAP5/Mod3 Code Manual, *NUREG/CR-5535 Report*”, **VOLs. 1-5**, Idaho National Engineering Laboratory, USA (1995).
7. G. SABUNDJIAN & D. A. ANDRADE, “Memória de Cálculo de Angra 2 com o código RELAP5/MOD3.2, P&D.CENT.CENT.005.00 – Relt.001.R00 – IPEN”, Brasil (2000).
8. B. JELEN & T. SYRSTAD, “Macros e VBA para Microsoft Excel” *Editora Campus* (2004).