

## MIGRAÇÃO DO CÓDIGO RELAP5 MOD2 PARA MICROCOMPUTADORES E ESTAÇÕES DE TRABALHO

Flavio de Araujo Filho<sup>\*...\*</sup>, Antonio Belchior Junior<sup>\*</sup> e Thadeu das Neves Conti<sup>\*\*</sup>

\* Coordenadoria para Projetos Especiais  
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242  
05508-900, São Paulo, SP  
...e.mail: fdaraujo@usp.br

\*\* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Rua do Matão, Travessa R, 400  
05508-900, São Paulo, SP

### RESUMO

Este trabalho apresenta os procedimentos seguidos para a adaptação das versões do código RELAP5/MOD2 de computadores de grande porte para processamento em estações de trabalho e microcomputadores. São comentados os problemas encontrados durante a migração para servir de auxílio para migração de outros programas, ou até mesmo de novas versões do código que sejam adquiridas. A qualidade dos resultados obtidos com as versões migradas é verificada através da comparação de quatro problemas amostra executados com a versão original e com as respectivas versões migradas para estações de trabalho e microcomputadores.

### INTRODUÇÃO

O advento de estações de trabalho e de microcomputadores de alta performance torna possível a utilização destes equipamentos para o processamento de códigos extensos. Diversos códigos computacionais, cujo processamento só era viável em computadores de grande porte, podem agora ser executados até mesmo em microcomputadores. As vantagens obtidas neste processamento são a facilidade de uso e o menor custo operacional.

O código RELAP5/MOD2 [1] é um sistema para análise de transientes em plantas nucleares que pode simular uma extensa gama de situações de interesse. Ele simula os sistemas primário, secundário, sistema de controle e núcleo de reatores a água pressurizada. A versão MOD2 foi desenvolvida a partir da ampliação e aprimoramento da versão anterior RELAP5/MOD1 de dezembro de 1980. O código foi implementado inicialmente em equipamento CDC sendo depois migrado

para outros equipamentos (IBM, CRAY, etc.). O RELAP5/MOD2 é constituído de cerca de 230 subrotinas em FORTRAN 77 num total de aproximadamente 70.000 linhas de programação.

A migração foi feita a partir da versão RELAP5/MOD2 / 3.05, obtida pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) do Departamento de Engenharia de Reatores do Instituto "Jozef Stefan" da Eslovênia, com autorização da NRC (Nuclear Regulatory Commission). Duas versões do código estavam disponíveis, uma para processamento em computadores da linha IBM e outra, originária desta anterior, adaptada para processamento em computadores da linha VAX. Por se tratar de uma versão menos modificada, a versão IBM foi escolhida para a migração para microcomputadores. Para a migração para estações de trabalho escolheu-se a versão VAX, pois o manual do compilador utilizado na estação de trabalho ressaltava a

compatibilidade entre a linguagem FORTRAN de ambos os equipamentos.

Este trabalho apresenta as etapas seguidas para a migração do código RELAP5/MOD2 para processamento em microcomputadores e estações de trabalho. São também apresentados os resultados de quatro casos amostra processados para validação da migração executada.

## MIGRAÇÃO PARA MICROCOMPUTADOR

**Compilador utilizado.** Utilizou-se o compilador LAHEY F77L-EM/32 [2] versão 5.01, um compilador FORTRAN para microcomputadores com arquitetura 386 (32 bits). O compilador LAHEY FORTRAN possibilita o processamento de programas de grande porte, mesmo com mais de 640 Kbytes, convenientemente sob o DOS 5.0.

O LAHEY FORTRAN conta com um depurador simbólico [3], que foi de grande auxílio na adaptação. Devido ao porte do código não foi possível depurá-lo na sua totalidade, assim, quando da ocorrência de problemas, foi necessário efetuar a depuração por partes, visualizando-se apenas as subrotinas de interesse em relação ao problema apresentado.

**Procedimentos.** Não há um procedimento específico para migração de códigos. Apesar da linguagem FORTRAN ser considerada uma das mais portáteis [4], na prática sempre é necessário alguma adaptação para que se processe o mesmo código em máquinas diferentes. A seguir descreveremos o procedimento utilizado para a migração do código.

Primeiramente, todos os comandos "COMMON" das diversas subrotinas foram extraídos para arquivos de mesmo nome do comando "COMMON" nele armazenado. Estes arquivos são incorporados ao programa na fase de compilação através do comando "INCLUDE". Com isto, caso seja necessário alterar o tipo ou dimensão de uma determinada variável pertencente a um "COMMON", altera-se apenas o arquivo para o qual este comando foi extraído, sem a necessidade de alterar cada subrotina em que o mesmo for utilizado.

O programa foi separado em arquivos individuais, cada qual com o mesmo nome da subrotina nele armazenada. Isto facilita bastante a localização da subrotina desejada em caso de necessidade de alteração, bem como acelera o processo de compilação uma vez que somente as subrotinas alteradas necessitam ser recompiladas. Para tanto, utilizou-se o aplicativo "make", incluído no pacote

FORTRAN utilizado, que através de informações contidas no arquivo "makefile" verifica a alteração de cada subrotina ou arquivo "INCLUDE" a partir de sua data e hora de gravação, gerenciando a compilação e ligação para geração do executável.

Uma vez montado o ambiente adequado para o processo (separação dos fontes, criação dos arquivos "INCLUDE" e preparação do arquivo "makefile") passou-se ao primeiro passo de compilação que consistiu em detectar, analisar e eliminar os erros causados pelas diferenças na sintaxe de comandos em diferentes compiladores.

A compilação do código não apresentou grandes problemas, exceto certas peculiaridades de linguagem, específicas de cada equipamento utilizado. Por exemplo, o compilador LAHEY utilizado não aceita o comando DATA com valores hexadecimais com palavras de mais de 8 bytes. Vários comandos DATA foram adaptados para tal situação, ou quebrando-se a palavra em múltiplos de 8 bytes ou utilizando o valor inteiro correspondente ao hexadecimal definido no código original.

Uma vez eliminados os erros de compilação passou-se para as adaptações necessárias para que o código processasse corretamente. Foram executados os casos testes disponíveis e os resultados comparados com os do código original. A cada discrepância ocorrida entre os resultados, uma análise era efetuada e passava-se à depuração das subrotinas envolvidas com o problema apresentado.

Dentre as adaptações necessárias pode-se destacar a verificação do alinhamento de variáveis com número diferente de bytes no comando "EQUIVALENCE". Isto ocorre devido ao fato que, nos computadores de grande porte da linha IBM, o byte mais significativo de dados com mais de um endereço de memória, ocupa o endereço mais baixo, ao contrário dos computadores da linha Intel, que seguem o padrão da Digital Equipment (DEC), colocando o byte mais significativo de dados de múltiplos endereços no endereço mais alto. Neste caso, foi de grande ajuda a disponibilidade de uma versão VAX uma vez que esta segue o mesmo padrão (DEC) e, por isso, já se encontrava adaptada a esta forma de estrutura de dados.

Além disto, nos computadores de grande porte as operações lógicas entre variáveis lógicas operam sobre todos os bits das mesmas. Na maioria dos compiladores para micro isto não ocorre pois é considerado que as variáveis lógicas só assumem dois valores .TRUE. ou .FALSE., assim, a operação entre variáveis lógicas tem como resultado 0 ou 1,

independente do número de bytes destas variáveis. Para solução de tal problema foi necessário definir estas variáveis como inteiras e utilizar as funções intrínsecas IAND, IOR, etc. para efetuar as operações.

Um problema que gerou um certa dificuldade para a detecção foi a ocorrência de um erro no compilador FORTRAN, que não calculava corretamente a operação de exponenciação quando um vetor era usado como expoente. Isto em certas situações levava a resultados diferentes do esperado. Para resolver o problema utilizou-se uma variável temporária para guardar o valor desejado, com a qual fez-se a exponenciação. Este "bug" inesperado, por se tratar de um erro do compilador e não do código gerado, suscitou dúvidas quanto à confiabilidade do compilador utilizado. Uma consulta ao fornecedor confirmou o "bug" e informou que o mesmo já foi solucionado na nova versão do compilador.

O código contava ainda com uma subrotina em linguagem de máquina que foi inicialmente implementada em linguagem FORTRAN. Tendo em vista que essa subrotina era excessivamente utilizada, ela foi implementada em linguagem de máquina do 386, visando acelerar o processamento. O compilador utilizado foi o 386ASM da PharLap.

## MIGRAÇÃO PARA ESTAÇÃO DE TRABALHO

**Compilador Utilizado.** Utilizou-se o compilador Sun FORTRAN [5], um compilador FORTRAN para estações de trabalho Sun com sistema operacional UNIX.

O Sun FORTRAN conta com um depurador simbólico interativo "dbxtool", que ao contrário do utilizado no microcomputador, é capaz de depurar o código na sua totalidade.

**Procedimentos.** Os procedimentos foram semelhantes aos descritos anteriormente. Primeiramente, foi montado um ambiente para compilação. O programa fonte foi dividido em módulos de aproximadamente 3000 linhas cada. Foi criado um arquivo "makefile" para gerenciar a compilação e ligação dos módulos.

Não foi encontrado nenhum problema na compilação, a não ser a existência de certas funções específicas de computadores VAX para obtenção de data, hora e tempo de processamento. Estas funções foram reescritas utilizando as suas funções equivalentes na estação de trabalho.

Após obtido sucesso na eliminação de todos os erros de sintaxe foram executados os

casos testes disponíveis. As discrepâncias de resultados em relação ao resultado do código original foram levantadas. Com a ajuda do depurador simbólico, as fontes destes erros foram identificadas e corrigidas.

Da mesma forma que na migração para microcomputadores, houve problemas no alinhamento de variáveis com tamanho diferente no comando "EQUIVALENCE". A estação de trabalho segue o mesmo padrão de endereçamento de dados de múltiplo endereço que os computadores de grande porte da linha IBM. Como a migração para a estação de trabalho foi efetuada a partir da versão VAX, a versão IBM foi utilizada para auxiliar na correção do alinhamento destas variáveis.

Na estação de trabalho, de mesmo modo que no microcomputador, as operações lógicas entre variáveis declaradas como lógicas são efetuadas de maneira diferente que nos computadores de grande porte. Entretanto, as operações lógicas na estação de trabalho fornecem os mesmos resultados que nos computadores de grande porte se, na estação de trabalho, as variáveis forem declaradas como inteiras. No microcomputador, este tipo de procedimento acarretaria em um erro de sintaxe.

Foi verificado ainda, um problema já existente na versão VAX original. Quando o programa era compilado sem a opção que prepara o programa executável para a utilização do depurador simbólico (diretiva "-g" do compilador) o valor de algumas variáveis não era fornecido corretamente. Este problema não pôde ser solucionado pois inexistia quando se utiliza o depurador simbólico. Além disto o fato de se acrescentar comandos para impressões intermediárias de variáveis durante a execução do programa também eliminou o problema.

## VALIDAÇÃO

O procedimento utilizado para a validação da migração foi a comparação de resultados de processamento com quatro casos teste recebidos com os fontes originais. Estes casos teste são utilizados, quando alguma alteração é efetuada no código original, para verificar se não foram introduzidas incorreções. A seguir apresenta-se uma descrição sucinta dos casos teste e a comparação de resultados obtidos com o processamento da versão original do RELAP e os códigos migrados

**Caso 1: EDWARD'S PIPE.** Uma simulação com uma estrutura hidrodinâmica térmica

simples, por exemplo o "Edward's Pipe" [6], é geralmente utilizada para verificar modificações efetuadas no código. Os resultados obtidos com a versão em microcomputador foram comparados com os resultados da versão implantada no IBM do IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) e foram absolutamente idênticos, salvo o tempo de processamento. A versão migrada para a estação de trabalho também forneceu resultados idênticos aos da versão implantada no VAX. Cabe no entanto ressaltar, que os resultados das duas versões originais, IBM e VAX são ligeiramente diferentes.

Para verificar a precisão da solução dois novos processamentos foram efetuados, restringindo-se mais o passo máximo de integração. Os resultados comparativos entre as versões originais e as versões migradas continuaram idênticos, e além disto os resultados obtidos com as versões originais ficaram muito mais próximos.

Na Tabela 1 apresentamos um resumo dos tempos de processamento com os três passos máximos de integração utilizados.

TABELA 1.- Tempos de processamento do Caso Teste 1 para os diferentes equipamentos.

passo máx. (s)	microcomputador	estação de trabalho	IBM
0.001	71.12	25.05	168.527
0.0005	127.152	47.51	295.910
0.00025	243.871	94.02	564.061

Um aspecto a ser mencionado é que, com os diferentes passos máximos de integração, os resultados obtidos para o mesmo equipamento não são os mesmos, indicando que a solução com passo máximo de 0,001 s utilizada como

caso teste original pode ser melhorada em termos de precisão.

**Caso 2: Planta PWR.** O sistema modelado é composto de dois circuitos de refrigeração. O primário é constituído de tubulações, vaso do reator contendo o núcleo, pressurizador com linha de surto, gerador de vapor e bomba. O secundário contém um gerador de vapor com separador, compartimento de vapor e região anular. Este caso apenas alcança o estado estacionário e sua continuação é feita no Caso 3 utilizando-se a opção "RESTART".

Nesta simulação, com o passo de integração limitado a 0,1 s, a solução alcançada ao fim do processamento aparentemente não era ainda o estado estacionário, resultando em valores levemente diferentes entre as diferentes versões do código. No entanto, quando se restringiu o valor do passo máximo de integração, os resultados obtidos com as diferentes versões se aproximam. Assim, estas diferenças são consequência da diferente precisão numérica de cada máquina e o fato dos resultados convergirem, à medida que se aumenta a precisão da solução, comprova que não houve erro na migração.

Para uma análise dos resultados obtidos foram selecionadas algumas variáveis cuja comparação de resultados pode ser observada na Tabela 2. Nesta tabela, podemos observar a comparação dos resultados obtidos com o processamento original IBM e o processamento no micro. Podemos observar uma pequena divergência menor que 3% na pressão no topo do gerador de vapor quando se utiliza um passo máximo de 0,1 s. Quando se restringe o passo de integração o processo apresenta uma solução mais refinada e esta diferença de resultados é eliminada, mostrando que a migração não introduziu erros no código.

TABELA 2. Comparação de resultados obtidos com o código migrado para microcomputador, o código original e o adaptado para estação de trabalho no caso teste 2.

passo máx. (s)	CPU	pressão no topo do GV (K)	nível do GV (M)	massa no primário (Kg)	massa no secundário (Kg)	temp. na saída do núcleo (K)	temp. vareta comb.(K)	nº total de passos	tempo proces. (s)
0,1	micro	2,44281E+06	2,9303	3063,70	3347,90	575,94	1192,90	1212,00	154,40
	IBM	2,51077E+06	2,9105	3039,90	3344,90	581,02	1194,70	1209,00	410,23
	est. trab.	2,51410E+06	2,9104	3040,10	3344,60	581,16	1194,90	1210,00	78,25
0,05	micro	2,50992E+06	2,9097	3056,50	3344,60	581,10	1194,70	2405,00	270,40
	IBM	2,50997E+06	2,9097	3056,50	3344,60	581,10	1194,70	2405,00	725,93
	est. trab.	2,50992E+06	2,9097	3056,50	3344,60	581,10	1194,70	2404,00	119,82
0,025	micro	2,50997E+06	2,9094	3056,50	3344,40	581,11	1194,70	4803,00	525,80
	IBM	2,50997E+06	2,9094	3056,50	3344,40	581,11	1194,70	4803,00	1392,17
	est. trab.	2,50997E+06	2,9094	3056,50	3344,40	581,11	1194,70	4802,00	231,14

**Caso 3: Continuação do Caso 2.** Este caso inicia a simulação a partir do estacionário alcançado no caso anterior, simulando então uma interrupção de energia elétrica. Os dados comparados são obtidos após 140 s de simulação após o início do transitório.

Foram efetuados três processamentos, o primeiro efetuou o "RESTART" a partir da solução alcançada no caso 2 com passo máximo limitado a 0,1 s. Nas duas simulações seguintes utilizou-se como dados de início os mesmos dados de "RESTART" obtidos no caso 2 com passo máximo de 0,025 s, de forma a igualar os sistemas no início do transitório.

Podemos observar na Tabela 3 os resultados de algumas das variáveis. À medida que se restringe o passo de integração, aumenta a precisão da solução e os resultados obtidos nas diferentes máquinas se aproximam. As diferenças encontradas são menores que 2%. Esta diferença diminui à medida que se

aprimora a solução, confirmando ser sua ocorrência devido à diferença de precisão dos processadores utilizados.

**Caso 4: Ruptura na Perna Quente de um PWR.** Este caso simula uma ruptura de 4" na perna quente de um PWR.

A Tabela 4 apresenta a comparação de resultados entre os processamentos após a simulação de 100 s.

As diferenças nos resultados obtidos são mínimas e não diminuem quando se restringe o passo máximo de integração, por serem consequência da diferença de precisão numérica dos equipamentos.

TABELA 3. Comparação de resultados obtidos com o código migrado para microcomputador, código original e estação de trabalho para o caso teste 3.

passo max. (s)	CPU	pressão no topo do GV (K)	nível do GV(M)	massa no primario (Kg)	massa no secund. (Kg)	temp. fluido no núcleo (K)	temp. vareta comb. (K)	n° total de passos	tempo proces. (s)
0.05 (b)	micro	2,21998E+06	2,4073	3012,10	1920,15	549,79	559,93	3254	413,95
	mainframe (a)	2,26299E+06	2,4596	3007,60	1932,60	549,88	559,77	3261	1058,45
	est. trab.	2,26673E+06	2,3152	2970,90	1844,80	551,31	560,97	3246	178,28
0.05 (c)	micro	2,25338E+06	2,4829	2959,50	1939,00	549,18	559,56	3284	391,41
	mainframe (a)	2,22436E+06	2,402	3004,00	1914,80	549,46	559,96	3267	2131,20
	est. trab.	2,22085E+06	2,4041	3004,00	1914,40	549,47	559,96	3266	174,96
0.025 (c)	micro	2,36158E+06	2,4903	2965,40	1970,40	551,86	560,46	6449	740,57
	mainframe (a)	2,38667E+06	2,4963	2956,70	1965,10	551,31	560,20	6410	4219,52
	est. trab.	2,27362E+06	2,4092	2951,80	1899,30	550,49	559,95	6400	342,11

(a) nestes casos utilizou-se o equipamento Vax, (b) passo máximo de 0.1 no estacionário (c) passo máximo de 0,025 s no estacionário

TABELA 4. Comparação de resultados obtidos com o processamento com o código RELAPJ original IBM, o migrado para microcomputador e o migrado para estação de trabalho para o Caso Teste 4.

passo máx (s)	CPU	potência total (WATTS)	Reatividade (Dollars)	massa total no primario (Lb)	massa total no secund. (Lb)	temperatura líquido em 100-1000 (DEGF)	temperatura vapor 100-1000 (DEGF)	pressão em 34501000 (Lbf/in2)	n° total de passos	tempo proces. (s)
0,05	micro	1,28164E+08	-15,804	648995,00	344793,00	535,59	535,45	927,28	2272,00	1158,33
	IBM	1,28163E+08	-15,807	648973,00	344784,00	535,65	535,50	927,70	2272,00	3076,40
	est. trab.	1,28162E+08	-15,809	648963,00	344797,00	535,71	535,56	928,18	2271,00	556,63
0,025	micro	1,28159E+08	-15,803	648854,00	346815,00	535,69	535,49	927,62	4264,00	2158,36
	IBM	1,28159E+08	-15,802	648801,00	346790,00	535,67	535,46	927,35	4264,00	5770,70
	est. trab.	1,28159E+08	-15,802	648829,00	346816,00	535,64	535,46	927,39	4263,00	1021,79
0,0125	micro	1,28154E+08	-15,794	649186,00	347674,00	535,46	535,34	926,43	8255,00	4110,19
	IBM	1,28152E+08	-15,799	649156,00	347673,00	535,58	535,42	927,06	8255,00	11093,68
	est. trab.	1,28152E+08	-15,799	649153,00	347674,00	535,58	535,42	927,08	8254,00	1979,46

## CONCLUSÕES

A migração do código RELAP5 MOD2 de computadores de grande porte para microcomputadores e estações de trabalho foi realizada. Após a comparação dos casos testes não se constatou nenhuma divergência excessiva nos resultados. As diferenças apresentadas são consequência da diferença de precisão entre os equipamentos e encontram-se em níveis inferiores à precisão dos resultados. Assim, pode-se concluir que, para os casos testados, a migração não introduziu erros no código. Entretanto, não é possível determinar se este conjunto de testes é suficientemente abrangente para garantir a operação do código migrado em outras situações. Assim seria conveniente determinar um conjunto de testes que garanta o resultado em todas as situações significativas.

Os tempos de processamento obtidos com a nova versão foram bastante satisfatórios, sendo que com o microcomputador utilizado processa-se a mesma simulação em 40% do tempo utilizado pelo computador IBM 4381, e na estação de trabalho em 15% deste tempo.

## ABSTRACT

This work presents the procedures used to adapt the mainframe version of the RELAP5/MOD2 code for processing in microcomputers and workstations. The problems that arose during the migration of the code are commented to help the migration of future versions of the RELAP5 code and also other programs. The quality of the migration is assured through comparison among the results of four sample problems executed with the original and modified versions of the RELAP5 code.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Victor H. Ransom, et al.; **RELAP5/MOD2 Code Manual**, vol 1 e 2, NUREG/CR-4312, EGG-2396, 1985.
- [2] Lahey **F77L-EM/32 FORTRAN Programmer's Reference**; Lahey Computer System, Inc, 1992
- [3] Lahey **Source On Line Debugger Reference**; Lahey Computer System, Inc, 1992
- [4] Metcalf, Michael; **FORTRAN Optimization**; Genebra, Suíça, Academic Press, 1985
- [5] Sun **FORTAN User's Guide**; Sun Microsystem, Inc, 1992
- [6] Edwards, A. R. and O'Brien, T. P.; **Studies of Phenomena Connected with the Despressurization of Water Reactors**, J. Brit. Nucl. Energy Soc., vol 2, p 135,125, 1970.