

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

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE TRANSIENTES PARA UM
REATOR NUCLEAR A ÁGUA PRESSURIZADA INTEGRAL**

IVAN DIONYSIO ARONNE

**Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do grau de
Doutor em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear – Reatores**

**Orientador:
Prof. Dr. Benedito Dias Baptista Filho**

SÃO PAULO

2009

Dedico esta tese:

À Celeste, Sérgio, Cristiane e Alexandre,
com quem eu aprendo continuamente a viver
e a ser feliz!

Aos meus pais, Dionysio e Trindade, que me
ensinaram a lutar pelos meus sonhos e
valores!

AGRADECIMENTOS

Para realizar este trabalho contei com a inestimável ajuda de várias pessoas, sem as quais não seria possível vencer este desafio. Menciono alguns nomes pela contribuição direta.

Ao Prof. Dr. Benedito Dias Baptista Filho pela orientação sempre segura e pelo suporte e incentivo nos momentos necessários.

À direção do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, pelo importante suporte administrativo e pela viabilização do uso dos laboratórios e infra-estrutura de TI.

À chefia do Serviço de Engenharia de Reatores do CDTN – EC3, na época da elaboração deste trabalho, Dr. João Roberto Loureiro Mattos, pelo estímulo recebido.

A toda a equipe da EC3, pelo apoio incondicional recebido, em particular à equipe do Laboratório de Termo-hidráulica, pelo inestimável suporte durante a fase de experimentos.

Ao colega Dr. Moisés Alberto Navarro, pelas discussões construtivas e sugestões proveitosas, na fase de experimentos, que me ajudaram a concluir esta pesquisa.

Ao Dr. Antônio Carlos Lopes da Costa, pela grande ajuda em conseguir o suporte necessário para conduzir este estudo.

Aos colegas Élcio Tadeu Palmieri e Carlos Vicente de Azevedo, da EC3, pela inestimável ajuda nas simulações e avaliações com o RELAP5, além das preciosas discussões e sugestões.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Barroso, pela confiança demonstrada ao longo dos anos e pelo incentivo recebido e motivação pelo tema.

À minha esposa, Dra. Maria Celeste R. L. Vasconcelos, pelo inestimável apoio, paciência e ajuda na elaboração e revisão desta tese.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE TRANSIENTES PARA UM REATOR NUCLEAR A ÁGUA PRESSURIZADA INTEGRAL

Ivan Dionysio Aronne

RESUMO

A demanda por energia no mundo moderno é crescente, em particular nos países em desenvolvimento. Dentre as fontes de energia atualmente disponíveis a opção nuclear tem merecido destaque pelas suas qualidades de não afetar o meio ambiente por meio de emissões de gases de efeito estufa e nem demandar grandes áreas. Porém, a sociedade tem requerido melhoria da segurança dos novos reatores e as empresas de energia necessitam maior disponibilidade das centrais. O projeto do IRIS, um reator nuclear integral a água pressurizada, vem atender a esses requisitos. Um sistema de identificação e classificação de transientes ajudaria a melhorar a segurança e a aumentar a disponibilidade do IRIS, melhorando sua competitividade. Como contribuição para o desenvolvimento de um sistema como esse foi desenvolvido e estudado o Sistema de Identificação e Classificação de Transientes – SICT com capacidade de monitorar a operação da central e disponibilizar informações sobre seu estado operacional. O SICT foi desenvolvido usando a técnica de redes neuronais, mais especificamente os Mapas Auto-Organizáveis (Self-Organizing Maps - SOM). Para o treinamento do SICT foram usados resultados de simulação do IRIS com o código RELAP5. Para comprovar a metodologia de usar resultados de simulações, cujos valores têm características diferentes daqueles medidos, foi feita uma aplicação do SICT para uma instalação experimental, o Circuito Térmico N^o 1 – CT1. A partir de experimentos termo-hidráulicos no CT1 e de simulações deste com o RELAP5, pôde-se verificar a validade dessa metodologia. Tem-se disponível para estudos futuros uma nodalização do CT1 validada, uma nodalização do IRIS testada para vários transientes, normais e anormais, e um banco de dados de resultados de simulação do IRIS. Está também disponível, em um CD em anexo a esta tese, os arquivos fontes do aplicativo desenvolvido, SICT, e de alguns programas auxiliares, os dados dos experimentos realizados no CT1 e dados de entrada e resultados de simulações do CT1 com o RELAP5.

DEVELOPMENT OF A TRANSIENT IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION SYSTEM TO AN INTEGRAL PRESSURIZED WATER REACTOR

Ivan Dionysio Aronne

ABSTRACT

The demand for energy in the modern world is growing, particularly in the developing countries. The nuclear option has been deserving prominence for their qualities of not impacting the environment through emissions of greenhouse gases and nor to demand great areas. However society requests improvement in the safety of new reactors and the utilities request larger availability of the power plants. The IRIS project of an integral nuclear pressurized water reactor proposes to fulfill those requirements. A system for identification and classification of transients would help to improve the safety and to increase the availability of the IRIS increasing its competitiveness. In order to contribute to the development of such a system it was developed in this work a System for Identification and Classification of Transients – SICT - capable of monitoring the operation of the reactor and of providing information on its operational state. SICT was developed using the technique of neural networks, more specifically the Self-Organizing Maps. Results of IRIS simulations with RELAP5 code were used to train the neural network of SICT. To demonstrate the correctness of the methodology of using simulation results, whose values have characteristics different from the measured ones, it was made a version of SICT for an experimental installation, the Thermal Circuit #1 - CT1. Experiments were run in this test facility and simulations of its operation were done with RELAP5. This CT1 version of SICT was then checked against the simulation and experimental data validating the methodology. As a result of the activities to develop SICT, it is now available for futures studies: the developed application, SICT, a database of experiments in CT1, a validated nodalização of CT1, a database of results of CT1 simulations, a nodalização of the IRIS tested for several normal and abnormal transients and a database with the results of IRIS simulations. Attached to this thesis is a CD with the source files of the application and of some auxiliary programs, the data from the experiments carried out in CT1 and the input data and simulation results of CT1 with RELAP5.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO 1	
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Elaboração e Organização da Tese	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 O Reator IRIS	6
2.1.1 Componentes Principais.....	7
2.1.2 Instrumentação e Controle	12
2.1.3 Segurança.....	15
2.1.4 Transientes e Acidentes Usados neste Desenvolvimento.....	18
2.2 Redes Neurais e Mapas Auto-Organizáveis.....	23
2.2.1 Histórico	23
2.2.2 Características Básicas das Redes Neurais Artificiais	24
2.2.3 O Aprendizado das Redes Neurais Artificiais	27
2.2.4 Mapas Auto-Organizáveis (<i>Self-Organizing Maps</i> – SOM)	29
2.2.4.1 Aprendizado da Rede SOM.....	30
2.3 Identificação e Classificação de Transientes com Redes Neurais	32
2.4 Simulação do IRIS	33
2.4.1 Simulação do IRIS com Modelo Simples (EES).....	34
2.4.2 Simulação Detalhada do IRIS (RELAP5)	36
2.4.2.1 O Código RELAP5	37
2.4.2.2 A Nodalização	38
2.4.2.3 Simulação dos Sistemas de Controle e Proteção do IRIS.....	41
2.4.2.4 Principais condições de Contorno.....	54
2.4.3 Simulação do Sistema de Controle (MODELICA)	54
3 METODOLOGIA	56
3.1 Descrição da Metodologia	56
3.2 Desenvolvimento do aplicativo SICT	58
3.3 Realização de experimentos	58
3.4 Simulações do CT1 com o RELAP5.....	59
3.5 Simulações do IRIS com o RELAP5.....	60
3.6 Treinamento do SICT para o CT1	61

3.7	Validação do SICT treinado para o CT1	62
3.8	Treinamento do SICT para o IRIS	63
3.9	Avaliação do SICT treinado para o IRIS	63
4	EXPERIMENTOS TERMO-HIDRÁULICOS	64
4.1	O Circuito Térmico número 1 – CT1	64
4.2	O Sistema de Coleta de Dados	69
4.3	A Aferição da Instrumentação	73
4.4	O Programa de Coleta de Dados	74
4.5	Matriz de testes	76
4.6	Caracterização dos Resultados Experimentais	79
4.7	Os Resultados Experimentais	89
4.7.1	Experimentos para teste e validação da instalação	90
4.7.2	Experimentos de Validação.....	98
5	SIMULAÇÕES COM O RELAP5.....	101
5.1	Simulações do CT1	101
5.1.1	Nodalização do CT1 para o RELAP5	101
5.1.2	Validação da modelagem.....	103
5.1.3	Resultados da Simulação do CT1 com o RELAP5.....	105
5.2	Simulações do IRIS	107
5.2.1	Nodalização do IRIS	108
5.2.2	Matriz de Simulações	110
5.2.3	Validação da nodalização do IRIS para o RELAP5.....	111
5.2.4	Resultados da Simulação do IRIS com o RELAP5	120
6	O SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE TRANSIENTES - SICT	121
6.1	A Linguagem de Programação	121
6.2	O Modelo	123
6.2.1	As Classes de Base	123
6.2.2	As Principais Classes e seus Inter-relacionamentos.....	124
6.2.3	A classe CDlgNet	126
6.2.4	A classe CDlgLearn.....	131
6.2.5	A Classe CShape	135
6.2.6	A Classe CNeuron.....	137
6.2.7	A Classe CNetwork	139
6.2.8	A Classe CNetworkInput	151
6.3	Arquivos Usados pelo Programa	160
6.3.1	Os Arquivos de Rede	160
6.3.2	Arquivos de Entrada, com Dados Externos.....	162
6.3.3	Arquivos de Saída do Treinamento	163

6.3.4	Arquivos de Saída do Monitoramento	169
6.4	O Uso do Modelo.....	171
7	APLICAÇÕES DO SICT.....	176
7.1	Aplicação do SICT para o CT1	177
7.1.1	Treinamento do SICT para o CT1	177
7.1.1.1	Parâmetros Termo-hidráulicos do CT1 para treinamento do SICT	178
7.1.1.2	Os <i>Buffers</i> para treinamento para o CT1.....	179
7.1.2	Uso do SICT com as simulações do CT1 com o RELAP5	197
7.1.2.1	Rede 5D2V com conjunto de <i>buffers</i> DR (CT1 – 5D2V – DR)	199
7.1.2.2	Rede 5D3V com conjunto de <i>buffers</i> DR (CT1 – 5D3V – DR)	206
7.1.2.3	Rede 7 com conjunto de <i>buffers</i> DR (CT1 – 710 - DR).....	213
7.1.2.4	Rede 7D1V com conjunto de <i>buffers</i> DR (CT1 – 7D1V - DR).....	219
7.1.2.5	Rede 810 com conjunto de <i>buffers</i> DR (CT1 – 810 - DR).....	224
7.1.2.6	Rede 8D3V com conjunto de <i>buffers</i> DR (CT1 – 8D3V - DR).....	231
7.1.2.7	Conclusões sobre as Redes usando o <i>buffer</i> DR para o CT1.....	236
7.1.2.8	Redes Triangular, Quadrada, Hexagonal e Cúbica com conjunto de <i>buffers</i> ALL (CT1 – D2V - ALL)	237
7.1.2.9	Conclusões sobre as redes Triangular, Quadrada, Hexagonal e Cúbica com conjunto de <i>buffers</i> ALL.....	247
7.1.3	Uso do SICT com resultados experimentais	247
7.1.3.1	Experimento 11: degraus ascendentes	248
7.1.3.2	Experimento 12: degraus descendentes.....	252
7.1.3.3	Experimento 18: rampas de 240 s ascendentes	255
7.1.3.4	Experimento 21: rampas de 240 s descendentes	257
7.1.3.5	Experimento 23: desligamento Bomba do Secundário.....	260
7.2	Aplicação do SICT para o IRIS.....	263
7.2.1	Dados para treinamento e avaliação do SICT para o IRIS.....	263
7.2.2	Uso do SICT com as simulações do IRIS com o RELAP5	266
7.2.2.1	REDE 810 para o IRIS com o conjunto de <i>buffers</i> ALL (IRIS-810-ALL).....	266
7.2.2.2	REDE 8D3V para o IRIS com o conjunto de <i>buffers</i> ALL (IRIS-810-ALL).....	271
7.3	Considerações sobre o uso do SICT.....	275
7.3.1	Considerações do uso do SICT com simulações do RELAP5	276
7.3.2	Considerações do uso do SICT com os resultados experimentais	276
7.3.3	Outras considerações.....	277
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	279
REFERÊNCIAS		283
APÊNDICE A.	CONVERSÕES DOS SINAIS MEDIDOS	289
APÊNDICE B	PROCEDIMENTOS PARA OPERAÇÃO DO CT1.....	293
APÊNDICE C	ARQUIVOS DE ENTRADA E SAÍDA DO SICT	297

APÊNDICE D	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	309
APÊNDICE E	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS NO CT1 E DE SUAS SIMULAÇÕES.....	335
APÊNDICE F	SIMULAÇÕES DO CT1 E AMOSTRAGENS PARA FORMAÇÃO DOS CONJUNTOS DE <i>BUFFERS</i> DE TREINAMENTO	340
APÊNDICE G	RESULTADOS DE SIMULAÇÕES DO IRIS.....	366

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Tempos de Residência do Fluido no IRIS e em ANGRA 2.....	114
TABELA 2 – Relação entre as faixas dos parâmetros nos conjuntos de <i>buffers</i> ALLOLD e ALLM	187
TABELA 3 – Faixa dos parâmetros nos conjuntos de <i>buffers</i> do CT1	196
TABELA 4 – Redes Hexagonais treinadas para o CT1.....	198
TABELA 5 – Redes com diferentes geometrias treinadas para o CT1	198
TABELA 6 – Sequência dos neurônios ativados durante o início dos degraus descendentes e durante os estados estacionários na rede CT1 - 5D2V – DR	201
TABELA 7 – Neurônios ativados durante o início dos degraus descendentes (DD) e durante os estados estacionários na rede CT1 - 5D2V - DR.....	201
TABELA 8 – Sequência dos neurônios ativados durante o início dos degraus ascendentes e durante os estados estacionários na rede CT1 - 5D2V - DR	202
TABELA 9 – Neurônios ativados durante o início dos degraus ascendentes e durante os estados estacionários na rede CT1 - 5D2V - DR.....	202
TABELA 10 – Sequência dos neurônios ativados durante o início dos degraus descendentes e durante os estados estacionários na rede 5D3V – DR..	208
TABELA 11 – Sequência dos neurônios ativados durante o início dos degraus ascendentes e durante os estados estacionários na rede 5D3V – DR....	209
TABELA 12 – Neurônios ativados durante o início dos degraus descendentes (DD) e durante os estados estacionários na rede 5D3V - DR	210
TABELA 13 – Neurônios ativados durante o início dos degraus ascendentes e durante os estados estacionários na rede 5D3V - DR.....	210
TABELA 14 – Neurônios associados aos estados estacionários a diversas potências na rede 5D3V - DR.....	211
TABELA 15 – Neurônios ativados durante o início dos degraus descendentes (DD), durante os estados estacionários e no interlavo entre eles na rede 710 - DR	215
TABELA 16 – Neurônios ativados durante o início dos degraus ascendentes (DU), durante os estados estacionários e no interlavo entre eles na rede 710 - DR	215
TABELA 17 – Neurônios ativados na CT1 – 7D1V – DR durante o início dos degraus descendentes, durante os estados estacionários e durante esses estados	220
TABELA 18 – Neurônios ativados na CT1 – 7D1V – DR durante o início dos degraus ascendentes, durante os estados estacionários e durante esses estados.....	220
TABELA 19 – Neurônios ativados durante o monitoramento da simulação PRESSURIZA70k na rede CT1 – 7D1V – DR.....	224

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

