

ALEXANDRE ACÁCIO DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ESPECIALISTA COM
OPERACIONALIDADE DE APRENDIZADO PARA OPERAR EM TEMPO
REAL COM SISTEMAS INDUSTRIAIS AUTOMATIZADOS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.

São Paulo

Exemplar original:2007

Exemplar Revisado:2007

ALEXANDRE ACÁCIO DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ESPECIALISTA COM
OPERACIONALIDADE DE APRENDIZADO PARA OPERAR EM TEMPO
REAL COM SISTEMAS INDUSTRIAIS AUTOMATIZADOS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia de Automação

Orientador:
Prof. Dr. Sergio Luiz Pereira

São Paulo
Exemplar original:2007
Exemplar Revisado:2007

Este exeplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 21 de Dezembro de 2007

Andrade. Alexandre Acácio

Sergio Luiz Pereira

FICHA CATALOGRÁFICA

Andrade. Alexandre Acácio

Desenvolvimento de Sistema Especialista com Operacionalidade de Aprendizado para Operar em Tempo Real com Sistemas Industriais Automatizados/ A.A. de Andrade, São Paulo, 2007.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Energia e Automação Eléctricas.

1.Automação Industrial 2.Sistemas Supervisórios e Sistemas Especialistas - Interligação 3. Aprendizado de Máquina 4 – Mineração de dados. I. Universidade de São Paulo . Escola Politécnica. Departamento de Energia e Automação Eléctricas II.

DEDICATÓRIA

À memória de Edile, sua presença será sempre sentida.

A Lina e Cairê por tornarem minha vida mais rica e interessante.

A minha mãe Marisa pelo amor, carinho, amizade, conselho e apoio durante toda a minha vida.

A toda minha família, especialmente a Conrado, o recém chegado que foi amorosamente aguardado.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela graça da vida.

A meu orientador, professor e amigo Sergio Luiz Pereira, pelo imprescindível apoio.

Ao amigo Frederico Augusto de Mello Prado, por ter novamente ficado ao meu lado com seu talento.

Aos Profs. Nicolas Lachiche e Peter Flach, que mesmo distantes apoiaram significativamente esse trabalho.

À Rockwell Automation e ao Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelos subsídios técnicos e pela infra-estrutura providenciada.

Ao Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes, pelo permanente e indispensável apoio ao longo da jornada.

Aos colegas do convênio EPUSP/Rockwell Automation do Brasil, pela amizade, paciência e apoio.

A todas as outras pessoas que de alguma forma colaboraram nesse trabalho.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Relatório de defesa pública de Tese do(a) Senhor(a) Alexandre Acácio de Andrade no Programa: Engenharia Elétrica, do(a) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Aos 23 dias do mês de novembro de 2007, realizou-se a Defesa da Tese do(a) Senhor(a) Alexandre Acácio de Andrade, apresentada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica - Área: Sistemas de Potência, intitulada:

"Desenvolvimento de sistema especialista com operacionalidade de aprendizado para operar em tempo real com sistemas industriais automatizados"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Vínculo do Docente	Sigla da Unidade	Resultado
Sergio Luiz Pereira	Presidente	EP - USP	Aprovado
Selma Shin Shimizu Melnikoff	Titular	EP - USP	Aprovado
Nelson Kagan	Titular	EP - USP	Aprovado
Yaro Burian Junior	Titular	UNICAMP - Externo	Aprovado
Walter Gomes da Cunha Filho	Titular	PUC-SP - Externo	Aprovado

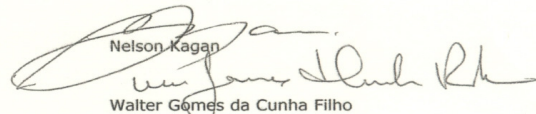
Resultado Final: + *Aprovado*

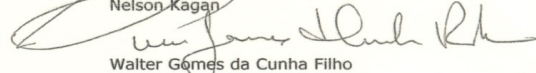
Parecer da Comissão Julgadora *

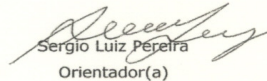
Eu, Elisabete Aparecida F da Silva Ramos _____, Técnico Acadêmico, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 23 dias do mês de novembro de 2007.


Selma Shin Shimizu Melnikoff


Yaro Burian Junior


Nelson Kagan


Walter Gomes da Cunha Filho


Sergio Luiz Pereira
Orientador(a)

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

Título homologado pela Comissão de Pós-Graduação em _____

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	SISTEMAS SUPERVISÓRIOS E AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS	1
1.2	OBJETIVOS DESTE TRABALHO DE PESQUISA	6
1.3	SISES - SISTEMA DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS E SUPERVISÓRIOS	7
1.3.1	<i>Arquitetura de hardware e arquitetura de software do SISES</i>	<i>10</i>
1.3.2	<i>Módulo de interface com sistemas supervisórios (MISS)</i>	<i>10</i>
1.3.3	<i>Módulo de Construção de Sistemas Especialistas (M.C.S.E.)</i>	<i>11</i>
1.3.4	<i>Considerações Gerais Sobre o Emprego de SS Operando com S.E.s</i>	<i>12</i>
1.3.5	<i>Características operacionais e relacionais de SE com a atividade da Engenharia do Conhecimento</i>	<i>13</i>
2	TÓPICOS DE APRENDIZADO COMPUTACIONAL E DE APRENDIZADO DE MÁQUINA	16
2.1	INTRODUÇÃO	16
2.2	APRENDIZADO COMPUTACIONAL	18
2.2.1	<i>Aprendizado-PAC - Probably Approximately Correct</i>	<i>20</i>
2.3	APRENDIZADO DE MÁQUINA (A.M.)	25
2.3.1	<i>Componentes básicos de um elemento de desempenho</i>	<i>26</i>
2.3.2	<i>Tipo de realimentação para aprendizado de máquina</i>	<i>27</i>
2.3.3	<i>Tipo de representação para conhecimento aprendido</i>	<i>28</i>
2.3.4	<i>Aprendizagem indutiva</i>	<i>30</i>
2.4	DESCOBERTA DE CONHECIMENTO EM BASES DE DADOS (<i>KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES - KDD</i>)	32
2.4.1	<i>Introdução à descoberta de conhecimento em bases de dados</i>	<i>32</i>
2.4.2	<i>O processo de aquisição de conhecimento</i>	<i>33</i>
2.4.3	<i>Armazéns de dados</i>	<i>34</i>
2.5	MINERAÇÃO DE DADOS - <i>DATA MINING</i>	35
2.5.1	<i>Introdução à mineração de dados</i>	<i>35</i>
2.5.2	<i>Principais tipos de dados de entrada na Mineração de Dados (M.D.)</i>	<i>36</i>
2.5.3	<i>Principais tipos de dados de saída na Mineração de dados - Representação de Conhecimento ..</i>	<i>38</i>
2.5.4	<i>Principais tipos de tarefas tratadas pela mineração de dados baseadas no tipo de dado a ser minerado</i> 41	
2.5.5	<i>Análise comparativa entre Aprendizado de Máquina e Mineração de dados</i>	<i>42</i>
2.6	APRENDIZAGEM EM ÁRVORES DE DECISÃO	44
2.6.1	<i>A estrutura das árvores de decisão</i>	<i>47</i>
2.6.2	<i>Limitações entre explicação x entendimento</i>	<i>47</i>
2.7	APRENDIZAGEM POR REGRAS DE ASSOCIAÇÃO	49
2.7.1	<i>Suporte e confiança</i>	<i>50</i>

2.7.2	<i>Algoritmo A priori</i>	52
2.7.3	<i>Algoritmo Tertius</i>	56
3	ARQUITETURA DE SOFTWARE DE NEURAL SISTEMA DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS E SUPERVISÓRIOS “NESISES”	59
3.1	MACRO-ARQUITETURA DE SOFTWARE DO NESISES	60
3.2	MÓDULO COGNITIVO META SISES	61
3.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÓDULO DECISÓRIO DO NESISES	62
4	METODOLOGIA DE TESTES E VALIDAÇÃO DO NEURAL SISTEMA DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS E SUPERVISÓRIOS “NESISES”	65
4.1	INTRODUÇÃO.....	65
4.2	TESTES DE SIMULAÇÃO.....	66
4.2.1	<i>Testes de simulação para determinação do grau de assertividade – duas variáveis</i>	67
4.2.2	<i>Testes de simulação para determinação do grau de assertividade - três variáveis</i>	76
4.2.3	<i>Testes de simulação de processo industrial automatizado</i>	82
4.2.4	<i>Análise de rastreabilidade dos testes de simulação de processo industrial automatizado</i>	82
4.2.5	<i>Avaliação dos testes de simulação de processo industrial automatizado</i>	84
4.2.6	<i>Análise de interface dos testes de simulação de processo industrial automatizado</i>	84
4.2.7	<i>Geração de plano e desenho de teste dos testes de simulação de processo industrial automatizado</i> 86	
4.3	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS TESTES DE SIMULAÇÃO COM O NESISES.....	87
4.3.1	<i>Aprendizado assertivo dos testes de simulação de processo industrial automatizado</i>	87
4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS TESTES DE SIMULAÇÃO COM O NESISES	94
4.5	TESTES DE CAMPO COM O NESISES	95
4.5.1	<i>Objetivos dos testes de Campo com o NESISES</i>	95
4.5.2	<i>Descritivo do processo automatizado empregado para testes de campo do NESISES</i>	95
4.5.3	<i>Aprendizado assertivo dos testes de campo com o NESISES</i>	101
4.5.4	<i>Análise de rastreabilidade dos testes de campo</i>	115
4.5.5	<i>Avaliação dos testes de campo</i>	116
4.5.6	<i>Análise de interface dos testes de campo</i>	116
4.5.7	<i>Geração de plano e desenho de teste dos testes de campo</i>	117
4.6	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS TESTES DE CAMPO COM O NESISES.....	118
4.7	ANÁLISE DOS RESULTADOS SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS TESTES DE CAMPO COM O NESISES	119
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
	ANEXO 1	127
	METODOLOGIA DE TESTES PRELIMINARES DO ALGORITMO TERTIUS	127
	ANEXO 2	135
	PROGRAMA LADDER ELABORADO PARA OS TESTES DE SIMULAÇÃO	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Exemplos de dispositivos constituintes nos níveis de controle industrial.....	2
Tabela 2.1– Principais formas de representação de conhecimento que são utilizadas em A.M.	29
Tabela 2.2 Principais tipos de representação de conhecimento em M.D. e seus principais usos. (Ye,2003)	40
Tabela 2.3 – Sistemas comerciais utilizados para mineração de dados com regras de associação	51
Tabela 4.1 – Base de dados completa das variáveis V1, V2, V4, V5, V7 e V8 duas a duas	68
Tabela 4.2 – Primeiro conjunto simulado de variáveis 2 a 2	74
Tabela 4.3 – Segundo conjunto simulado de variáveis 2 a 2	74
Tabela 4.4 – Terceiro conjunto simulado de variáveis 2 a 2	74
Tabela 4.5 – Sintaxe das regras do NESISES.....	75
Tabela 4.6 – Regras encontradas pelo NESISES.....	75
Tabela 4.7 – Primeiro conjunto simulado de regras NESISES.....	76
Tabela 4.8 – Segundo conjunto simulado de regras NESISES.....	76
Tabela 4.9 – Terceiro conjunto simulado de regras NESISES	76
Tabela 4.10 – Quarto conjunto simulado de regras NESISES.....	77
Tabela 4.11 – Quinto conjunto simulado de regras NESISES.....	77
Tabela 4.12 – Regras encontradas pelo NESISES para o primeiro conjunto simulado.....	77
Tabela 4.13 – Regras encontradas pelo NESISES para o segundo conjunto simulado	78
Tabela 4.14 – Regras encontradas pelo NESISES para o terceiro conjunto simulado	79
Tabela 4.15 – Regras encontradas pelo NESISES para o quarto conjunto simulado	80
Tabela 4.16 – Regras encontradas pelo NESISES para o quinto conjunto simulado	81
Tabela 4.17 – Padrões simulados para o NESISES.....	91
Tabela 4.18 – Principal regra simulada para o NESISES.....	91
Tabela 4.19 – Regras encontradas pelo NESISES.....	92
Tabela 4.20 – Variáveis adquiridas pelo NESISES para análise dos dados de campo.....	102
Tabela 4.21 – Cruzamentos de variáveis utilizadas para busca de regras nos dados de campo.....	103
Tabela 4.22 – Regras encontradas pelo NESISES para todas as variáveis do sistema	104
Tabela 4.23 – Regras encontradas pelo NESISES para as variáveis Armazém -2 / Recepção	105
Tabela 4.24 – Regras encontradas pelo NESISES para as variáveis Armazém-4 / Recepção	106
Tabela 4.25 – Regras encontradas pelo NESISES para as variáveis Armazém -6 / Recepção	107
Tabela 4.26 – Regras encontradas pelo NESISES para as variáveis Pátio / Recepção	108
Tabela 4.27 – Regras encontradas pelo NESISES para as variáveis Pátio / Tulha.....	109
Tabela 4.28 – Regras encontradas pelo NESISES para as variáveis Tulha / Armazém 2	110
Tabela 4.29 – Regras encontradas pelo NESISES para as variáveis Tulha / Armazém 4	111
Tabela 4.30 – Regras encontradas pelo NESISES para as variáveis Tulha / Armazém 6	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis de controle industrial	3
Figura 2 - Visão parcial de um sistema supervisório de um processo siderurgico de elevada complexidade.....	5
Figura 3 - Atuação dos operadores nos sistemas automatizados	8
Figura 4 - Exemplo de atuação do SISES em um sistema supervisório inserido em um sistema de automação.....	9
Figura 5 - Comunicação do SISES com o RSView32	11
Figura 6 - Arquitetura básica dos SEs gerados no MCSE.....	12
Figura 7 - A funcionalidade de um SE ao longo do tempo.....	14
Figura 8 - Hierarquia das principais técnicas de aprendizado computacional / de máquina	17
Figura 9 - Funcionalidade o erro obtido a partir de uma hipótese $h(x_i)$	22
Figura 10 - Diagrama de Espaço de Hipóteses, mostrando a ϵ -ball em torno da verdadeira função f	24
Figura 11 - Principais aspectos do aprendizado de máquina	26
Figura 12 - Tipos de realimentação para aprendizado de máquina.....	27
Figura 13 - Exemplo de aprendizagem por reforço	28
Figura 14 - O processo de aquisição de conhecimento em bases de dados	34
Figura 15 - Ilustração da multidisciplinarietà da mineração de dados	36
Figura 16 - Ilustração de atributos, instâncias e conceito em M.D.	37
Figura 17 - Árvore de decisão sobre exemplo do carro esportivo	46
Figura 18 – Algoritmo para geração itemsets freqüentes(pseudo código).(Agrawal 1993).....	53
Figura 19 – Função Apriori-gem, geração de itemsets candidatos (pseudo código)..(Agrawal 1993).	54
Figura 20 - Algoritmo Apriori em sua forma completa (pseudo código)..(Agrawal 1996).	55
Figura 21 – Algoritmo Tertius (pseudo código).	57
Figura 22 - Estrutura em forma de treliça do espaço de busca no algoritmo Tertius.....	58
Figura 23 - A funcionalidade do NESISES ao longo do tempo.....	60
Figura 25 - Arquitetura de software do M.C.M.S.....	62
Figura 26 - Operacionalidade dos módulos do NESISES	63
Figura 27 – Fluxograma operacional do software NESISES.....	64
Figura 28 - - Fluxograma de testes de validação do NESISES.....	65
Figura 29 - - Metodologia de testes e validação IEEE 1059 – 1993.....	66
Figura 30 - Fluxograma da rastreabilidade dos testes de simulação de processo industrial automatizado	84
Figura 31 – Interface do NESISES – módulo de mineração de dados na fase dos testes de simulação de processo industrial automatizado.....	85
Figura 32 – Plano e desenho de testes do NESISES na fase dos testes de simulação de processo industrial automatizado	86
Figura 33 – Processo de secagem de náilon	88
Figura 34 – Arquitetura básica dos testes de simulação	89
Figura 35 – Arquitetura de hardware do processo de armazenagem	97
Figura 36 – Arquitetura geral do processo de armazenagem automatizado.....	98
Figura 37 – Vista geral de tulha rodoviária automatizada	100
Figura 38 - Fluxograma da rastreabilidade dos testes de campo	116
Figura 39 - - Interface do NESISES – módulo de mineração de dados - testes de campo.....	117
Figura 40 - Plano e desenho de teste do NESISES - testes de campo	118
Figura 41 - Metodologia utilizada para testes preliminares – Tertius.....	128
Figura 42 - Utilização do algoritmo Tertius na plataforma WEKA.....	128

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:

