



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

**MÓDULO DE EXTRAÇÃO DE EVENTOS EM ASSINATURAS
DE POTÊNCIA DE VÁLVULAS MOTO-OPERADAS, USANDO
UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA O SISTEMA DE
DIAGNÓSTICO DE MOV'S UTILIZADO EM REATORES
NUCLEARES**

HELENA GUIMARÃES PERRENOUD

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

Orientador:
Dr. Aucyone Augusto da Silva

**São Paulo
2001**

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

**MÓDULO DE EXTRAÇÃO DE EVENTOS EM ASSINATURAS DE
POTÊNCIA DE VÁLVULAS MOTO-OPERADAS, USANDO UM
SISTEMA ESPECIALISTA PARA O SISTEMA DE DIAGNÓSTICO
DE MOV'S UTILIZADO EM REATORES NUCLEARES**

HELENA GUIMARÃES PERRENOUD



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

Orientador:
Prof.Dr. Aúcyone Augusto da Silva

São Paulo
2001

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Aucyone Augusto da Silva pela oportunidade oferecida e por sua orientação e amizade durante o desenvolvimento desta dissertação.

Eu gostaria de agradecer ao Dr. Ulysses d' Utra Bitelli, à Dra. Gaiane Sebundjan, à Dra. Iza Melão e à Dra. Eliane Simões Martins por aceitarem o convite de participarem como membros da banca de minha dissertação.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisas Tecnológicas por fornecer um suporte financeiro para a realização deste trabalho.

Ao Centro de Engenharia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP pela acolhida durante a realização deste trabalho. Em especial ao Dr. Daniel Kao Sun Ting pelas discussões técnicas durante a realização do mesmo.

Eu estou muito agradecida pelo suporte dado por Roberto Navarro de Mesquita durante a realização deste mestrado.

Meus sinceros agradecimentos a Rosani Maria Libardi da Penha e Márcia Orrico Pupak que contribuíram com minha dissertação através do encorajamento e sugestões dadas.

Ao amigo Carlos Eduardo Santi por sua atenção, revisão e comentários construtivos feitos no decorrer deste trabalho.

Ao revisor externo deste trabalho Iran Mamedes de Amorim.

Àqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e não foram citados.

MÓDULO DE EXTRAÇÃO DE EVENTOS EM ASSINATURAS DE POTÊNCIA DE VÁLVULAS MOTO-OPERADAS, USANDO UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA O SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE MOV'S UTILIZADO EM REATORES NUCLEARES

Helena Guimarães Perrenoud

RESUMO

Um programa de manutenção preditiva em válvulas moto-operadas (MOV) é realizado todos os anos em Angra I tendo como objetivo aumentar a segurança e a confiabilidade da usina nuclear detectando mais cedo falhas e permitindo o diagnóstico da degradação das válvulas. As atividades de manutenção preditiva anuais, verificam várias MOV tipo checagem de balanço, gaveta e globo. A análise de dados executada, permite por exemplo indicar que algumas válvulas deveriam ser reparadas, isto é, deveria ser alterada a chave de torque, a chave de limitorque. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um programa computacional para selecionar os parâmetros dos eventos característicos ocorridos nas assinaturas de potência do motor em válvulas moto-operadas durante os ciclos fechamento – abertura e abertura – fechamento. Os resultados obtidos do programa computacional são associados a um Sistema Especialista construído para permitir a identificação dos eventos característicos das válvulas moto-operadas. A análise da assinatura de potência permite a obtenção de uma série de informações sobre as condições dos equipamentos e podem facilmente ser obtidas de forma remota durante a operação normal da instalação. Este trabalho apresenta uma nova abordagem na obtenção das características das assinaturas conseguindo obter seus reais valores em amplitude de potência e instantes de ocorrência sem causar atenuação e/ou deslocamento do instante de ocorrência, ou seja, sem a modificação da morfologia do sinal como ocorre na metodologia utilizada em trabalhos anteriores.

Motor-Operated Valve Signatures Events Extraction Module using an Specialist System for the Nuclear Power Plant MOV Diagnostic System

Helena Guimarães Perrenoud

ABSTRACT

A predictive maintenance program for Motor-Operated Valves is performed every year at Angra I Nuclear Power Plant in order to detect early failures of the valves and to diagnosis the valve degadation. The purpose of this maintenance program is to increase the reactor reliability and security. The main predictive maintenance activities are usually performed in the Swing Check-Valves, Gate Valves and Globe Valves. The valves data analysis usually performed during the plant outage allows one to detect any failure and adjust the valves parameters like torque-switch and limitorque. The main purpose of this thesis is to develop a computer program to select the valve events parameter using the valve power signature during the closed-open and open-closed cycles. The results obtained by the developed algorithm are connected to a developed specialist system to perform the valves events identification. An important contribution of this thesis is that the valves signature features are obtained without changing the signal morfology.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Gerais.....	1
1.2 Justificativa do Trabalho	5
1.3 Objetivos e Aspectos Relevantes do Trabalho.....	6
1.4 Organização do Trabalho.....	8
2 VÁLVULAS.....	10
2.1 Introdução	10
2.2 Válvulas de Segurança	13
2.3 Estruturas e Operação de Válvulas Moto-Operadas ^[1]	14
2.4 Descrição de Diferentes Tipos de Válvulas.....	16
2.4.1 Válvulas tipo Esfera ^[14]	16
2.4.2 Válvulas tipo Gaveta ^[11]	19
2.4.3 Válvulas tipo Globo ^[14]	21
2.4.4 Válvulas Tipo Agulha ^[14]	23
2.4.5 Válvulas Tipo Alívio ^[14]	25
2.4.6 Válvulas tipo Borboleta ^[16]	25
2.5 Anomalias em Válvulas Moto-Operadas (MOVs)	25
2.5.1 Exemplos de Falhas em MOVs	27

2.5.2	Características da Assinatura em Potência	31
2.6	Manutenção de MOVs	35
2.6.1	Filosofia da Manutenção	35
2.6.1.1	Manutenção Preventiva	36
2.6.1.2	Manutenção Preditiva	37
2.6.1.3	Manutenção Proativa	39
2.6.2	Reator Nuclear de Angra	39
2.6.3	Rotina de Manutenção das Válvulas Moto-Operadas (MOV) de Angra I	40
2.6.4	Aquisição e Análise de Dados em Angra I	41
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	44
3.1	Sistemas de Diagnóstico de Válvulas Moto-Operadas	44
3.1.1	Sistema MOVATS	45
3.1.2	VOTES (Valve Operation Test and Evaluation System) ^[1,20]	46
3.1.3	Sistema de Diagnóstico de Válvulas Moto – Operadas ^[1]	46
3.1.4	MAC (Motor Actuator Characterizer) ^[1]	47
3.1.5	Sistema de Diagnóstico e Controle Microprocessado ^[1]	47
3.1.6	ARDIS (Armatures Diagnose System)	48
3.1.7	Sistema de Diagnóstico de Válvula Siemens (MCC, SIPLUG) ^[23]	49
3.1.8	UltraCheck “M” 2000 ^[20]	50
3.2	Sistemas de Diagnóstico e Monitoramento de Válvulas Moto-Operadas Utilizando Sistema Especialista	50
3.2.1	Sistema MOVEX	51
3.2.2	Sistema MOVEX II	52
3.2.3	Sistema PowerMOV	53
3.2.4	Sistema PowerMov II	55
3.3	O Módulo de Pré-Processamento (Extração dos Eventos Característicos) do MOVEX	56

4	ALGORITMOS PARA SELEÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ASSINATURAS.....	59
4.1	Considerações Iniciais	59
4.2	Reconhecimento de Padrões	59
4.2.1	Abordagem Estatística	61
4.2.2	Abordagem Sintática	61
4.2.3	Sistema Neuronal.....	62
4.2.4	Sistema Difusa ou “Fuzzy”	62
4.3	Seleção de Características	62
4.4	Algoritmo de Detecção de Picos	64
4.5	Algoritmo de Zona Plana.....	68
4.6	Algoritmo de Vales	70
5	SISTEMA ESPECIALISTA.....	72
5.1	Introdução	72
5.2	Significado de um Sistema Especialista.....	73
5.3	A Origem dos Sistemas Especialistas e Engenharia de Conhecimento ^[31]	75
5.4	Classificação de Sistemas Especialistas	76
5.5	Arquiteturas de Sistemas Especialistas	79
5.6	Justificativas para o uso de Sistemas Especialistas ^[36]	81
5.7	Sistema Especialista na área nuclear ^[33]	83
5.8	Regras Desenvolvidas para a Construção do Sistema Especialista Aplicado a Válvula Moto-Operada	84
6	DESENVOLVIMENTO COMPUTACIONAL.....	91
6.1	Microsoft Visual Studio 6.0 ^[38]	91
6.2	Parte Computacional com algoritmos.....	94
6.3	Parte Computacional do Sistema Especialista.....	96

7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	113
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
	APÊNDICE A	123
A.1	Algumas Abordagens Clássicas para Modelamento de Incertezas ou Imprecisões ^[37,40]	123
A.1.1	Fatos de Certeza	126
A.1.2	Abordagem Baseada na Lógica “Fuzzy” e Teoria da Possibilidade.....	127
	APÊNDICE B	129
B.1	Programa com o código fonte para teste do algoritmo de detecção de picos	129
B.2	Programa implementado em Visual C++ para a seleção da característica Vale das assinaturas	149
B.3	Programa implementado do Sistema Especialista	156

LISTA DE TABELAS

	Página
2.1 - Características do ciclo de abertura para fechamento	32
2.2 - Características do ciclo de fechamento para abertura	33
2.3 - Características do ciclo de fechamento para abertura	35
2.4 - Seqüência de canais e parâmetros associados	41
5.1 - Tabela com dados de referência	90
7.1 - Valores obtidos da MOV 8804B2	100
7.2 - Valores obtidos da válvula 8804A	102
7.3 - Valores obtidos do programa computacional	104
7.4 - Valores obtidos da válvula PV1527	106
7.5 - Valores obtidos da válvula PV1528	108
7.6 - Valores obtidos do algoritmo de teste do conjunto simulado S1_8804B3	110

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1.1 - Válvula Moto-Operada.....	2
Fig. 1.2 - Diagrama de blocos do Sistema de Diagnóstico de MOVs	7
Fig. 2.1 - Válvula tipo gaveta ^[11]	11
Fig. 2.2 - Válvula comandada por cilindro hidráulico ^[11]	13
Fig. 2.3 - Diagrama simplificado de uma estrutura de válvula moto-operada ^[1]	14
Fig. 2.4 - Típica válvula tipo esfera.....	17
Fig. 2.5 - Típica válvula de checagem de balanço	18
Fig. 2.6 - Operação de válvula gaveta ^[14]	20
Fig. 2.7 - Válvula tipo gaveta ^[14]	21
Fig. 2.8 - Tipos de estruturas de válvulas globo ^[14]	21
Fig. 2.9 - Válvulas tipo globo ^[14]	22
Fig. 2.10 - Operação de uma válvulas globo ^[14]	23
Fig. 2.11 - Visão seccional de uma válvula tipo agulha ^[14]	24
Fig. 2.12A - Curva durante ciclo de abertura para fechamento de uma válvula tipo gaveta típica ^[16]	28
Fig. 2.12B - Curva durante ciclo de abertura para fechamento de uma válvula tipo gaveta com degradação na chave de torque ^[16]	29

Fig. 2.12C - Curva durante ciclo de abertura para fechamento de uma válvula tipo gaveta sem degradação na chave de torque ^[16]	29
Fig. 2.13A - Curva durante ciclo de fechamento para abertura de uma válvula tipo gaveta típica ^[16]	30
Fig. 2.13B - Curva durante ciclo de fechamento para abertura de uma válvula tipo gaveta com degradação de contato ^[16]	30
Fig. 2.13C - Curva durante ciclo de fechamento para abertura de uma válvula tipo gaveta sem degradação de contato ^[16]	31
Fig. 2.14 - Ciclo de abertura – para – fechamento (Tempo x Potência) ^[1]	32
Fig. 2.15 - Ciclo de fechamento – para – abertura (Tempo x Potência) ^[1]	33
Fig. 2.16 - Ciclo de abertura – para – fechamento (Tempo x Potência)	34
Fig. 2.17 - Ciclo de fechamento – para – abertura (Tempo x Potência)	34
Fig. 2.18 - Assinaturas de potência obtidas com o Windagem durante os ciclos de fechamento para abertura e abertura para fechamento .	43
Fig. 4.1 - Algoritmos Pico, saída do passo 1	66
Fig. 4.2 - Algoritmos Pico, saída dos passos 5 e 6.....	67
Fig. 4.3 - Algoritmos Pico, saída do passo 7	67
Fig. 4.4 - Algoritmo de Zona Plana, ilustra saída dos passos 1 a 9	69
Fig. 4.5 - Algoritmo Vale, ilustra a saída Algoritmo.....	70
Fig. 5.1 - Arquitetura básica de um Sistema Especialista.....	80
Fig. 6.1 - Tela de saída do programa para detecção de Vales.....	95
Fig. 6.2 - Tela de saída do módulo para extração dos eventos.....	95
Fig. 6.3 - Tela de saída do Sistema Especialistas	96
Fig. 7.1 - Assinatura da válvula 8804B3.....	99
Fig. 7.2 - Assinatura da potência da válvula 8804A	101
Fig. 7.3 - Assinatura da potência da válvula 8804B1	103
Fig. 7.4 - Curva da assinatura da potência da válvula PV1527.....	105

Fig. 7.5 - Curva da assinatura da potência do motor da válvula PV1528.....	107
Fig. 7.6 - Curva do conjunto de dados S1_8804B3 simulado.....	109
Fig. 7.7 - Ilustra testes realizados com um conjunto de dados simulado S1_8804B3	111
Fig. 7.8 - Ilustra testes realizados com um conjunto de dados simulado S1_8804B3	111
Fig. 7.9 - Ilustra testes realizados com um conjunto de dados simulado S1_8804B3	112
Fig. B.1 - Ilustra os arquivos gerados no Programa Vale	150
Fig. B.2 - Ilustra as classes desenvolvidas no Programa Vale.....	151
Fig. B.3 - Ilustra os arquivos de recursos gerados no Programa Vale	151

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

O monitoramento periódico de vários tipos de válvulas é um importante assunto operacional em plantas nucleares e indústrias de processos. Em plantas nucleares, a correta operação de válvulas moto-operadas (MOVs) é essencial para assegurar o bom desempenho de sistemas de segurança e de controle.

Em estudos realizados, foi calculado que em plantas nucleares problemas relacionados com válvulas consomem mais de 30% do orçamento de manutenção anual da indústria^[1].

Atualmente estão sendo realizados projetos e pesquisas, em institutos de pesquisa, empresas da área e universidades, como por exemplo, o Laboratório National Oak Ridge (ORNL), a Duke Energy Corporation, Siemens AG – Power Generation Group e Universidade do Tennessee entres outros. Esses projetos e pesquisas visam a melhoria do monitoramento e métodos de diagnósticos de válvulas. Para MOVs, a análise de assinaturas é um enfoque promissor no monitoramento de válvulas. Vários parâmetros são medidos durante a operação da válvula (tempo de operação da válvula), como por exemplo, o emperramento da haste da válvula (figura 1.1, ilustra algumas partes da válvula), ativações do chaveamento e potência do motor. Estas assinaturas (tempo versus parâmetro) são mostradas com o auxílio de um computador e um sistema especialista para diagnóstico. Uma avaliação é feita baseada em várias

características presentes nas assinaturas. É possível aplicar métodos mais sofisticados que incluem análise estatística e processamento de sinal digital, a fim de obter maiores informações dos dados.

A vantagem da análise de assinaturas é a sua capacidade em identificar degradações nas condições do atuador da válvula antes de uma falha. Isto faz com que a manutenção preditiva de MOV seja possível. Um programa de manutenção preditiva para MOV inclui o “baseline” (curva inicial das assinaturas das válvulas, antes de colocá-las em operação) e o levantamento da curva de tendências das assinaturas das válvulas.

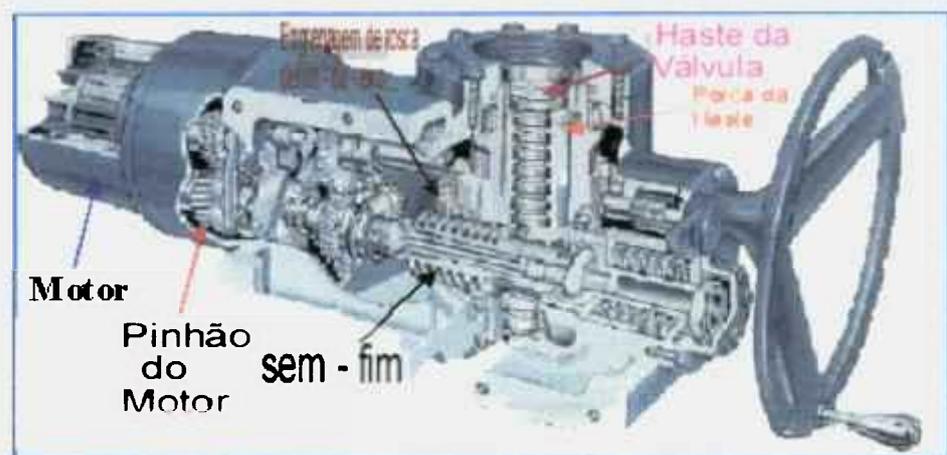


Figura 1.1 – Válvula Moto-Operada.

Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo de um sistema para automatizar algumas fases de teste da válvula. O sistema extrai automaticamente importantes características das assinaturas que utilizam métodos de reconhecimento de padrão. Estas características podem ser enviadas a um sistema especialista que diagnostica potenciais problemas nas válvulas e fornece recomendações para ações corretivas.

A tarefa básica em diagnósticos de válvulas moto-operadas é o reconhecimento de uma assinatura típica. Deve ser decidido se a assinatura de válvula é normal ou não. Adicionalmente, no caso de uma assinatura anormal,

deve ser determinada a classe de anomalia. Podem ser apresentadas assinaturas de válvula como combinações de eventos (primitivas) da assinatura, como picos, vales e degraus. Uma vez que estes eventos sejam determinados corretamente, o cálculo dos parâmetros para o diagnóstico é direto. Usando um sistema especialista, é possível incluir conhecimento sobre o aspecto geral das assinaturas de válvula que estejam faltando no esquema de reconhecimento do padrão básico. Exemplos de aplicações de reconhecimento de padrão sintático em diagnósticos incluem a análise do sinal biomédico.

Diagnóstico é uma das áreas de aplicação mais prósperas da tecnologia de sistemas especialistas. Aplicações de sistemas especialistas em diagnósticos de planta de usinas nucleares englobam: análise de vibração de máquinas rotativas, monitoramento da temperatura e teste de "eddy current" na tubulação do gerador de vapor^[1]. O principal motivo para o intenso uso de sistemas especialistas é a disponibilidade de vários desenvolvimentos e de ferramentas para microcomputadores, que são comumente usados em aplicações industriais.

A maioria das companhias que não começaram a implementar uma filosofia de manutenção preditiva está executando a manutenção baseada na estratégia preventiva ou está permitindo o funcionamento do equipamento até a sua quebra durante a operação. A implantação da manutenção preventiva estabelece um programa regular para executar ações de manutenção onde este programa é projetado para o caso da pior situação, segundo as informações de fabricantes sobre as estimativas de vida dos componentes de um equipamento. Porém, quando procedimentos de manutenção estão programados em intervalos de tempo pré-estabelecidos, muitas ações, como substituição de peças ou procedimentos de alinhamento, podem não ser necessárias. Esta filosofia de manutenção preventiva não responde suficientemente a uma possibilidade de falha prematura de componentes de uma válvula ou equipamento. Estes defeitos inesperados resultam em despesas de conserto muitas vezes mais altas que se o equipamento simplesmente tivesse sido removido de serviço antes que a falha acontecesse.

A chave para o sucesso de um programa de manutenção preditiva na área de válvulas moto-operadas envolve a análise de assinaturas das válvulas, que permite a análise mais eficiente e melhor dos dados medidos. A experiência humana e conhecimento de heurística são, em última análise, a base para as decisões finais relativas ao estado operacional de qualquer componente da válvula. Além do conhecimento pessoal de um especialista humano, são necessários métodos de aquisição, armazenamento e exibição dos dados medidos por instrumentos de aquisição de dados.

A maioria dos métodos desenvolvidos para automação da extração dos eventos característicos nas análises das assinaturas de válvulas envolvem a decomposição do sinal através do uso de alguns filtros digitais. Os filtros^[2] podem ser usados para separar estas características e permitir que elas sejam analisadas individualmente. Esta técnica tem algumas vantagens, como por exemplo, mostrar os picos separados onde estes representam os componentes de frequência individuais do sinal. Cada pico tem uma certa amplitude que está presente em sua frequência de oscilação. A frequência de um determinado pico pode ser associada com certo defeito que seria esperado àquela frequência por uma determinada configuração de máquina. O valor da amplitude de um pico pode ser usado para determinar a gravidade de um defeito diagnosticado. Mas, a utilização dessa técnica também apresenta desvantagens; alguns problemas podem ser encontrados com este tipo de manipulação do sinal com componentes de baixa frequência, normalmente abaixo de 5 Hz^[3]. Estas frequências são normalmente atenuadas devido ao acoplamento entre estágios do processamento de sinal.

Em um processo de automação de diagnóstico, componentes de baixa frequência são muito importantes para o correto diagnóstico de problemas relacionados à válvula, onde alguma atenuação pode resultar em erro de diagnóstico. Talvez a principal desvantagem no pré-processamento das análises de assinatura, utilizando filtros, está na amplitude em potência de um pico que é reduzida, podendo até ser perdida, isto é, um efeito conhecido por perda de processamento (processing loss)^[4]. Pode ocorrer também um atraso no tempo,

levando também a um diagnóstico errado, pois é muito importante a conservação do exato instante de ocorrência dos eventos característicos das válvulas. A extração das características da assinatura das válvulas, sem a utilização de filtros, é um dos focos desta dissertação. O desenvolvimento dos algoritmos para extração dos eventos característicos das válvulas, sem a utilização dos filtros, não é uma abordagem comum. A técnica desenvolvida é uma nova abordagem que visa uma melhor precisão nas características extraídas das válvulas.

1.2 Justificativa do Trabalho^[1, 5-9]

Os programas de manutenção preditiva de válvulas moto operadas (MOVs) têm recebido uma especial atenção e incentivo com base na norma "US NRC General Letter 89-10", depois da constatação de uma série de eventos de falhas em válvulas nos sistemas de segurança utilizados nas usinas nucleares.

O objetivo principal de se implementar um programa de manutenção preditiva é o de se poder diagnosticar, quanto antes possível, formas de degradação dos equipamentos e se tomar as devidas providências para se evitar incipientes falhas dos mesmos. Os benefícios na segurança e nos custos são vários ao se realizar um programa de manutenção de válvulas moto operadas, tais como: redução nas paradas imprevistas devido a problemas inesperados, melhoramento na disponibilidade da planta devido ao aumento do intervalo de tempo de parada para manutenção ou então pelo fato mesmo de se reduzir o número de paradas imprevistas ou incidentes na fase de start-up da planta e redução das falhas das válvulas e melhor planejamento de manutenção das mesmas.

Dentro desta filosofia, anualmente é realizado um programa de manutenção preditiva das válvulas moto-operadas na usina nuclear Angra I, de modo a permitir uma melhora de sua segurança e confiabilidade através do diagnóstico precoce de degradação dos equipamentos antes que ocorram quaisquer falhas. De acordo com uma programação, uma parte das cento e

cinquenta válvulas são testadas e através das análises dos dados pode-se verificar aquelas que necessitam uma manutenção mais cuidadosa.

1.3 Objetivos e Aspectos Relevantes do Trabalho

O objetivo principal deste trabalho é a implementação de um sistema especialista utilizando a plataforma de desenvolvimento Microsoft Visual Studio 6.0 para extração e análise dos eventos das válvulas moto-operadas. Este trabalho tem também como objetivo possibilitar a sua continuidade utilizando um conjunto de regras "Fuzzy"^[1,5-9] e/ou wavelets para o diagnóstico dessas válvulas, o qual focalizará os seus problemas mecânicos através da monitoração dos sinais de potência do motor elétrico.

As assinaturas de potência dos motores trarão uma série de informações sobre as condições dos equipamentos e estas podem facilmente ser obtidas de forma remota durante a operação normal da planta.

O módulo de extração de eventos desse trabalho foi proposto para fazer parte do Sistema de diagnóstico de MOVs, que está sendo desenvolvido para uma tese de doutorado^[10].

O módulo desenvolvido é constituído por duas partes. A primeira parte contém três algoritmos para extração dos eventos característicos, descritos no Capítulo 4. A segunda parte contém o sistema especialista para reconhecimento desses eventos extraídos na primeira parte (descrito no Capítulo 5).

O módulo de extração de eventos pode vir a ser inserido no Sistema de Diagnóstico de MOVs, de acordo com o diagrama de blocos abaixo:

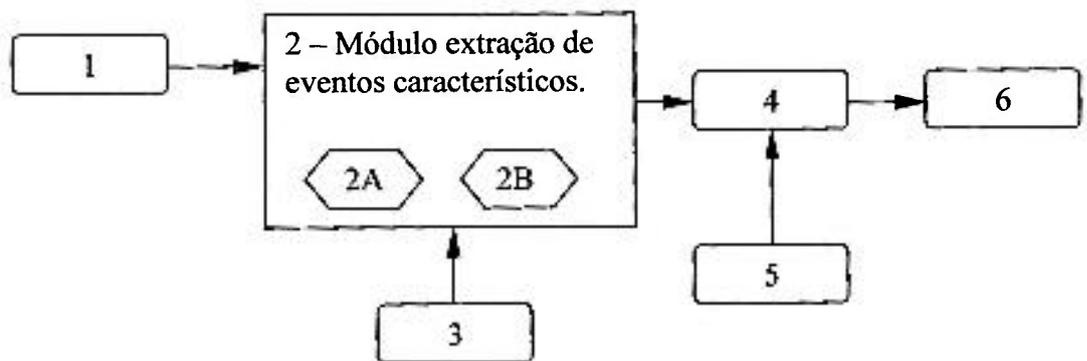


Figura 1.2 - Diagrama de blocos do Sistema de Diagnóstico de MOVs

Onde:

1 – Arquivo com o dado de potência da válvula

2 - Módulo extração de eventos característicos, que é composto por:

2A - Extração dos eventos característicos

2B - Sistema especialista

3 – Banco de dados das válvulas contendo seus valores de referências

4 - Sistema Especialista "Fuzzy"

5 – Base do Conhecimento

6 – Interface com o usuário, apresentando os resultados

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho é constituído por 9 capítulos.

O Capítulo 1 apresentou a motivação e o interesse deste tipo de trabalho para a planta nuclear de Angra I. Em seguida, foram apresentados os objetivos e a abrangência do trabalho, visando delinear seu escopo.

O Capítulo 2 traz uma descrição sobre alguns tipos de válvulas moto-operadas, suas estruturas e características. A filosofia de manutenção dessas válvulas e a aquisição de dados em Angra I.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica das técnicas já utilizadas para extração de características de válvulas moto-operadas e sistemas desenvolvidos para monitoramento e diagnósticos de MOVs.

O Capítulo 4 descreve os algoritmos desenvolvidos para extração dos eventos característicos das válvulas moto-operadas.

O Capítulo 5 apresenta uma descrição dos sistemas especialistas, descrevendo suas características, arquitetura e aplicações mais significativas. Este capítulo também apresenta a descrição do sistema especialista para reconhecimento dos eventos característicos das válvulas moto-operadas.

O Capítulo 6 descreve o programa desenvolvido, utilizando a plataforma de desenvolvimento Microsoft Visual Studio 6.0, cujo projeto se baseia nas informações contidas nos capítulos 3, 4 e 5

O Capítulo 7 apresenta resultados obtidos e realiza uma análise desses resultados.

O Capítulo 8 traz as conclusões do trabalho, indicando possíveis melhorias a serem realizadas em futuros trabalhos sobre o assunto.

O Capítulo 9 traz as referências bibliográficas utilizadas na elaboração dos capítulos anteriores.

O Apêndice A apresenta uma descrição complementar de algumas abordagens para o modelamento de incertezas ou imprecisões (probabilidades, fatores de certeza, lógica nebulosa e teoria da possibilidade).

O Apêndice B apresenta as partes principais dos códigos fontes desenvolvidos.

2 VÁLVULAS

2.1 Introdução

Uma válvula é um dispositivo destinado a estabelecer, controlar e interromper o fluxo em uma tubulação. Válvulas são consideradas como sendo os acessórios mais importantes existentes nas tubulações e, devido a isso, necessitam de cuidados especiais durante a sua especificação, escolha e localização, pois são mecanismos que permitem controlar a direção do fluxo de fluido, sua pressão e vazão (quantidade de fluido que passa por um ponto do circuito num certo tempo) e para cada uma destas funções existe um tipo específico de válvula. Em qualquer instalação deve haver sempre o menor número possível de válvulas, compatível com o funcionamento da mesma, porque as válvulas são peças caras, onde sempre há possibilidade de vazamentos (em juntas, gaxetas etc.). Estes vazamentos introduzem perdas de carga, às vezes de grande valor. As válvulas são, entretanto, peças indispensáveis, sem as quais as tubulações não teriam utilidade^[12].

Existe uma grande variedade de tipos de válvulas, algumas para uso geral, e outras para finalidades específicas. As válvulas de gaveta são destinadas primordialmente a estabelecer ou interromper o fluxo (conhecidas como válvulas de bloqueio), elas só devem funcionar completamente abertas ou completamente fechadas. As válvulas de bloqueio costumam ser sempre do mesmo diâmetro nominal da tubulação e têm uma abertura de passagem de fluido com seção transversal comparável com a da própria tubulação.

A parede externa de pressão de uma válvula, isto é, a sua carcaça, compõe-se de duas partes denominadas de corpo e de castelo. O corpo (*body*) é a parte principal da carcaça, onde estão o orifício de passagem do fluido e as extremidades (com flanges, roscas etc) para ligação às tubulações. O castelo (*bonnet*) é a parte superior da carcaça. Parte esta desmontável, permitindo o acesso ao interior da válvula. A fixação do castelo ao corpo da válvula utilizada para válvulas grandes (3 polegadas em diante) e para qualquer pressão é o "castelo aparafusado". Esse sistema é mais robusto e permite uma vedação muito melhor. Mas qualquer que seja o sistema de fixação do castelo ao corpo da válvula deverá haver sempre uma junta de vedação entre essas duas peças. A figura 2.1 abaixo ilustra a descrição das partes da válvula.

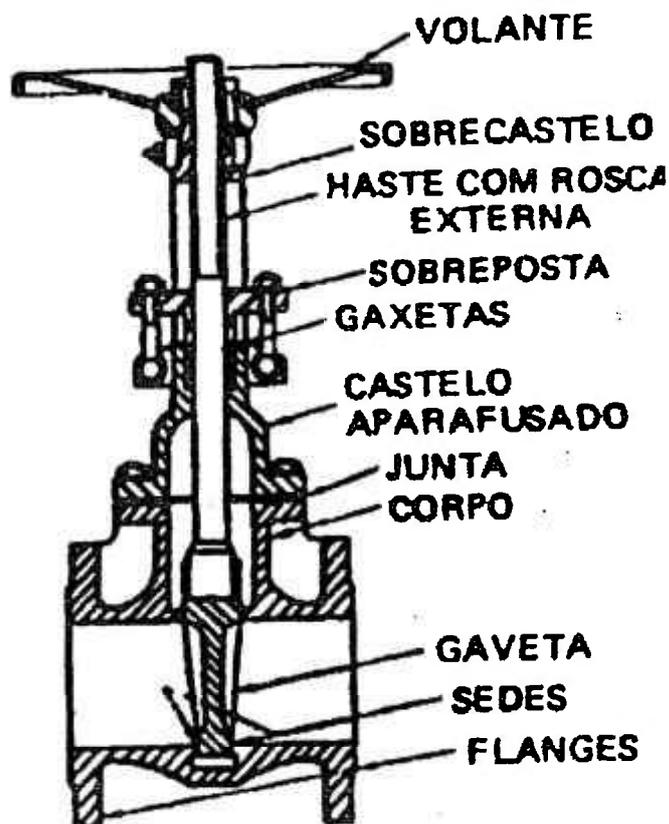


Figura 2.1 - Válvula tipo gaveta^[11].

O mecanismo móvel interno da válvula (haste, peças de fechamento) e as sedes, no orifício da válvula, onde o mesmo se assenta, chama-se "trim" da

válvula. Essas peças, que são as partes mais importantes da válvula, estão sujeitas a grandes esforços mecânicos e devem ter uma usinagem cuidadosa para que a válvula tenha fechamento estanque; também não podem sofrer desgaste por corrosão ou erosão nem deformações por fluência, que comprometeriam a estanqueidade da válvula, ou seja, o “trim” da válvula necessita ser feito de um material diferente e de melhor qualidade do que o da carcaça. As válvulas, para alguns serviços especiais em que haja exigência de maior segurança contra vazamentos, podem ter anéis retentores ou engaxetamento de fole.

Todas as válvulas são peças sujeitas a manutenção periódica, e por essa razão, em princípio, deveriam ser desmontáveis da tubulação. Um sistema empregando o processo de extremidade para solda de topo é utilizado em serviços onde seja necessário uma segurança absoluta contra vazamentos.

Uma válvula utilizando um sistema de operação motorizada é conhecida como válvula moto operada (MOV). A operação pode ser hidráulica (figura 2.2), pneumática e elétrica (figura 2.1). Esse trabalho analisa as válvulas com operação motorizada elétrica. Este é o sistema no qual um motor elétrico aciona o volante da válvula por meio de engrenagens de redução, seu uso ocorre em válvulas de grandes dimensões, para tornar a operação mais fácil e mais rápida, e também em válvulas situadas em locais inacessíveis.

Qualquer que seja o sistema de operação motorizada, o dispositivo ou motor de comando da válvula é chamado de “atuador” da válvula^[12]. São mecanismos cuja função é transformar energia de pressão de fluidos em energia mecânica são chamados de atuadores por aplicar ou fazer atuar energia mecânica sobre uma máquina, levando-a a realizar um determinado trabalho ^[13]. O motor elétrico também pode ser considerado um tipo de atuador, pois a única diferença é que ele emprega energia elétrica ao invés da energia de pressão de fluidos.

As válvulas de operação automática são auto-suficientes, dispensando qualquer ação externa para o seu funcionamento. A operação

automática pode ser conseguida através da ação de molas ou contrapesos, integrantes da própria válvula (válvulas de segurança e de alívio)

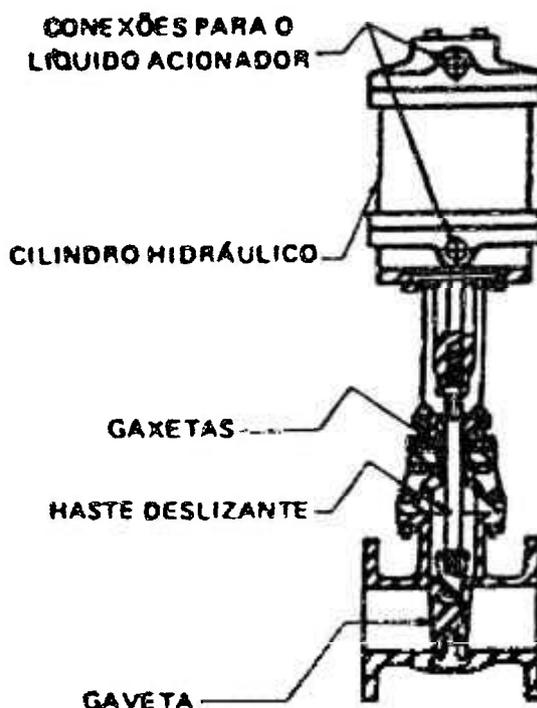


Figura 2.2 - Válvula comandada por cilindro hidráulico^[11].

2.2 Válvulas de Segurança

Essas válvulas costumam ser consideradas como instrumentos e não como componentes da tubulação. Elas controlam a pressão a montante abrindo-se automaticamente, quando essa pressão ultrapassar um determinado valor para o qual a válvula foi ajustada e que se denomina "pressão de abertura" da válvula. A válvula fecha-se em seguida, também automaticamente, quando a pressão cair abaixo da pressão de abertura. Todas as válvulas destinadas a trabalhar com fluidos elásticos (vapor, ar, gases) são chamadas válvulas "de segurança".

2.3 Estruturas e Operação de Válvulas Moto-Operadas^[1]

A construção básica e princípios de operação de todas as válvulas moto-operadas são similares. Essas válvulas são constituídas de duas partes principais:

- o motor que inclui o atuador e o eixo;
- a própria válvula.

A parte do motor é composta por todos os componentes dentro da carcaça do motor – a montagem da caixa de engrenagem, a montagem do atuador e a montagem das chaves^[13].

A parte da válvula inclui a montagem do corpo, interna e de isolamento.

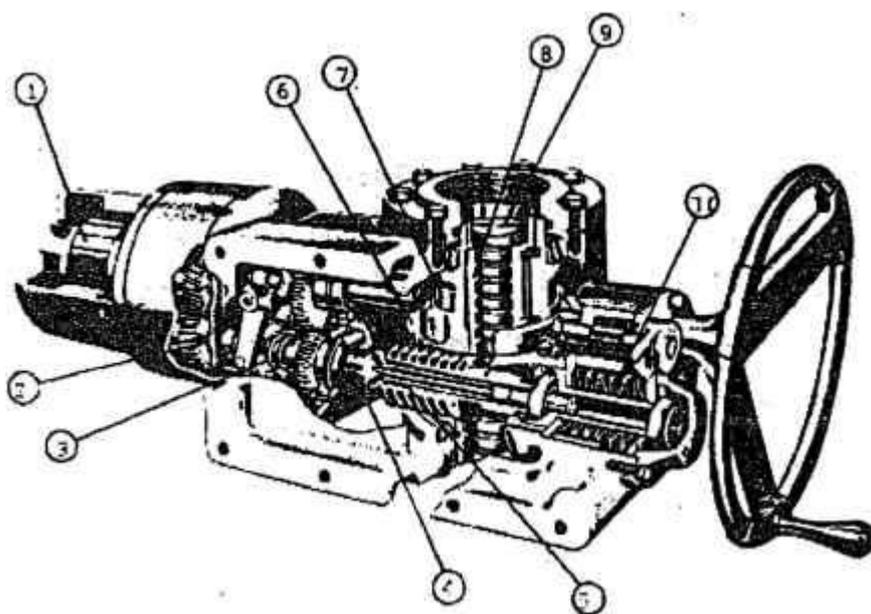


Figura 2.3 - Diagrama simplificado de uma estrutura de válvula moto-operada^[1].

Onde:

1. Motor Elétrico
2. Engrenagem de engate do eixo sem fim
3. Engrenagem do eixo sem fim
4. Garfo do engate manual
5. Eixo sem fim
6. Engrenagem
7. Conjunto do acionamento vertical
8. Porca de travamento do item 7
9. Haste da válvula
10. Pacote de molas

A figura 2.3 mostra um diagrama simplificado de uma estrutura de uma válvula moto-operada . Um motor elétrico (1) movimenta a válvula através de uma série de engrenagens. Um pino helicoidal montado na extensão do eixo do motor movimenta a engrenagem de engate do eixo sem fim (2), onde está conectada com a engrenagem do eixo sem fim (3) através do auxílio de um contato. A engrenagem de engate do eixo sem fim é acoplada à engrenagem do eixo sem fim que gira junto ao garfo do engate manual (4).

Quando o eixo sem fim (5) é conectado à engrenagem do eixo sem fim, ocorre o movimento da engrenagem (6). A engrenagem é equipada com dois suportes encaixados no conjunto do acionamento vertical (7). Estes suportes são espaçados, de modo a permitir que a engrenagem comece a girar durante a operação do motor, quando há uma quantidade de movimento rotacional livre da porca da haste. Esse movimento permite que o motor alcance um torque nominal e a engrenagem faça um efeito de um martelo (Pico do Martelo) desprendendo a

válvula da sede. O efeito ajudará o levantamento do obturador da válvula de seu ponto de assentamento (parada). O conjunto do acionamento vertical gira a porca de travamento (8) que levanta ou abaixa a haste da válvula (9), isso causa a abertura ou fechamento da válvula.

Quando a engrenagem da haste espiralada não puder mais girar, significa que a válvula está totalmente fechada ou foi encontrada uma obstrução, então a haste espiralada desliza ao longo do seu eixo e comprime o pacote de molas (10). O movimento axial causa o deslocamento da chave de torque, fazendo com que a mesma gire. O motor pára quando a posição angular pré-determinada da chave de torque é alcançada. A chave de torque é normalmente desviada durante o início da operação de fechamento – abertura para prevenir o desligamento do motor se houver suficiente rotação da chave de torque durante o pico do martelo (constitui o início efetivo de movimentação da abertura da válvula) e/ou deslocamento da válvula.

A chave Limite (interruptor limite de abertura e fechamento da válvula) está diretamente encaixada ao eixo da haste espiralada.

2.4 Descrição de Diferentes Tipos de Válvulas

As válvulas são caracterizadas pela direção de seu fluxo^[14]. Nos tópicos a seguir serão descritos diferentes tipos de válvulas.

2.4.1 Válvulas tipo Esfera^[14]

Válvulas tipo esfera, como o nome implica, são válvulas de parada (interrupção de fluxo) que utilizam uma esfera/disco para parar ou permitir a passagem do fluxo.

A esfera, mostrada na figura 2.4, executa a mesma função como o disco em outras válvulas. Como o volante da válvula é girado para abrir a válvula, a esfera gira a um ponto onde parte ou toda a cavidade que atravessa a esfera estão alinhadas com a entrada e saída do corpo da válvula, permitindo o fluxo pela válvula.

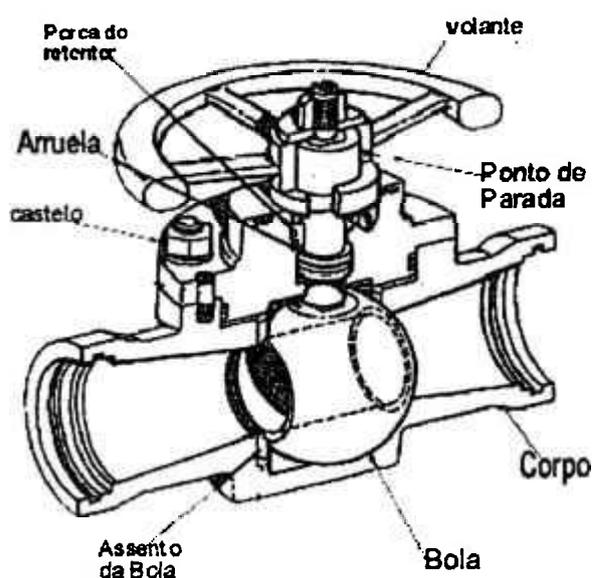


Figura 2.4 —Típica válvula tipo esfera.

Quando a esfera é girada, a cavidade fica perpendicular à abertura do corpo da válvula e ocorre a interrupção de fluxo. Elas funcionam no modo totalmente aberto ou totalmente fechado. O tempo de operação dessas válvulas costuma ser maior por causa do tipo de engrenagem.

Algumas válvulas tipo esfera contêm uma checagem de balanço localizado dentro da esfera para dar a válvula uma característica de válvula de checagem. Estas válvulas também são utilizadas em Angra I. A Figura 2.5 mostra uma válvula de checagem de balanço com uma operação de engrenagem planetária. Esse tipo de válvula é comumente utilizada em aplicações nucleares,

principalmente por causa do simples projeto, economia, selagem confiável, facilidade relativa de manutenção/reparo e disponibilidade de tamanhos. Válvulas de checagem de balanço consistem de um disco suspenso por uma dobradiça localizada sobre a passagem do fluido. O fechamento ocorre devido à força da gravidade. O assentamento ocorre entre o laço da superfície plana no assento da válvula e o laço da superfície plana do disco.

Esse tipo de válvula pode ser projetado para operar no modo completamente aberto, em baixa velocidade e baixa pressão. A desvantagem desse tipo de válvula está no fato de possuir o fechamento mais lento de todas as válvulas de checagem devido ao peso relativamente grande de seu disco e longa distância de percurso entre o modo totalmente aberto e totalmente fechado^[15].

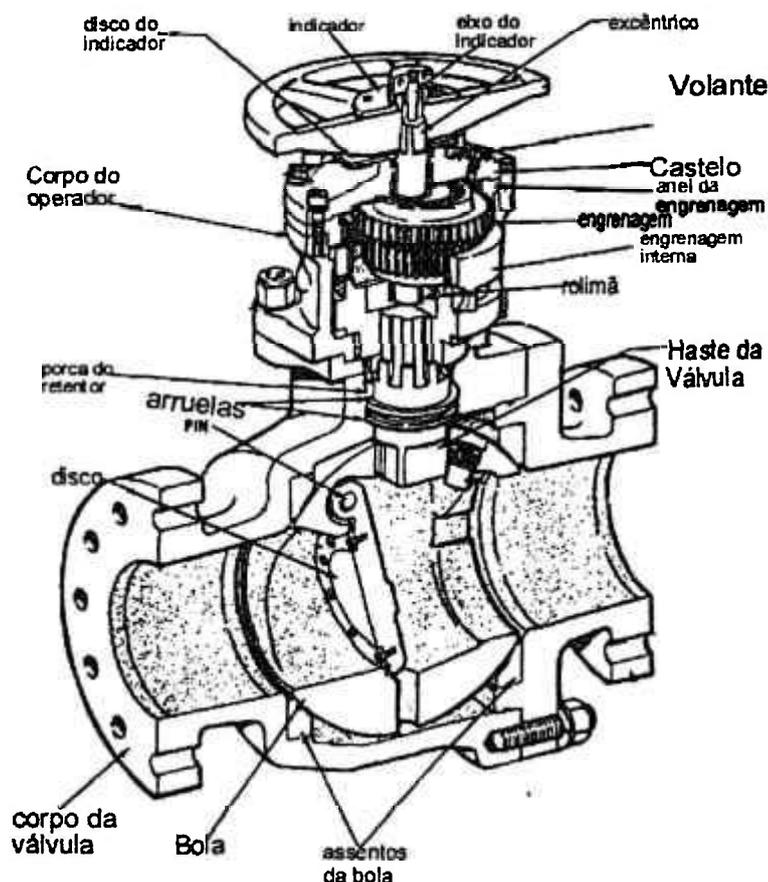


Figura 2.5 - Típica válvula de checagem de balanço.

2.4.2 Válvulas tipo Gaveta^[12]

Válvula tipo gaveta é o de uso mais generalizado. Emprega-se esse tipo de válvula em:

- qualquer diâmetro, para todos os serviços de bloqueio em linhas de água, óleos e líquidos em geral, desde que não sejam muito corrosivos, nem deixem muitos sedimentos ou tenham grande quantidade de sólidos em suspensão;
- diâmetros acima de 8 polegadas para bloqueio em linhas de vapor;
- diâmetros acima de 2 polegadas para bloqueio em linhas de ar.

Em qualquer emprego citado acima , as válvulas de gaveta são usadas para quaisquer pressões e temperaturas. O fechamento ocorre devido ao movimento de uma peça chamada de gaveta, que se desloca paralela ao orifício da válvula, e perpendicularmente ao sentido geral de escoamento do fluido. Quando totalmente abertas, a trajetória de circulação do fluido fica reta e inteiramente desimpedida, de forma que a perda de carga causada é muito pequena. Essas válvulas só devem trabalhar totalmente abertas ou totalmente fechadas (figura 2.6). Quando parcialmente abertas, causam perdas de carga muito elevadas e também laminagem da veia fluída, acompanhada muitas vezes de cavitação, violenta corrosão e erosão.

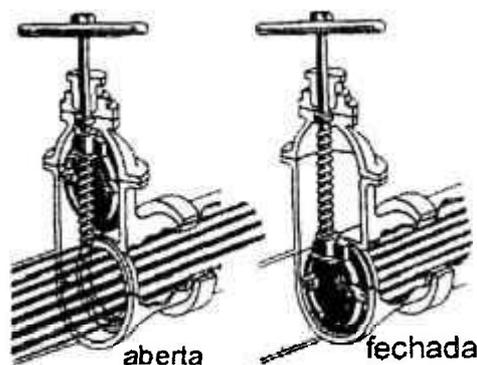


Figura 2.6 - Operação de válvula gaveta^[14].

As válvulas de gaveta, como possuem o fechamento de metal contra metal, são consideradas de segurança em caso de incêndio, desde que os metais empregados sejam de alto ponto de fusão (mais de 1100°C). Uma válvula qualquer é considerada à prova de fogo desde que seja capaz de manter a vedação, mesmo quando envolvida por um incêndio.

Para altas pressões, as válvulas de gaveta de tamanho grande costumam ter, integral na válvula, uma pequena tubulação contornando a válvula (*by-pass*), fechada por uma válvula. Antes da abertura da válvula principal, abre-se a pequena válvula do contorno, a fim de permitir o equilíbrio das pressões nos dois lados da gaveta, facilitando a operação da válvula.

As válvulas grandes tipo gaveta e de boa qualidade, apresentam uma movimentação da haste ascendente com a rosca externa. A haste tem apenas movimento de translação e o volante tem apenas movimentação de rotação, sendo preso ao sobrecastelo por uma porca fixa. A rosca da haste é externa à válvula, estando assim livre do contato com o fluido. O trecho da haste que está acima do volante dá indicação visual imediata da posição de abertura ou de fechamento da válvula, sendo essa a principal vantagem desse sistema.

A figura 2.7 abaixo mostra uma fotografia de uma válvula gaveta.



Figura 2.7 - Válvula tipo gaveta ^[14].

2.4.3 Válvulas tipo Globo ^[14]

A válvula globo recebeu este nome devido a forma globular do corpo da válvula. Outros tipos de válvulas também podem ter formas globulares, mas é a estrutura interna da válvula que identifica o tipo de válvula. As aberturas de entrada e saída das válvulas globo são organizadas de certo modo a satisfazer as exigências de fluxo. Figura 2.8 mostra a direção possível de fluxo nas válvulas.

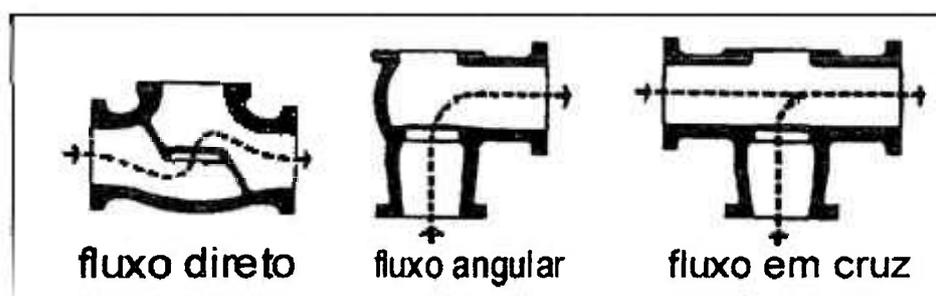


Figura 2.8 - Tipos de estruturas de válvulas globo ^[14].

As partes móveis da válvula globo consistem no disco, a haste da válvula e o volante. A haste conecta o volante e o disco. Ela é prensada e ajustada junto a rosca na parte superior da válvula, ou seja, no castelo (*bonnet*). A figura 2.9, abaixo, mostra uma fotografia de uma válvula tipo globo.



Figura 2.9 - Válvula tipo globo^[14]

A parte da válvula globo que controla o fluxo é o disco que é prendido na haste da válvula (discos podem ser encontrados com vários projetos). A válvula é fechada virando a haste até que o disco esteja ajustado no assento da válvula. Isto impede que o fluxo atravesse a válvula (figura 2.10, vista A). A extremidade do disco e o assento são peças de precisão, de maneira a formarem um lacre apertado quando a válvula está fechada. Quando a válvula está aberta (figura 2.10, vista B), o fluxo atravessa o espaço entre a extremidade do disco e o assento. Desde que o fluxo esteja igualmente em todos os lados do centro de apoio quando a válvula está aberta, não há nenhuma pressão desequilibrada no disco para causar uso desigual. A taxa à qual o fluxo flui, através da válvula, é regulada pela posição do disco em relação ao assento. A válvula é comumente usada no modo completamente aberto ou completamente fechado, mas ela também pode ser usada como uma válvula de regulação de pressão. Porém, neste último emprego, como a superfície do assento é uma área relativamente grande, não é satisfatório seu emprego como uma válvula reguladora de pressão onde são requeridos ajustes bem controlados da taxa de fluxo.

A válvula globo nunca deveria ser comprimida na posição aberta. Depois que a válvula está completamente aberta, o volante deve ser girado

aproximadamente uma meia volta em direção à posição fechada. Quando isto não ocorre, é provável que a válvula prenda na posição aberta, dificultando, se não impossibilitando, o fechamento da válvula. Muitas válvulas são danificadas neste manuseio. Outra razão por não deixar válvulas globo na posição completamente aberta é que às vezes é difícil determinar se a válvula está aberta ou fechada. Se a válvula é comprimida na posição aberta, a haste pode ser danificada ou pode ser quebrada por alguém pensar que a válvula está fechada e tentar abri-la.

É importante que as válvulas globo sejam instaladas com pressão contra a face do disco, a fim de manter a pressão do sistema longe da haste quando a válvula está fechada.

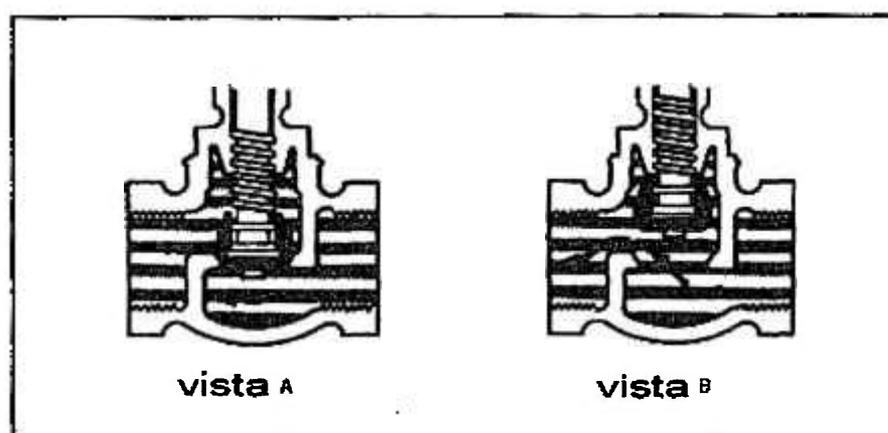


Figura 2.10 - Operação de uma válvula globo^[14].

2.4.4 Válvulas Tipo Agulha ^[14]

Válvulas agulha são semelhantes em projeto e operação a válvulas globo. Em vez de um disco, uma válvula agulha tem um ponto afiado longo na terminação da haste. Uma vista seccional de uma válvula agulha está ilustrada na figura 2.11. O elemento afiado da válvula permite uma menor área de superfície de assentamento do que o da válvula globo. Entretanto, a válvula agulha é mais satisfatória como uma válvula reguladora de pressão. Válvulas agulha são usadas para controlar fluxo em delicados calibradores, debaixo dos quais poderiam ser

danificadas por ondas súbitas de fluido. Válvulas agulha também costumam controlar o fim de um ciclo de trabalho, onde é desejável que o movimento seja conduzido lentamente a uma parada e a outros pontos, onde ajustes precisos de fluxo são necessários e uma taxa pequena de fluxo é desejada.

Embora a maior parte das válvulas agulha utilizadas em sistemas nucleares sejam operadas manualmente (figura 2.11), modificações deste tipo de válvula são freqüentemente usadas como limitadores. Esta válvula é construída sem um volante e é ajustada para prover uma taxa específica de fluxo. Esta taxa de fluxo proverá um tempo desejado de operação por um subsistema particular. Como este tipo de válvula permite ser ajustado conforme as exigências de um sistema particular, pode ser usado em uma variedade de sistemas.

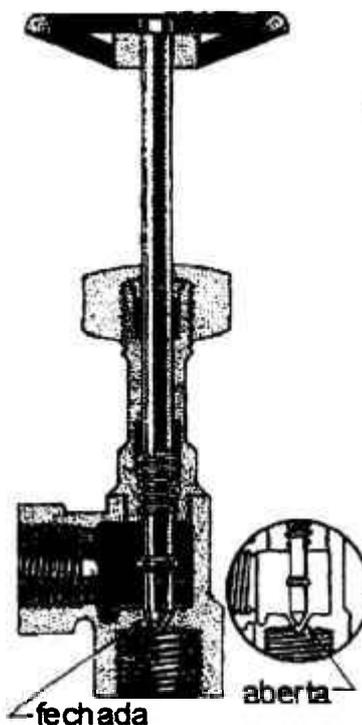


Figura 2.11 - Vista seccional de uma válvula tipo agulha^[14].

2.4.5 Válvulas Tipo Alívio ^[14]

Alguns sistemas de tubulação, mesmo quando operando normalmente, podem desenvolver temporariamente uma pressão excessiva, por exemplo, quando uma incomum resistência de trabalho é encontrada. As válvulas de alívio são válvulas automáticas usadas em linhas de sistema e equipamento para prevenir aumento de pressurização que controlam a pressão em excesso.

2.4.6 Válvulas tipo Borboleta ^[16]

Este tipo de válvula apresenta uma diferença na movimentação da haste da válvula, em comparação a uma gaveta ou globo. A haste da válvula é movimentada por uma série de engrenagens fixadas ao eixo do motor. A haste da válvula é fixada a um disco de metal, que gira com a haste da válvula. Na posição totalmente aberta, o disco fica paralelo ao fluxo do fluido no tubo e o fluido flui ao redor do disco.

2.5 Anomalias em Válvulas Moto-Operadas (MOVs)

As MOVs estão sujeitas a cargas e esgotamento do sistema de controle e potência que serve a elas, bem como dos sistemas de fluido que elas operam. Elas estão sujeitas a danos parciais ou degradações que permitirão a operação na forma normal ou sem carga. Um problema crítico é a alta taxa de falhas que as MOVs têm sofrido quando sujeitas a operar sobre pressão ou fluxo. Por causa desses problemas existem muitos estudos sobre as falhas de MOVs e suas causas. Os modos de falha básica foram identificados pelo ORNL (Oak Ridge National Laboratory's) do programa NPAR (Nuclear Plant Aging Research)^[1].

Abaixo segue a lista das falhas básicas:

- falha na abertura;
- falha no fechamento;
- falha durante a operação;
- falha para permanecer aberta;
- vazamento interno;
- vazamento externo.

Segue abaixo um resumo da análise de falhas apresentadas pelo INPO (Institute of Nuclear Power Operations) - (INPO registro 83-037)^[1].

Falhas Mecânicas: 22%

- falha de operação;
- eixo espiralado da válvula entortado;
- danos na isolação da válvula;
- engrenagens grudadas e danificadas.

Falhas Eletromecânicas: 32%

- falha da chave de torque;
- ajustamento da chave de torque;
- ajustamento da chave Limite.

Falhas Elétricas: 27%

- motor;
- contatos;
- Outros.

Falhas variadas: 19%

- vibração;
- desgaste;
- outros.

As chaves de torque e limite foram consideradas responsáveis por 32% das falhas documentadas. Pela análise de falhas, o estudo da INPO conclui que uma forte relação existe entre falha mecânica e posicionamento da chave de torque. Pode-se então concluir que 54% das falhas em MOV são relacionadas às chaves.

A causa mais comum das falhas para válvulas gaveta e globo são desgaste do obturador e razão de corrosão, desgaste da isolamento da porca fixa e deterioração. Isso está associado às falhas básicas de vazamento interno e externo.

2.5.1 Exemplos de Falhas em MOVs

Válvulas moto-operadas podem sofrer deteriorização das peças no decorrer do tempo. Estas degradações podem resultar em falhas das válvulas. Voltagem incorreta pode resultar em excessiva inércia na válvula. Degradações

podem ocorrer no circuito de chaveamento quando ocorre as mudanças nas chaves, quando a chave de torque está incorreta e quando também a chave de torque ou limite emperram.

As figuras 2.12A, 2.12B, 2.12C, 2.13A, 2.13B e 2.13C mostram exemplos de degradação em válvulas moto-operadas provenientes de testes realizados em laboratório na Universidade do Tennessee e foram obtidas do relatório^[16] preparado para a Duke – Energy Corporation. A letra A mostra uma figura com uma curva típica para esses dados de laboratório, a letra B indica figura com uma curva onde ocorreu degradação e a letra C indica figura com curva normal.

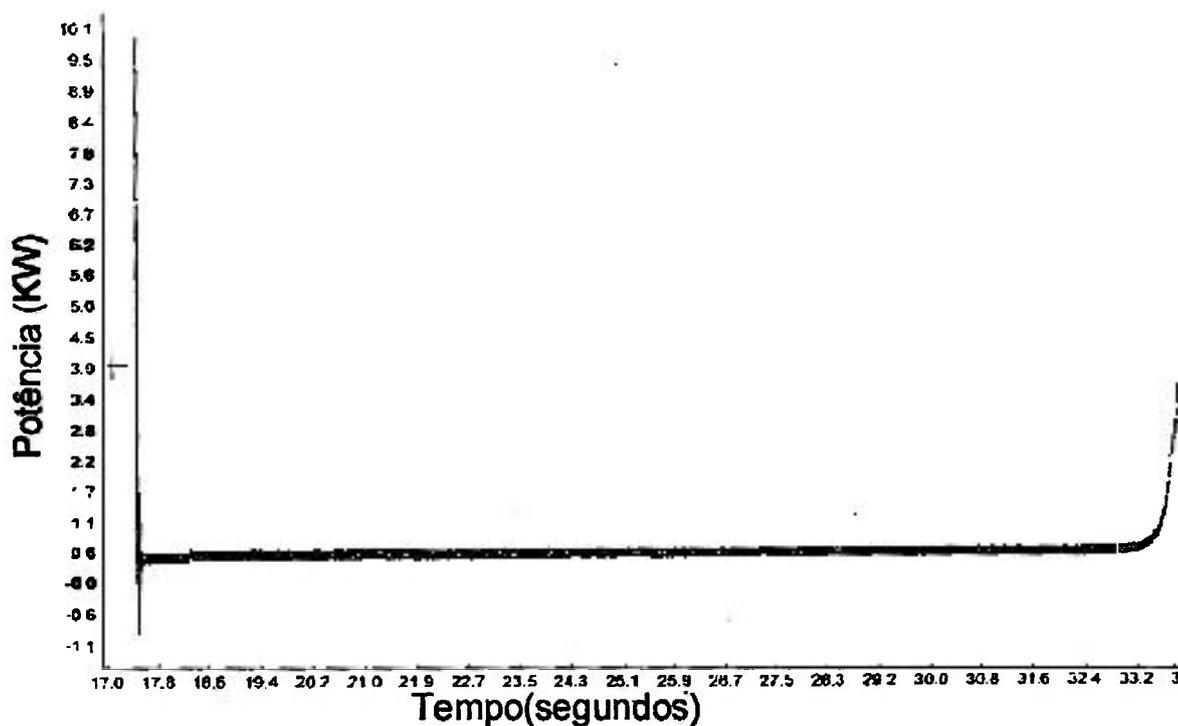


Figura 2.12A - Curva durante ciclo de abertura para fechamento de uma válvula tipo gaveta típica^[16]

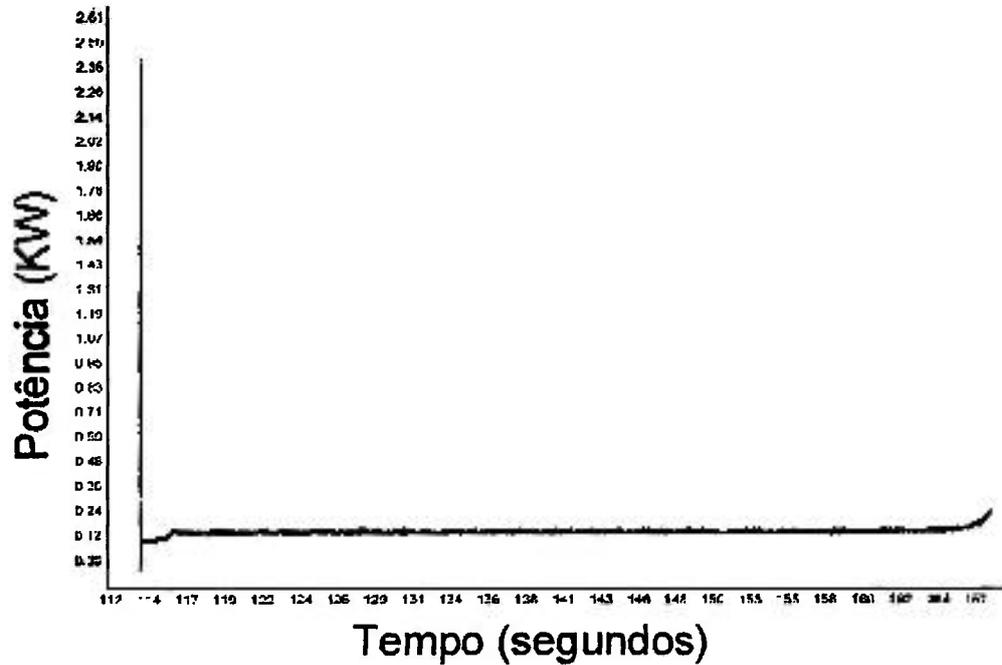


Figura 2.12B - Curva durante ciclo de abertura para fechamento de uma válvula tipo gaveta com degradação na chave de torque^[16]

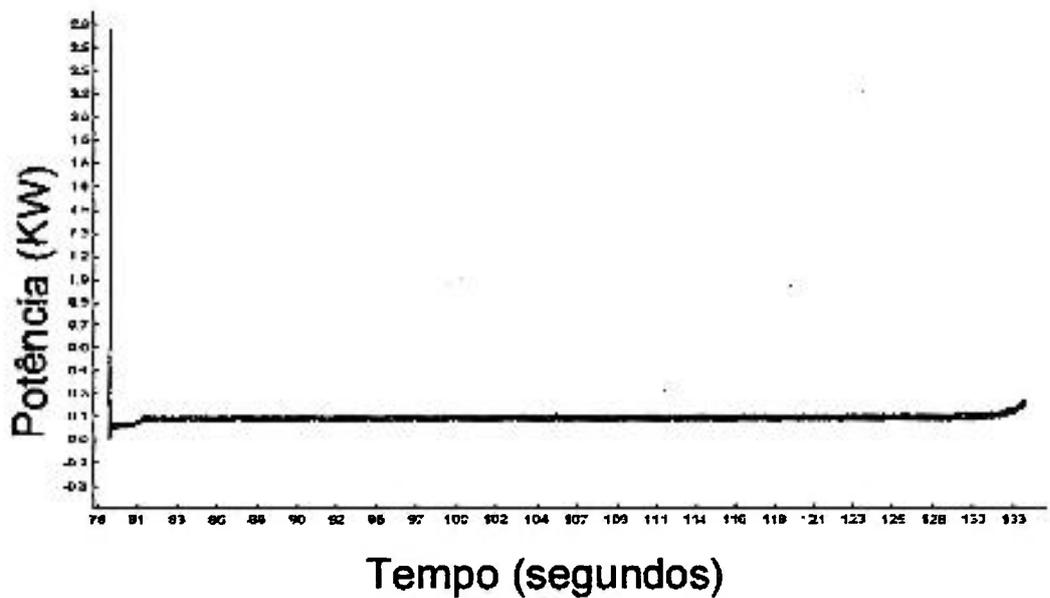


Figura 2.12C - Curva durante ciclo de abertura para fechamento de uma válvula tipo gaveta sem degradação na chave de torque^[16].

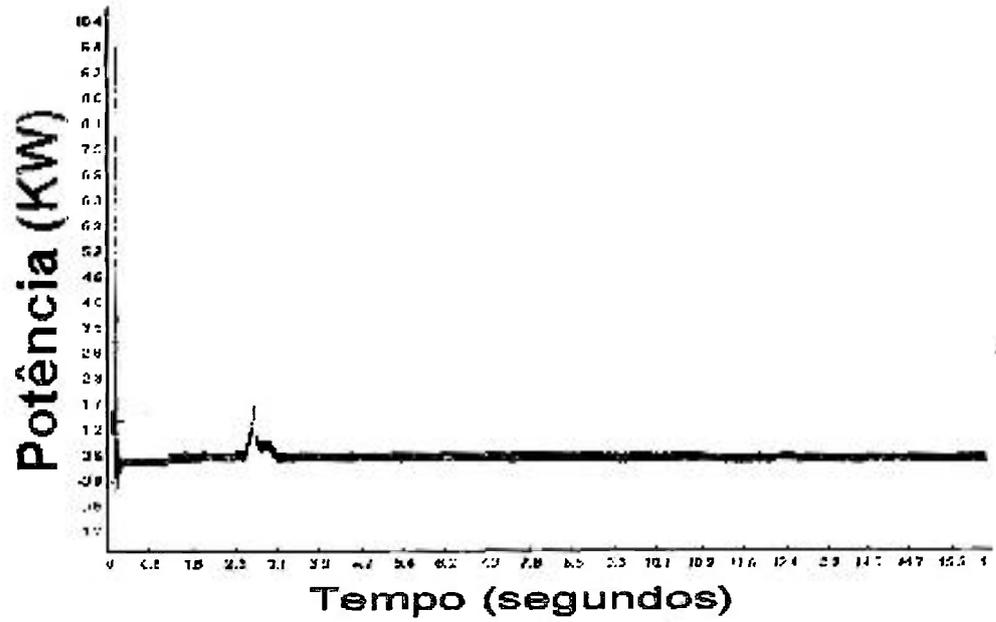


Figura 2.13A - Curva durante ciclo de fechamento para abertura de uma válvula tipo gaveta típica^[16].

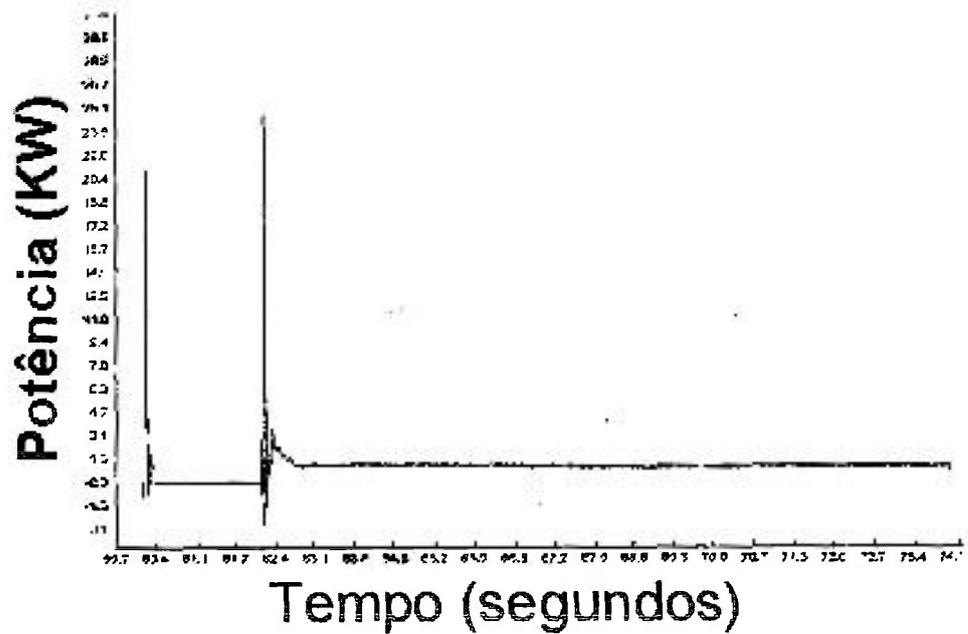


Figura 2.13B - Curva durante ciclo de fechamento para abertura de uma válvula tipo gaveta com degradação de contato^[16].

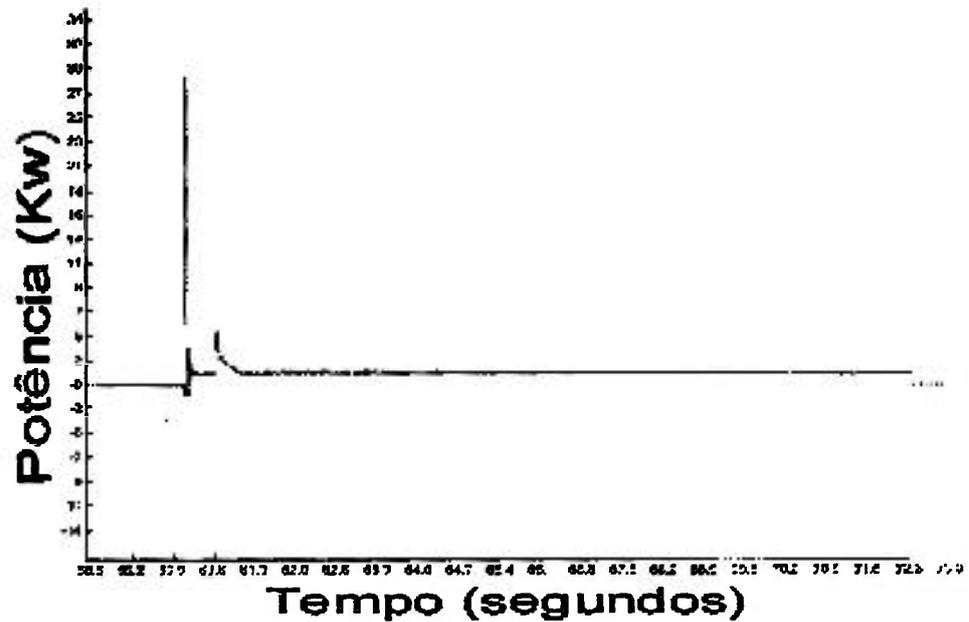


Figura 2.13C - Curva durante ciclo de fechamento para abertura de uma válvula tipo gaveta sem degradação de contato^[16].

2.5.2 Características da Assinatura em Potência

As figuras 2.14 e 2.15 mostram curvas características no domínio do tempo das assinaturas em potência de uma válvula tipo Gaveta durante o ciclo de abertura para fechamento e o ciclo de fechamento para abertura (vide tabela 2.1).

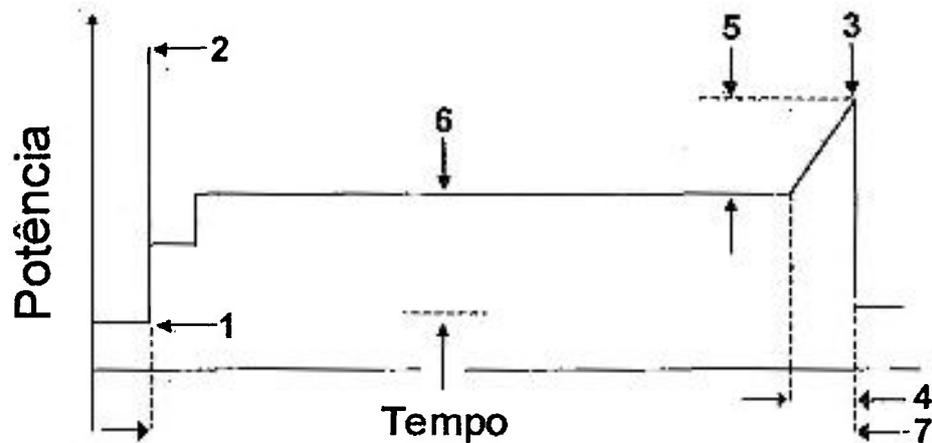


Figura 2.14 - Ciclo de abertura para fechamento (Tempo X Potência)^[1].

Tabela 2.1 - Características do ciclo de abertura para fechamento.

Número	Característica	Descritores
1	Início do arranque	Instante da ocorrência
2	Pico do desligamento do motor	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
3	Desligamento da chave de torque	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
4	Tempo de parada da válvula	Valor do intervalo de tempo
5	Margem do tempo de parada da válvula	Valor em potência (altura)
6	Movimentação da haste espiralada	Valor médio em potência (altura), instante inicial e instante final
7	Tempo de operação	Intervalo de tempo entre as ocorrências do número 2 e do número 3

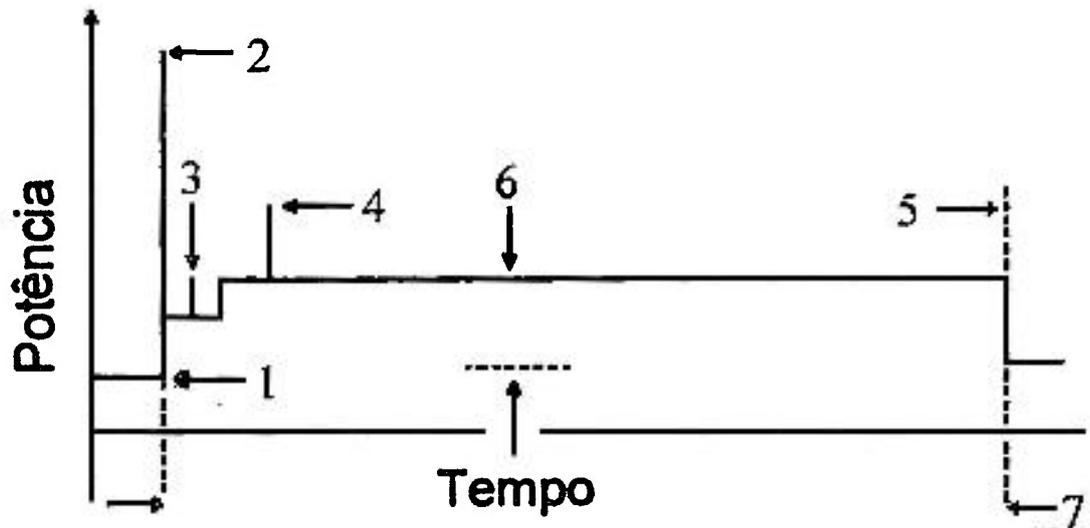


Figura 2.15 - Ciclo de fechamento para abertura (Tempo X Potência)^[1].

Tabela 2.2 - Características do ciclo de fechamento para abertura.

Número	Característica	Descritores
1	Início do arranque	Instante da ocorrência
2	Pico do acionamento do motor	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
3	"Martelo"	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
4	Pico de ligação ("unseating")	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
5	Atuação da chave limite	Instante da ocorrência
6	Movimentação da haste espiralada	Valor médio em potência(altura), instante inicial e instante final
7	Tempo de operação	Intervalo de tempo entre as ocorrências do número 2 e do número 5

As figuras 2.16 e 2.17 mostram um esboço de curvas características no domínio do tempo das assinaturas em potência de uma válvula tipo globo, durante o ciclo de abertura para fechamento e o ciclo de fechamento para abertura.

A curva característica durante o ciclo abertura para fechamento tem as mesmas características de um válvula gaveta. A diferença está na curva característica durante o ciclo fechamento para abertura; em válvulas globo não ocorre o pico do Martelo, as demais características são equivalentes a uma válvula gaveta (vide Tabela 2.3).

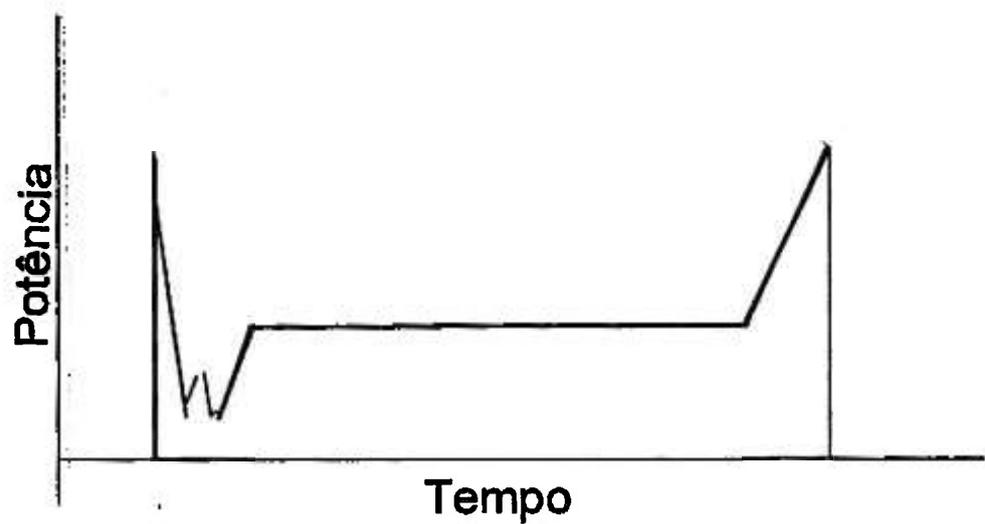


Figura 2.16 - Ciclo de abertura para fechamento (Tempo X Potência).

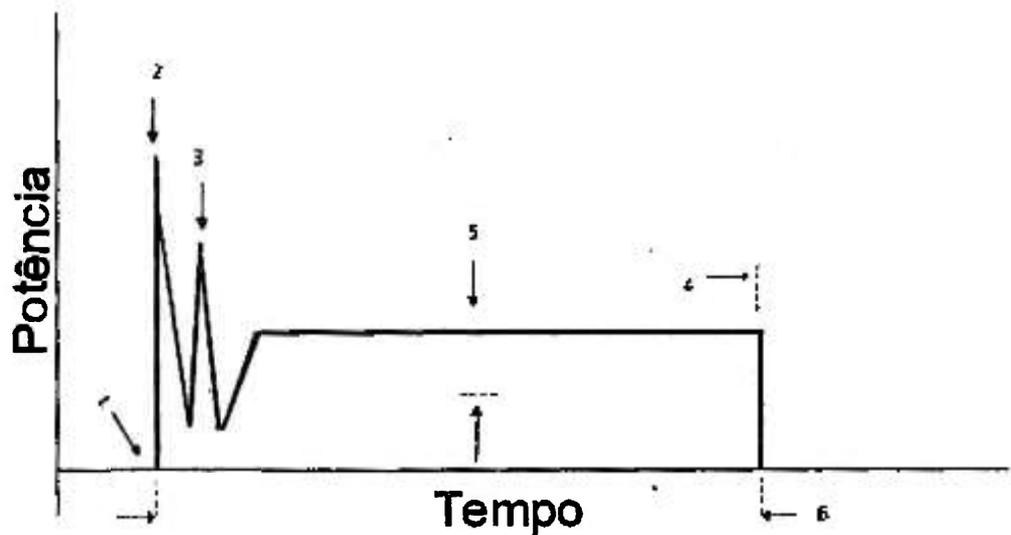


Figura 2.17 - Ciclo de fechamento para abertura (Tempo X Potência)

Tabela 2.3 - Características do ciclo de fechamento para abertura.

Número	Característica	Descritores
1	Início do arranque	Instante da ocorrência
2	Pico do acionamento do motor	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
3	Pico de ligação ("unseating")	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
4	Atuação da chave limite	Instante da ocorrência
5	Movimentação da haste espiralada	Valor médio em potência(altura), instante inicial e instante final
6	Tempo de operação	Intervalo de tempo entre as ocorrências do número 2 e do número 4

2.6 Manutenção de MOVs

2.6.1 Filosofia da Manutenção

A finalidade da manutenção é a eliminação de defeitos e aumento da capacidade produtiva através da redução de falhas na operação. Por reduzir a possibilidade de defeitos, a capacidade operacional pode ser mantida. Antecipar e planejar a manutenção pode contribuir com a redução do inventário de parte sobressalente e redução nas horas de trabalho extras. Uma eventual falha pode causar um significativo dano a uma válvula, aumentando o custo de reparo. Quanto mais cedo identificado o problema e a irregularidade, mais cedo se pode consertar. Reparos são planejados periodicamente. Isto pode conduzir a predições mais precisas e horas de trabalho mais razoáveis para o pessoal de manutenção.

Atualmente uma implementação com sucesso de uma estratégia de manutenção leva em conta três enfoques: a manutenção preventiva, a preditiva e a proativa. A correta informação da condição da máquina dada freqüentemente por

manutenção preditiva acarreta na necessidade de ações de manutenção preventiva e de manutenção proativa e isto ajuda a reduzir o desempenho excessivo de ações de manutenção que estão presentes em um programa puramente preventivo.

2.6.1.1 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva obedece a um padrão previamente esquematizado, que estabelece paradas periódicas com o objetivo de permitir a reposição de peças gastas por novas, assegurando o bom funcionamento da máquina por um período pré-determinado^[17].

Se uma peça do conjunto da válvula que forma um mecanismo estiver executando seu trabalho de forma irregular, ela estabelecerá uma sobrecarga nas demais peças que estão interagindo com ela. A consequência desse fato é a redução da vida útil das demais peças do conjunto. O problema só pode ser resolvido com a troca da peça problemática, com antecedência, para preservar as demais peças.

A manutenção periódica inclui lubrificação, limpeza, inspeção e também pode ser ampliada para incluir revisão no equipamento e subsequente substituição de partes de máquina, como peças, etc. Em resumo, a idéia básica desse tipo de manutenção é a possibilidade de estimar estatisticamente um determinado período que permita a substituição de peças antes da falha da válvula. Estudos demonstraram que a estratégia de manutenção preventiva não é eficiente. Sua utilização é mais eficiente em sistemas com alta taxa de utilização, como trituradores de carvão, britador de pedra e os manipuladores de substância cáusticos, ou seja, este tipo de manutenção não é indicada para as MOVs.

2.6.1.2 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação. Este tipo de manutenção prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado. Na Europa, este tipo de manutenção é conhecida por manutenção condicional e nos Estados Unidos recebe o nome de preditiva ou previsional^[12].

Os objetivos da manutenção preditiva estão direcionados a obter redução de custos de manutenção e aumento da produtividade. Segue abaixo os objetivos gerais deste tipo de manutenção:

- determinar, antecipadamente, a necessidade de serviços de manutenção em uma peça específica de um equipamento;
- eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
- aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos;
- reduzir o trabalho de emergência não planejado;
- impedir o aumento dos danos;
- aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento;
- aumentar o grau de confiança no desempenho de um equipamento ou linha de produção;
- determinar previamente as interrupções de fabricação para cuidar dos equipamentos que precisam de manutenção.

Um programa de manutenção preditiva para ser executado exige a utilização de aparelhos adequados, capazes de registrar vários fenômenos, como por exemplo, vibrações das máquinas, temperatura, pressão, etc. Através da

análise dos fenômenos, torna-se possível indicar, com antecedência, eventuais defeitos ou falhas nas máquinas e equipamentos. Depois da análise dos fenômenos, dois procedimentos são adotados para resolver os problemas detectados. Um procedimento tem a finalidade de estabelecer um diagnóstico e o outro tem a finalidade de efetuar uma análise de tendências^[18].

O diagnóstico é estabelecido depois de ter sido detectada a irregularidade e antes de se programar o reparo. O diagnóstico refere-se à origem e à gravidade do defeito constatado.

A análise da tendência de falha consiste em prever com antecedência a avalia ou a quebra, por meio de aparelhos que exercem monitoramento constante predizendo a necessidade de reparo.

Entre os diversos métodos adotados na investigação, com a finalidade de poder intervir nas máquinas e equipamentos, destaca-se: análise de vibrações, análise do estado das superfícies, análise do motor.

A estratégia da manutenção preditiva emprega testes periódicos não destrutivos no equipamento. Baseia-se no fato que a maioria das válvulas exhibe algum sinal de advertência antes da quebra e estes testes procuram analisar tendências durante a operação da válvula. Conhecendo a condição de operação da válvula, consegue-se controlar o programa de manutenção do sistema. Ferramentas comuns incluem análises de vibração, medida de temperatura e análise do motor.

Uma anomalia apresentada por uma válvula durante a operação pode acarretar em um acidente com perigo de confaminação, com conseqüente elevação nos custos. Esse aumento nos custos é muito superior ao gasto com o cuidadoso programa de manutenção durante a parada para reabastecimento quando se utilizam práticas de manutenção preditiva. Adotando-se a tecnologia da manutenção preditiva, pode-se também reduzir o número de novas falhas;

empregando-a de maneira correta, pode-se restringir alguma falha inicial devido a instalação imprópria e defeitos embutidos.

2.6.1.3 Manutenção Proativa

A manutenção proativa é um enfoque de manutenção mais avançada que nos últimos anos tem começado a ganhar aceitação entre a comunidade de manutenção. Manutenção proativa tenta reduzir a manutenção total requerida. O objetivo desta filosofia de manutenção é eliminar todas as falhas dos componentes de máquinas em uma planta. Esse objetivo é o mesmo da manutenção preditiva. Porém, o fato de maximizar a vida da máquina pela remoção sistemática das fontes de falta de condições e de falhas distingue este enfoque de manutenção dos outros^[18]. Esta remoção sistemática de causas subjacentes de problemas de máquinas é possível devido a aplicação de avançadas tecnologias investigativas e corretivas. Os benefícios que podem ser obtidos da implementação de tecnologias de manutenção proativa incluem a redução de problemas repetitivos que encurtam a vida de um componente, desde que estes problemas possam ser identificados e removidos através de melhorias no projeto.

2.6.2 Reator Nuclear de Angra

O reator nuclear de Angra I e II é do tipo PWR. Angra I foi a primeira usina brasileira construída para gerar energia elétrica. O propósito do Programa de Manutenção Preditiva de Angra é aumentar a segurança e confiabilidade na usina nuclear e detectar mais cedo a degradação dos equipamentos e possíveis falhas^[10]. Em particular, válvulas moto-operadas recebem atenção especial dentro do Programa de Manutenção Preditiva. São realizados testes para avaliar o estado de operação das válvulas, que são conhecidos por testes de diagnósticos e são utilizados como padrões nas usinas nucleares. Esses testes consideram as normas em termos de segurança e confiabilidade.

Métodos de diagnósticos não intrusivo permitem a descoberta do mal funcionamento em componentes da usina durante a operação^[7] normal. Quanto mais cedo se detectar eventuais falhas, menor o risco de contaminação e conseqüente redução de custos associados com tais defeitos. Uma aplicação importante de diagnóstico na área nuclear é em MOVs.

A norma NRC Generic Letter 89-10 dispõe diretrizes para o teste e avaliação das válvulas moto-operadas de segurança utilizadas nas instalações nucleares^[5].

As válvulas da usina de Angra I têm sido analisadas todos os anos, conforme um programa de manutenção preditiva para MOVs seguindo as diretrizes básicas da norma NRC Generic Letter. Neste trabalho será descrito este programa, especificamente para essas atividades relacionadas com MOVs durante a parada anual para recarregamento do reator.

2.6.3 Rotina de Manutenção das Válvulas Moto-Operadas (MOVs) de Angra I

O programa de manutenção das válvulas moto operadas de Angra I é aplicado para três tipos de MOVs: gaveta, globo e checagem de balanço, sendo a maioria das válvulas de segurança do tipo gaveta. Este trabalho se concentrará principalmente nestas válvulas. Dados elétricos e mecânicos são registrados durante a partida da válvula com um atuador. O sistema de controle do motor elétrico é realizado no local onde a válvula encontra-se e não no Centro de Controle de Motor (MCC). O sistema é dividido em três partes: aquisição e armazenamento de dados e análise do sinal.

2.6.4 Aquisição e Análise de Dados em Angra I

Os parâmetros da válvula são medidos durante a condição de operação da válvula na abertura para fechamento e fechamento para abertura e os sinais são armazenados em um disco rígido de computador. Estes parâmetros são a corrente e voltagem das três linhas, movimento da haste, torque, deslocamento do eixo e as chaves de controle associadas com o atuador (chave de torque, chave de limitorque com fechamento dirigido e bypass). Estes parâmetros e seus canais associados são descritos na Tabela 2.4 e figura 2.18. A potência do motor é calculada usando as três fases de corrente e os três traços de voltagem.

Tabela 2.4 - Seqüência de canais e parâmetros associados.

Canal	Parâmetro
1	Voltagem
2	Voltagem
3	Voltagem
4	Corrente
5	Corrente
6	Corrente
7	Chave de Torque
8	Chave de Limitorque
9	Bypass chave
A	Potência do Motor Ativa
B	Deslocamento do Anel
C	Haste
D	Torque

A MOV Tag No. 8804-B, tipo gaveta com atuador de Limitorque modelo SMB-1 é tido como um exemplo para mostrar alguns resultados. Esta válvula é localizada dentro da usina nuclear no sistema de refrigeração à água.

A magnitude dos traços e características dos parâmetros são analisados qualitativa e quantitativamente. Avaliação cuidadosa dos registros permite revelar alguns defeitos que poderiam afetar a operabilidade das válvulas e seus atuadores ou poderiam revelar sinais de irregularidade. Se os parâmetros analisados estão fora do limite de suas tolerâncias, é possível a ocorrência de mudança no conjunto do chaveamento e no atuador fazendo com que ações corretivas apropriadas sejam adotadas.

Geralmente, junto a este diagnóstico de válvula moto-operada, obtido durante a parada anual de Angra I, também se analisa a química da graxa^[10]. Esta última análise também é realizada durante operação normal da planta.

A aquisição dos dados tem sido feita com o software Windaqem desenvolvido pela Dataq Instruments de Akron - Ohio nos Estados Unidos para a empresa espanhola Iberdrola Engenharia e Consultoria, que desde a parada anual (P7) realiza a análise e diagnóstico das MOVs durante as paradas de Angra I. O software Windaqem foi adquirido oficialmente por Angra I neste ano de 2001 e a figura 2.18 foi gerada em Angra I.

A medida de potência é obtida através do cálculo no software Windaqem. A potência total é a soma das potências instantâneas de cada fase. Como já descrito na Tabela 2.4, o Windaqem lê a voltagem (volts) e a corrente (amperes) das três fases. O erro máximo associado ao valor de potência é de 4%.

Segue abaixo a Figura 2.18 que mostra as assinaturas “da partida” durante o ciclo de abertura e fechamento. Essa figura foi obtida depois da calibração e ações corretivas na MOV^[10]. A figura ilustra também a tela resultante da execução do software Windaqem (A seqüência de canais e parâmetros associados estão descritos na tabela 2.4).

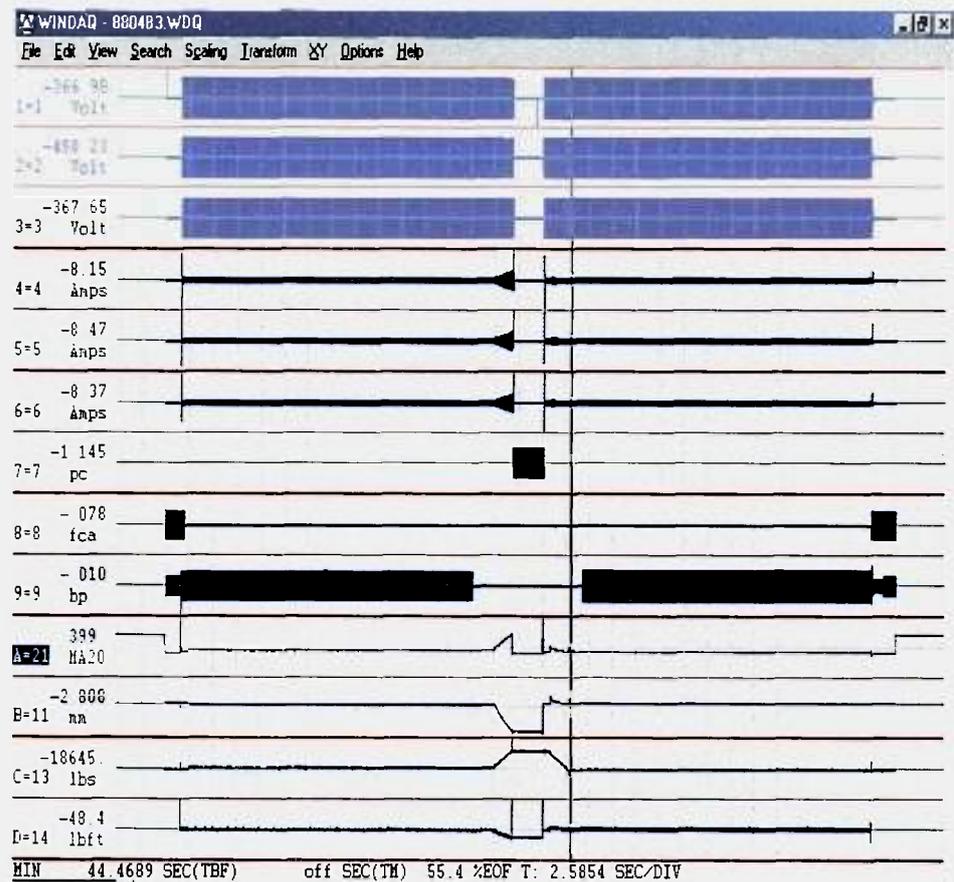


Figura 2.18 - Assinaturas de potência obtidas com o Windaqem durante os ciclos de fechamento para abertura e abertura para fechamento

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta uma breve descrição dos sistemas desenvolvidos para diagnóstico de válvulas moto-operadas utilizando análise de assinaturas, uma descrição dos sistemas de diagnóstico e monitoramento de válvulas moto-operadas que utilizam sistema especialista e servem como base para este trabalho e para o sistema que está sendo desenvolvido para uma tese de doutoramento. O capítulo descreve também o módulo de pré-processamento usado anteriormente para extração dos eventos característicos nos sistemas que utilizaram sistema especialista.

3.1 Sistemas de Diagnóstico de Válvulas Moto-Operadas

Sistemas desenvolvidos para análise de assinatura visando diagnóstico em válvulas moto-operadas tornaram-se populares a partir de 1985. Os sistemas podem ser utilizados para monitoramento e medição dos parâmetros das formas de ondas temporais das válvulas. Com o auxílio dos computadores é possível se determinar o tempo de eventos, estimar os parâmetros de operação e comparar com valores de referência.

Métodos de diagnóstico remoto fornecem a identificação do mal-funcionamento de componentes durante o trabalho normal de uma planta nuclear.

3.1.1 Sistema MOVATS

Em novembro de 1983 entrou em funcionamento o MOVATS^[19] (Motor Operated Valve Analysis and Test System) da MOVATS, INC. O MOVATS é um dispositivo capaz de adquirir, armazenar e analisar sinais elétricos dos seguintes parâmetros:

- deslocamento do pacote de molas;
- atuação das chaves das válvulas moto-operadas;
- corrente do motor

Esse sistema utilizou um dispositivo de medida de empuxo que mediu o deslocamento do pacote de molas, que é resultante do movimento axial do sem-fim refletido da comutação na chave de torque, o qual é uma medida aproximada de potência^[19].

Em 1985, como parte do programa do NPAR (Nuclear Plant Aging Research Program), foram efetuados testes com o sistema em 36 válvulas de 4 plantas nucleares. Muitas anomalias foram identificadas com o MOVATS e estes resultados mostraram uma predominância de problemas com válvulas moto-operadas em plantas nucleares. Com base nos resultados dos testes, muitas conclusões foram retiradas e documentadas na norma NRC NUREG/CR-4380. Um resumo dessas conclusões segue abaixo:

- métodos de análise de assinatura podem fornecer informações úteis sobre as condições operacionais das válvulas.
- as anomalias detectadas pelo sistema foram provenientes de ajustes incorretos (posicionamento das chaves) que poderiam conduzir a degradações. Entretanto, a maioria das informações fornecidas pelo sistema não tratava diretamente das condições de funcionamento das

válvulas moto-operadas, mas somente das anomalias que poderiam conduzir a uma perda das condições de operação.

- existem anomalias que a técnica de análise de assinatura não detecta.

3.1.2 VOTES (Valve Operation Test and Evaluation System)^[1,20]

O VOTES é um sistema de diagnóstico desenvolvido pelo Centro Tecnológico Liberty, Inc. Este sistema assiste aos seguintes parâmetros:

- empuxo da haste da válvula;
- atuação das chaves das válvulas moto-operadas;
- corrente do motor.

O sistema VOTES tem como característica um dispositivo medidor de resistência montado na junta da válvula. Esse dispositivo, chamado de sensor VOTES, foi projetado para ser permanentemente instalado.

3.1.3 Sistema de Diagnóstico de Válvulas Moto – Operadas^[1]

Esse sistema (Valve Motor Operator Diagnosis System) foi desenvolvido pelos Laboratórios Wyle. O sistema mede os seguintes parâmetros:

- deslocamento do pacote de molas;
- atuação das chaves das válvulas moto-operadas;
- corrente do motor;
- voltagem do motor;

- condição da haste da válvula;
- empuxo da haste da válvula.

O sistema utilizou uma carga para estimar o empuxo. Depois, os Laboratórios Wyle incluíram uma análise do espectro da frequência da corrente do motor como parte de seu sistema de diagnóstico.

3.1.4 MAC (Motor Actuator Characterizer)^[1]

O MAC é um sistema de diagnóstico desenvolvido pela Limatorque Corporation. O sistema verifica os seguintes parâmetros:

- corrente do Motor;
- torque no final da operação do motor;
- deslocamento do pacote de molas;
- empuxo da haste da válvula;
- atuação das chaves das válvulas moto-operadas.

O MAC apresenta como característica a sensibilidade de seus métodos. Um dos métodos foi utilizado para determinar as posições do rotor da chave limite.

3.1.5 Sistema de Diagnóstico e Controle Microprocessado^[1]

Foster Miller, Inc., financiado pelo instituto de pesquisa Electric Power, desenvolveu um sistema de diagnóstico e controle microprocessado para a Limatorque, que verifica os seguintes parâmetros:

- deslocamento do pacote de molas;
- situação da haste;
- corrente;
- voltagem do motor.

Os dados são continuamente analisados durante a operação da válvula por rotinas preditivas microprocessadas, que sentem a taxa à qual um valor prefixado do deslocamento do pacote de válvulas é aproximado. O sistema microprocessado opera como um substituto para uma chave de torque quando a válvula moto-operada está no ciclo abertura para fechamento.

3.1.6 ARDIS (Armatures Diagnose System)

O sistema ARDIS^[21] foi desenvolvido, como protótipo, em 1993 pelo IST (Institut für Sicherheitstechnologie GmbH) em Garching, Alemanha. O sistema é baseado no módulo de aquisição de dados ASS (Siemens/KWU) para testes de válvulas moto-operadas. Os dados medidos como a potência elétrica do motor ou a posição da haste da válvula, parâmetros importantes são avaliados pelo computador. O núcleo do sistema é um banco de dados, no qual detalhes de construção, todos os dados técnicos do monitoramento das válvulas, todos os testes previstos dos diferentes tipos de válvulas existentes estão armazenados, como também, os parâmetros importantes de válvulas similares são avaliados neste banco de dados, formando assim, um conjunto de dados.

As informações do banco de dados, os limiares escolhidos são imediatamente avaliados (definidos através das medições efetuadas em válvulas similares), ocorre a detecção on-line de desvios anormais dos parâmetros dos dados de referência. Mais de 30 parâmetros e valores são investigados em cada teste. Análises de fase, no domínio do tempo e no domínio da frequência são aplicadas.

Atualmente o ISTec^[22] (The Institute for Safety Technology) GmbH fornece sistemas de monitoramento que incluem medição de componentes, transmissão dos dados medidos, armazenamento e avaliação desses dados. Este instituto foi fundado em 1992 como uma subsidiária do Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH e assiste a indústrias e agências governamentais em conexão com o desenvolvimento e introdução de novas tecnologias e com a execução de análises de segurança e disponibilidades.

3.1.7 Sistema de Diagnóstico de Válvula Siemens (MCC, SIPLUG)^[23]

Sistema desenvolvido pela Siemens AG – Power Generation Group (KWU) para diagnóstico de válvulas de Angra 2 é formado por três subsistemas descritos abaixo:

- DAW é um sistema de diagnóstico com capacidade de efetuar medidas do MCC (Centro de Controle) com a usina em operação. Alguns parâmetros como: torque, empuxo da haste da válvula, deslocamento do pacote de molas e atuação das chaves das válvulas são medidos visando detectar desvios ou tendências no funcionamento da válvula durante seu ciclo de vida.
- MCC/SIPLUG é um sistema complementar ao DAW. O sistema efetua teste nas medidas feitas com o DAW para calcular o comportamento mecânico. Teste do sinal do atuador da válvula é efetuado com um freio eletromagnético. Curvas de calibração do atuador são criadas e comparadas com as reais medidas de torque durante o diagnóstico dos testes.
- O software ADAM, a versão desenvolvida em 1998 integra a avaliação do DAW com as medidas do MCC/SIPLUG e constitui somente um software. Os dados são armazenados no aplicativo de banco de dados Access da Microsoft.

A combinação do DAW com o MCC/SIPLUG forma um equipamento de diagnóstico de válvulas moto-operadas capaz de avaliar vários tipos de válvulas.

3.1.8 UltraCheck “M” 2000^[20]

O sistema desenvolvido e comercializado pela Framatome possui sensores para 16 canais, onde verifica empuxo, torque deslocamento, chaveamento (4 canais), corrente do motor (3 canais), voltagem do motor (3 canais) e canais auxiliares (3 canais). Detecta a tendência da válvula, ou seja, problemas antes que ocorram falhas, plota curvas, identifica automaticamente eventos nas curvas. Este sistema foi desenvolvido somente para válvulas que requerem manutenção.

3.2 Sistemas de Diagnóstico e Monitoramento de Válvulas Moto-Operadas Utilizando Sistema Especialista

A Universidade do Tennessee junto a algumas empresas desenvolveram pesquisas para a elaboração de programas para computadores visando uma melhoria dos métodos de diagnóstico e monitoração através da extração automática de parâmetros das assinaturas das válvulas, análise desses parâmetros utilizando um sistema especialista que diagnostica potenciais problemas e recomenda ações corretivas. As técnicas de análise de assinatura utilizadas foram: análise das assinaturas de corrente dos motores (MCSA)^[1,24] e análise das assinaturas de potência dos motores (MPSA)^[5,16].

Assinatura de corrente dos motores fornece informações sobre degradações mecânicas ou condições elétricas de forma similar às assinaturas de potência^[1].

3.2.1 Sistema MOVEX

O Sistema MOVEX^[1] foi desenvolvido na Universidade do Tennessee em parceria com Laboratório National Oak Ridge (ORNL), entre 1989 e 1991 para diagnóstico, utilizando análise de assinatura de corrente. Análise das assinaturas de corrente dos motores foi desenvolvida pelo ORNL e utiliza a curva de corrente do motor para analisar as condições internas da válvula. A MCSA está embasada no fato que variações na carga mecânica do motor elétrico induzem transientes na corrente do motor, ou seja, essas variações são convertidas em variações da corrente elétrica.

O diagnóstico das assinaturas das válvulas consiste nas seguintes etapas:

- identificação das características básicas da válvula;
- cálculo das características ;
- comparação das características com as referências das válvulas e avaliação da condição.

O sistema desenvolvido na Universidade do Tennessee teve a finalidade de ser usado para automação em testes de válvulas. Os objetivos do projeto foram:

- automação da extração de características das assinaturas da válvula tipo gaveta, utilizando reconhecimento de padrão com técnicas de sistemas especialistas.
- avaliações automáticas das condições da MOV, usando técnicas de sistemas especialistas.
- demonstração do uso de hipertexto para informações no suporte à manutenção.

O módulo do pré-processamento lê, no domínio do tempo, as assinaturas da válvula e identifica as primitivas básicas da assinatura. Este algoritmo foi escrito em Fortran. O módulo de extração das características associa as primitivas com os conhecidos eventos durante a operação da válvula e calcula os parâmetros para o diagnóstico. A extração de características é controlada por um conjunto de regras que contém conhecimento sobre a aparência normal das assinaturas das válvulas. Esse conjunto de regras constitui um sistema especialista que foi desenvolvido como protótipo utilizando a ferramenta de programação KnowledgePro. Os parâmetros extraídos são enviados para o módulo de diagnóstico dos problemas em potenciais que recomenda ação corretiva. O sistema foi testado com válvula tipo gaveta.

3.2.2 Sistema MOVEX II

O MOVEX II^[24], desenvolvido na Universidade do Tennessee, é uma extensão com melhorias do MOVEX original. O MOVEX II traz a proposta de um sistema especialista capaz de avaliar várias válvulas moto-operadas de diferentes fabricantes e tipos. Para que isso fosse possível, foram realizadas modificações na interface do sistema com o usuário e no módulo de extração de característica. No sistema original, o módulo de extração de características associava um transiente (por exemplo, pico do martelo) com um evento apropriado baseando-se nas características normais da assinatura de corrente. Estas características foram declaradas como constantes no programa desenvolvido. O novo módulo permite ao usuário criar um arquivo de dados separado, contendo os valores de referência com as características de cada válvula.

Outro melhoramento realizado foi o desenvolvimento de uma técnica baseada na transformada discreta de Hilbert para detecção de envelope (ou demodulação em amplitude do sinal portador^[25]). Esta técnica é imune à adição de ruído e foi empregada na etapa de aquisição de dados. Depois da demodulação, a análise da corrente do motor procede filtrando o sinal recuperado para eliminar ruído de alta frequência. Transientes que ocorrem na assinatura de

corrente são isolados para análise. Um filtro Butterworth passa-baixa de quarta ordem foi implementado para eliminar ruído com frequência superior a 48,8 Hz. O algoritmo de reconhecimento de padrão para isolar e classificar os transientes foi o mesmo que o utilizado no MOVEX original.

A técnica do envelope é um método de análise de modulações de amplitudes de um sinal, ou melhor, é a análise da demodulação em amplitude do sinal portador das informações. A técnica foi inicialmente utilizada em telecomunicações na análise de sinais AM. O sinal que contém as informações é deslocado para as altas frequências fazendo uso das técnicas de modulação. Sinais de equipamentos que apresentam defeitos periódicos possuem picos regularmente espaçados no domínio do tempo. O envelope de um sinal deste tipo será um sinal periódico, cuja análise espectral mostrará as frequências associadas a esta periodicidade^[26].

3.2.3 Sistema PowerMOV

O Sistema PowerMOV^[5], desenvolvido pela Universidade do Tennessee e Duke Energy Corporation em 1996, utilizou a técnica de análise de assinaturas de potência (MPSA) que mostra certas vantagens sobre a análise de corrente^[5]. Essa técnica foi desenvolvida pela Duke Power Corporation e é mais sensível a alterações de carga na válvula do que análise em corrente. O PowerMOV original utilizou o sistema MPSA (Análise da potência do motor) para aquisição de dados.

O sistema consiste de vários módulos. O módulo de pré-processamento dos dados. O sistema de reconhecimento de padrão do MOVEX foi também incorporado à versão original do PowerMOV. Esse sistema incorpora um sistema especialista "Fuzzy" para análise de MOVs através de comparações de dados vindos das referências de uma mesma MOV.

O número de pontos da assinatura de potência do motor pode ser muito grande. O tempo de amostragem utilizado foi de 1/10000 segundos e o tempo de amostragem poderia ser superior a 1 minuto. Esse número de pontos foi considerado maior do que o apropriado para reconhecimento de padrões. O módulo do pré-processamento selecionou pontos da assinatura, dando origem a uma nova assinatura com menos pontos. A assinatura original foi dividida em intervalos e o intervalo foi substituído pelo ponto com o maior valor do intervalo, pois foi considerado que seria mais conveniente a assinatura consistir de um pequeno número de elementos descritos. Para conseguir ter um pequeno número de elementos descritos, a assinatura foi representada como um conjunto de simples eventos do qual poderia ser encontrado utilizando análise de padrão sintático. Os eventos utilizados no sistema foram picos, degraus, rampas e informações sobre o instante de ocorrência associado. Esta análise foi realizada no módulo de decomposição da assinatura.

O algoritmo de decomposição utilizado foi aquele desenvolvido para o sistema MOVEX. O programa original escrito em Fortran foi modificado para a linguagem C++ e associado com o programa do Sistema Especialista.

O principal propósito do reconhecimento de padrão sintático foi identificar formas geométricas da assinatura de potência do motor. Foi assumido que a forma de onda seria preservada se a assinatura representasse a soma das formas geométricas ou primitivas.

O Sistema Especialista contido dentro do módulo de diagnóstico realizou a comparação dos eventos característicos da assinatura com eventos de referência, informando as condições da válvula. As diferenças entre os valores de referência e os medidos foram passados para a máquina de inferência. Esse módulo realizou a comparação entre os valores e utilizou as regras criadas para informar um possível diagnóstico de diferentes tipos de válvulas. A máquina de inferência é um algoritmo escrito em C++ que utilizou lógica nebulosa ("Fuzzy"). O resultado da análise realizada na máquina de inferência é a própria informação

com o diagnóstico. O sistema foi testado com dados de laboratório de válvulas tipo gaveta e globo.

3.2.4 Sistema PowerMov II

Esta nova versão^[16] do sistema PowerMOV também foi desenvolvida pela Universidade do Tennessee e Duke Energy Corporation em 1997. A pesquisa teve três objetivos principais:

- o primeiro foi analisar a potência do motor, outras assinaturas e estimar os parâmetros da válvula.
- o segundo objetivo foi incorporar as características necessárias para análise de dados padrões e desenvolvimento de uma interface entre o módulo do sistema especialista e o sistema de monitoração da potência do motor (MPM) da Liberty Technologies.
- o terceiro foi o desenvolvimento de uma técnica para estimar a tendência de degradação das válvulas durante o tempo restante da vida útil no qual a válvula permanecesse em operação. A técnica foi validada utilizando dados de um laboratório e de uma planta nuclear.

A assinatura foi analisada pelo sistema especialista "Fuzzy" desenvolvido, utilizando a linguagem Visual C++. Os eventos característicos foram usados por um sistema especialista para detectar e classificar várias anomalias das válvulas. O módulo de decisão de lógica "Fuzzy" foi incorporado ao sistema especialista para analisar as anomalias nas válvulas. Os resultados e os dados com o baseline das válvulas foram armazenados em Microsoft Access 2.0.

Em resumo, o PowerMov II utilizou o MPM (Motor Power Monitor), um programa para análise e aquisição de dados escrito no Visual C++ em 16 bits pela Liberty Technologies, enquanto que o PowerMov original utilizou o sistema para aquisição de dados MPSA (Motor Power Signal Analysis),

desenvolvido pela Duke–Energy Corporation. Os sistemas de reconhecimento de padrão do MOVEX e do PowerMov originais foram incorporados ao PowerMov II, bem como o sistema especialista “Fuzzy” do PowerMov original. Essa nova versão ampliou a detecção de eventos e a identificação de degradações para as válvulas tipo gaveta, globo e borboleta.

3.3 O Módulo de Pré-Processamento (Extração dos Eventos Característicos) do MOVEX

Os sistemas MOVEX original, MOVEX II, PowerMov original e PowerMov II, já descritos, utilizaram para a extração das formas de onda primitivas (picos, degraus e rampas) dois algoritmos de detecção de picos e um sistema de filtro não linear para detecção de degraus e rampas. Segue no decorrer deste item a descrição do método proposto por Eklund^[1].

Para a detecção de picos foi utilizado o algoritmo de Marshall^[27]. Algoritmo esse insensível ao ruído do sinal. Os picos são detectados sem nenhuma filtragem ou suavização do sinal, a fim de evitar a distorção do sinal. Esse algoritmo também fornece uma descrição dos picos quanto ao seu instante de ocorrência, altura absoluta, início e término dos picos. O algoritmo de Marshall detecta picos e vales.

A extração das primitivas degraus e rampas das assinaturas das válvulas foi utilizado a decomposição de Love and Simaan^[1]. Essa decomposição também detecta picos usando uma lógica limiar. O melhor desempenho foi obtido com Marshall. A detecção dos picos é realizada com um filtro mediano através da diferença entre o sinal original e o sinal obtido do filtro.

Na saída do filtro mediano é aplicado o filtro de detecção de rampa. Esse filtro substitui toda amostra da entrada por componentes de baixa frequência. A rampa é determinada por ajuste dos mínimos quadráticos nos pontos vizinhos da amostragem. A computação do filtro de rampa é intensa.

Na saída do filtro para detecção de rampa opera o filtro para calcular a média do sinal horizontal. O propósito deste filtro é extrair segmentos positivos e negativos correspondentes a rampas do sinal original. O filtro substitui toda amostra de sua entrada pela média calculada de todas as amostras no segmento, incluindo a duração do segmento quanto a sua extensão horizontal e do valor de toda amostragem no segmento vertical.

A diferença entre a saída do filtro para detectar a rampa e a saída do filtro para cálculo da média horizontal é a entrada para detectar degraus. A lógica para detectar degraus é basicamente um integrador que integra os impulsos que excedem um limiar. Os instantes da ocorrência e amplitudes são armazenados. O instante da ocorrência do degrau é definido como o instante do valor máximo do impulso correspondente na lógica da entrada do sinal.

A lógica para detectar rampa extrai segmentos diferentes de zero do sinal de entrada e armazena seu início, fim e amplitudes.

O método proposto foi testado com assinaturas de corrente do motor obtidas da Performance Technologies, Inc e foram encontradas algumas dificuldades na extração de certas características como as descritas abaixo:

- Na extração do pico do Martelo, pois sua altura é pequena quando comparada ao nível do ruído.
- Na detecção de picos foram encontrados picos adicionais que na verdade eram ruídos.

Para tentar resolver a dificuldade na detecção do pico do Martelo, primeiro encontraram o pico do acionamento do motor, em seguida o pico de Ligação (“unseating”) com um aumento no limiar de detecção (altura relativa do pico) e depois aplicaram o detector de picos voltado especificamente para a extração do pico do Martelo. Para tentar remover os falsos picos foi utilizado um

filtro mediano que causou uma pequena distorção na assinatura, uma suavização nos picos^[1].

O próximo capítulo deste trabalho apresenta uma descrição dos algoritmos desenvolvidos para extração dos eventos das válvulas moto-operadas. O trabalho desenvolvido por Eklund^[1] serviu de base e originou a proposta desta dissertação. Os algoritmos desenvolvidos neste trabalho apresentam uma nova abordagem, visando melhorar e solucionar as dificuldades descritas por Eklund^[1].

4 ALGORITMOS PARA SELEÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ASSINATURAS

O presente capítulo apresenta a descrição dos algoritmos desenvolvidos para seleção das características das assinaturas de potência do motor de válvulas moto-operadas para serem posteriormente reconhecidas (identificadas) no módulo do sistema especialista (Capítulo 5).

4.1 Considerações Iniciais

Um método computacional de seleção de parâmetros das assinaturas de válvulas moto-operadas foi desenvolvido neste trabalho.

Para o reconhecimento (identificação) dos eventos característicos das assinaturas de válvulas moto-operadas é necessário primeiro obter os parâmetros, que serão depois identificados. Para obter esses eventos característicos foram desenvolvidos algoritmos que selecionam parâmetros da assinatura de potência com formas semelhantes a picos, vales e movimento da haste.

4.2 Reconhecimento de Padrões

A identificação dos eventos característicos de assinaturas das válvulas na realidade é um reconhecimento de padrões. Reconhecimento de

padrão é a área da pesquisa que estuda a operação e o projeto de sistemas para extração e identificação de informações em dados, que tem como objetivo identificar e classificar objetos (padrões) em um número de classes^[28]. Uma área relacionada com reconhecimento de padrões é a Inteligência Artificial, cuja área possui a ferramenta sistema especialista (Capítulo 5). Aplicando a definição acima para o reconhecimento dos eventos característicos das assinaturas em potência de válvulas moto-operadas, os valores dos picos e instantes de ocorrência são os objetos e as classes são seus nomes ou identificações.

Um projeto de sistemas de reconhecimento de padrões essencialmente envolve três aspectos: aquisição de dados e pré-processamento, representação dos dados e tomada de decisões. No caso deste trabalho o aspecto aquisição de dados não faz parte do escopo, como já descrito no Capítulo 2. A aquisição de dados tem sido feita com o software Windagem, desenvolvido para a empresa espanhola Iberdrola. Um problema de reconhecimento de padrões bem definido e restrito permite uma representação compacta dos padrões e uma estratégia de decisão simples. Mas nem sempre os padrões a serem reconhecidos possuem essas características, por isso os algoritmos de extração e seleção de características são importantes.

O reconhecimento de padrões é composto de um conjunto de técnicas e abordagens que são usadas de forma integrada na solução de diversos problemas práticos, conforme o tipo de objetos a classificar (ou identificar).

As técnicas matemáticas empregadas para solucionar problemas de reconhecimento de padrões podem ser agrupadas em dois métodos gerais: o método de decisão teórica ou discriminante e o método sintático, lingüístico ou estrutural^[29].

Entre as abordagens ou os métodos que podem ser empregados na solução de problemas pode-se destacar: a abordagem estatística, a sintática, a neuronal e a difusa.

4.2.1 Abordagem Estatística

A abordagem clássica, historicamente mais antiga, denominada por "Teoria da Decisão". Assume que as características das classes se regem por determinados modelos probabilísticos. Um sistema genérico de reconhecimento de padrões pode ser composto por um módulo de aquisição de dados (por exemplo: sensores), um módulo de pré-processamento que é um processo de transformação dos dados de entrada brutos, para auxiliar na praticidade computacional, extração das características e minimização de ruídos, um extrator de características que cria um vetor de características com dados extraídos dos objetos adquiridos, reduzindo os dados a atributos, propriedades ou características; um seletor de características que analisa o conjunto de características do vetor e elimina as mais redundantes; e um identificador, ou seja, um sistema para identificação dessas características cuja finalidade é analisar um padrão obtido e tomar uma certa decisão.

4.2.2 Abordagem Sintática

Nesta abordagem um padrão é composto por sub-padrões mais simples, os quais também podem ser compostos por outros mais simples. Os sub-padrões elementares são chamados de primitivas. A descrição das primitivas pode ser determinística ou estatística, sendo a identificação das primitivas baseada em método da decisão teórica. Esta abordagem é chamada sintática, pois do mesmo modo que a gramática de uma linguagem forma frases e sentenças pela concatenação de palavras e estas por letras, este método estrutura os padrões na forma de várias composições de primitivas.

No método de decisão teórica, um conjunto de medidas características é extraído dos padrões. Aplicando esta abordagem sintática para análise das assinaturas, a assinatura seria o padrão e a sua decomposição por exemplo, em picos, vales e zonas planas as primitivas. Esta abordagem fornece uma descrição de como os padrões são gerados a partir de primitivas que podem ser repetidas. Esse paradigma pode ser aplicado em padrões com estrutura

definida, como assinaturas de válvula moto-operadas, análise de formas de contornos. O número de características físicas (primitivas) depende do fenômeno que se está analisando e freqüentemente é o resultado de experimentos e/ou observações, não podendo ser determinado precisamente.

Um sistema de Reconhecimento de Padrões que utiliza esta abordagem é composto de um processo de análise e outro de reconhecimento. O processo de análise é o responsável pela seleção de primitivas e pela inferência gramatical, visando extrair as informações estruturais importantes do padrão para que possa ser realizado o processo de reconhecimento.

4.2.3 Abordagem Neuronal

Abordagem tipo "caixa negra" que procura determinar um mapeamento ótimo entre entradas e saídas, inspirando-se em modelos de neurônios do cérebro.

4.2.4 Abordagem Difusa ou "Fuzzy"

Abordagem que tem em conta o grau de incerteza por vezes inerente a características e a classificações, usando a Teoria dos conjuntos difusos ou "Fuzzy" para modelar esse grau de incerteza.

4.3 Seleção de Características

Para a identificação dos eventos característicos das válvulas é preciso primeiro selecionar as características necessárias. Métodos automáticos de seleção de características são importantes em muitas situações em que se tem disponível um conjunto grande de características e é desejável selecionar um subconjunto adequado. A seleção de características é uma forma de reduzir a dimensionalidade^[30].

O termo dimensionalidade é atribuído ao número de características de uma representação de padrões. Para efetuar redução de dimensionalidade, basicamente existem dois métodos:

- **Extração de características:** Os algoritmos deste método criam novas características a partir das transformações ou combinações do conjunto original. Essas novas características podem fornecer uma habilidade de discriminação melhor que o subconjunto das características originais, mas as novas características (combinações lineares ou não lineares das características originais) podem não possuir um significado físico.
- **Seleção de características:** Os algoritmos de seleção de características selecionam, segundo determinado critério, o melhor subconjunto do conjunto de características originais. Normalmente a seleção de características reduz o custo de medição de dados e as características selecionadas mantêm sua interpretação física original, mantendo as propriedades que possuíam quando foram criadas.

Em geral, extração de características precede seleção de características. Inicialmente é realizada a extração de características a partir dos dados de entrada, a seguir um algoritmo de seleção de características elimina os atributos mais irrelevantes segundo determinado critério, reduzindo a dimensionalidade. A escolha entre seleção e extração de características depende do domínio da aplicação.

No domínio da análise e classificação de sinais é aplicado o reconhecimento de formas de onda e diagnóstico de sinais eletrocardiográficos. Os diversos componentes de um eletrocardiograma são reconhecidos e medidos. As medições são usadas para classificar (diagnosticar) os sinais. Abordagens sintáticas e estatísticas são apropriadas a este tipo de problema. Como as assinaturas de potência têm aspectos semelhantes aos sinais eletrocardiográficos, torna-se também uma área de possível aplicação, pois em ambos os sinais o conhecimento do exato instante de ocorrência e a amplitude de parâmetros característicos são importantes para o diagnóstico. Por exemplo, em

casos de sinais de eletrocardiografia, o formato da onda é importante para indicação do funcionamento cardíaco.

4.4 Algoritmo de Detecção de Picos

Os picos de uma forma de onda temporal são freqüentes e isto é sua mais óbvia e útil característica. Para o diagnóstico de válvulas moto-operadas são necessárias determinações das reais características das assinaturas de potência do motor, ou seja, o valor de amplitude e o exato instante da ocorrência. A dificuldade na detecção de picos está em determinar os que são os picos reais e os que são apenas ruídos. Uma abordagem é a remoção de ruídos e a localização dos picos através de uma série de transformações, ou seja, empregando-se uma extração de características. A abordagem adotada neste trabalho baseia-se na definição de pico que é insensível ao ruído do sinal. Os picos são encontrados sem nenhuma suavização, atenuação ou deslocamento do sinal, ou seja sem provocar nenhuma oscilação no sinal e a sua consequência que é mascarar o estado físico da válvula. O algoritmo de Marshall^[27], que foi utilizado em trabalhos anteriores, desenvolvido para a área biomédica, também localiza os picos do sinal sem causar atenuação ou deslocamento.

O algoritmo de extração dos eventos de pico possui o funcionamento como descrito a seguir:

- Passo 1: Se $A_i > A_{i+1}$ e $A_i > A_{i-1}$, onde A é a amplitude em potência (watts) e i é a posição do dado em um vetor de n elementos.

O conjunto de todos os candidatos a pico é construído. O vetor construído possui muitas amostras, tornando-se necessária a redução da dimensão deste. A dimensão do vetor com amostras que caracterizam seu estado de processo é reduzido para um tamanho razoável. A seleção de características deve ser capaz de encontrar as características que contêm as mais significantes informações dos dados originais. As formulações gerais de problemas de seleção

de características podem ser descritas como: para o original vetor $x = (x_1, \dots, x_p)$ encontre um $x' = (x_1, \dots, x_d)$ com uma dimensão reduzida $d < D$ que representa as classes mais compactadas.

Para o passo 2 e passo 3 descritos abaixo foram elaborados critérios para a redução da dimensionalidade do vetor construído no passo 1.

Passo 2: O conjunto de todos os candidatos a pico é dividido por faixas de valores entre 0 e 70000 watts. O valor 70000 watts está baseado na análise de dados de Angra I. Nenhum dado de válvula existente chega a esse valor. Mesmo assim, caso ocorra valores em potência acima dessa faixa de 70000 watts o algoritmo conseguiria detectar, pois foi criada uma faixa para valores superiores a 70000 watts de potência.

- Passo 3: Dentro dessas faixas é verificado se $T_{j+1} - T_j > 1$ segundo. Sendo o resultado do teste positivo, o conjunto dos candidatos por faixa é montado. Sendo T é o instante de ocorrência em segundos e j é a posição do dado dentro desse conjunto.
- Passo 4: Um só conjunto com todos os candidatos a pico é construído.
- Passo 5: Ordena o conjunto dos candidatos de acordo com o instante de ocorrência.
- Passo 6: Verifica se $T_{k-1} - T_k > 1$ segundo e $A_{k-1} < A_k > A_{k+1}$. Sendo A a amplitude, T o instante de ocorrência e k a posição do dado dentro desse conjunto.
- Passo 7: O conjunto final com todos os eventos de pico é montado e o resultado apresentado na tela.

O programa desenvolvido foi adaptado para permitir melhor ilustrar a descrição dos passos do algoritmo de pico. A saída deste programa está

mostrada nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3. Onde a figura 4.1 ilustra o passo 1, a figura 4.2 representa os passos 5 e 6 e a figura 4.3 ilustra o passo 7.

```

0 arquivo p8804b.dat foi aberto

Total de dados = 94880
Ciclo fechamento para abertura
Abaixo numero de Candidatos por faixa:

faixa de 0 a 50 = 4 faixa de 50 a 100 = 0 faixa de 100 a 150 = 0
faixa de 150 a 200 = 0 faixa de 200 a 300 = 0 faixa de 300 a 400 = 0
faixa de 400 a 500 = 0 faixa de 500 a 600 = 1 faixa de 600 a 700 = 32
faixa de 700 a 800 = 5 faixa de 800 a 900 = 6 faixa de 900 a 1000 = 714
faixa de 1000 a 1200 = 473 faixa de 1200 a 1400 = 28 faixa de 1400 a 1600 = 6
faixa de 1600 a 1800 = 8 faixa de 1800 a 2000 = 14 faixa de 2000 a 3000 = 11 f
aixa de 3000 a 4000 = 1
faixa de 4000 a 5000 = 1 faixa de 5000 a 6000 = 0 faixa de 6000 a 7000 = 0
faixa de 7000 a 8000 = 0 faixa de 8000 a 9000 = 0 faixa de 9000 a 10000 = 0
faixa de 10000 a 20000 = 1 faixa de 20000 a 30000 = 1
faixa de 30000 a 40000 = 0 faixa de 40000 a 50000 = 0
faixa de 50000 a 60000 = 0 faixa de 60000 a 70000 = 0 faixa de outros = 0

pressione qualquer tecla para continuar....

pico_file_parte2.exe - 0 error(s), 0 warning(s)

```

Figura 4.1 - Algoritmo Pico, saída do passo 1.

```

pressione qualquer tecla para continuar...
[1]= 23532 0.883333 1060
[2]= 2033.7 0.944167 1133
[3]= 1741.6 35.2975 42357
[4]= 1898.2 35.3217 42386
[5]= 1871.1 35.3392 42407
[6]= 2259.5 35.4308 42517
[7]= 2909.9 35.6183 42742
[8]= 3485 35.7692 42923
[9]= 3747 35.8442 43013
[10]= 3864.4 35.8808 43057
[11]= 7372.2 36.9725 44367
[12]= 7543.9 37.0067 44408
[13]= 7974.4 37.1242 44549
[14]= 8405 37.2508 44701

pressione qualquer tecla para continuar...
[1]= 23532 0.883333 1060
[2]= 1741.6 35.2975 42357
[3]= 1898.2 35.3217 42386
[4]= 7372.2 36.9725 44367
[5]= 8405 37.2508 44701

pressione qualquer tecla para continuar...

```

Figura 4.2 - Algoritmo Pico, saída dos passos 5 e 6.

```

[1]= 23532 0.883333 1060
[2]= 8405 37.2508 44701
Press any key to continue

```

Figura 4.3- Algoritmo Pico, saída passo 7.

4.5 Algoritmo de Zona Plana

O segundo algoritmo foi implementado para extração de eventos tipo movimentação da haste espiralada, onde a forma de onda é similar a uma reta durante um intervalo de tempo. Esse algoritmo apresenta como resultado na tela o instante inicial e final de ocorrência da chamada zona plana.

- Passo 1: A cada posição, é verificada se a posição anterior tem um valor em potência menor e se a posição posterior tem um valor igual. Sendo o resultado do teste positivo, é construído um conjunto com todos os candidatos a zona plana inicial e seus respectivos instantes de ocorrência.

Do mesmo modo que no algoritmo de pico já descrito foi necessária a redução da dimensionalidade do vetor construído, também neste algoritmo é aplicada a redução das características da forma como estão descritas nos passos logo abaixo.

- Passo 2: O conjunto formado no passo 1 é dividido em faixas de valores entre 0 e 2000 watts de potência. O valor 2000 watts está baseado na análise de dados de Angra I. Nenhum dado de válvula existente chega a ter a faixa de movimentação da haste próximo ou acima desse valor. Mesmo assim, caso ocorra valores em potência acima dessa faixa de 2000 watts o algoritmo conseguiria detectar, pois foi criada uma faixa para valores superiores a 2000 watts de potência, sendo que para cada faixa haverá um conjunto.
- Passo 3: Para cada faixa de valores é verificado se a posição anterior tem um valor em potência menor e se a posição posterior tem um valor igual, sendo positivo o resultado do teste, é construído um outro conjunto para cada faixa de valores

- Passo 4: É verificado se os intervalos de faixas de valores realmente podem ser considerados zonas planas, caso seja confirmado, é formado o conjunto final com todos os valores iniciais de zona plana.
- Passo 5: A cada posição, verifica se a posição anterior tem um valor em potência igual e se a posição posterior tem um valor menor, sendo positivo o resultado do teste, é construído um conjunto com todos os candidatos a zona plana final
- Passo 6, 7 e 8: Repete os passos 2, 3 e 4 com a diferença que o conjunto resultante encontrado é formado com todos os valores finais de zona plana e seus respectivos instantes de ocorrência.
- Passo 9: O valor médio de cada zona plana é obtido através da somatória entre todos os pontos no instante inicial de cada zona plana até o instante final da zona plana respectiva, então essa somatória é dividida por todos os pontos existentes no intervalo.

A figura 4.4, ilustra os passos descritos acima.

```

Candidato a inicio da Zona Plana =929 Patamar 700= 0 Patamar 900= 110 Patamar
1100= 0 Patamar 1300= 766
Inicio de zona plana[1] = 973.81 Instante = 0.922168 Dado numero = 1209
Inicio de zona plana[2] = 1287 Instante = 1.65899 Dado numero = 2175

Candidato a fim da Zona Plana =2728 Patamar 700= 0 Patamar 900= 100 Patamar
1100= 19 Patamar 1300= 2513
Fim de Zona plana[1] = 946.71 Instante = 1.54686 Dado numero = 2028
Fim de Zona plana[2] = 1380.3 Instante = 32.2431 Dado numero = 42272

Potencia media zona plana[1] = 963.073
Potencia media zona plana[2] = 1310.39
Press any key to continue

pico_file_parte2.exe - 0 error(s), 0 warning(s)

```

Figura 4.4 - Algoritmo de Zona Plana, ilustra saída dos passos de 1 a 9.

4.6 Algoritmo de Vales

Um terceiro algoritmo extrai a altura e instante em que ocorre um evento semelhante a um pico negativo, chamado de algoritmo de "vales". Esse é um simples algoritmo para verificar a existência desses valores negativos. Seu funcionamento é o seguinte:

Se $A_i < A_{i+1}$ e $A_i < A_{i-1}$ e $A_i < \text{zero}$ são verdades, então é formado o conjunto de todos os candidatos a vale e o resultado é apresentado na tela. Onde A é a amplitude em potência (watts) do sinal e i é a posição do dado em um vetor de n elementos.

O conjunto de todos os candidatos a pico é construído, onde é selecionado o candidato que apresente o maior valor negativo junto a seu respectivo instante como mostrado na figura 4.5.

```

0 arquivo foi aberto

Total de dados = 94880

Ciclo fechamento para abertura, numero de candidatos= 7

pico[1] = -89.075 Instante = 76.5825 posicao[1] = 91899
pico[2] = -22.833 Instante = 76.6558 posicao[2] = 91987
pico[3] = -16.811 Instante = 76.6642 posicao[3] = 91997
pico[4] = -16.811 Instante = 76.715 posicao[4] = 92058
pico[5] = -7.7778 Instante = 76.7308 posicao[5] = 92077
pico[6] = -1.7558 Instante = 76.745 posicao[6] = 92094
pico[7] = -1.7558 Instante = 76.88 posicao[7] = 92256

'Vales' encontrados:
pico[1] = -89.075 Instante = 76.5825 posicao[1] = 91899
Press any key to continue

vale_parte2.exe - 0 error(s). 0 warning(s)

```

Figura 4.5 - Algoritmo Vale, ilustra a saída do algoritmo.

Obtidos os valores dos parâmetros selecionados das assinaturas de potência do motor das válvulas moto-operadas, através dos algoritmos descritos neste capítulo, torna-se necessário identificá-los, a fim de confirmar se os parâmetros obtidos são realmente os eventos característicos das assinaturas das válvulas e identificar qual é o evento. Essa identificação é realizada com um sistema especialista que foi construído para essa finalidade e está descrito no Capítulo 5.

5 SISTEMA ESPECIALISTA

Este capítulo apresenta o Sistema Especialista desenvolvido para identificação dos parâmetros selecionados nas assinaturas de potência de válvulas moto-operadas. Antes da descrição do sistema especialista desenvolvido, o presente capítulo apresenta uma visão geral de Sistemas Especialistas.

5.1 Introdução

Um Sistema Especialista é um programa de computador que faz uso intensivo do conhecimento especializado para resolver problemas ao nível de um especialista humano, utilizando métodos inferenciais para a resolução de problemas técnicos e especializados. As duas linhas principais de pesquisa para a construção de sistemas inteligentes são: a linha conexionista e a linha simbólica^[31]. A linha simbólica, da qual fazem parte os Sistemas Especialistas, segue a tradição lógica. A manipulação simbólica de um grande número de fatos especializados sobre um domínio restrito serve como paradigma para a construção de sistemas inteligentes do tipo simbólico. Os Sistemas Especialistas fazem parte da subárea Inteligência Artificial, um ramo da computação que compreende os projetos de sistemas computacionais que exibam características associadas, quando presentes no comportamento humano, quanto à inteligência, ou seja, estuda a capacidade de uma máquina raciocinar e aprender como um ser humano, os Sistemas Especialistas interagem com seu usuário numa linguagem

natural de perguntas e respostas, sugerindo e auxiliando na solução de complexos problemas^[32].

5.2 Significado de um Sistema Especialista

Sistema Especialista corresponde a uma ferramenta da Inteligência Artificial. Estes sistemas baseados no conhecimento, construídos, principalmente, com regras que reproduzem o conhecimento do perito, são utilizados para solucionar determinados problemas em domínios específicos. Segundo Feigenbaum^[33] um Sistema Especialista (SE) "é um programa inteligente de computador que usa conhecimentos e procedimentos inferenciais, para resolver problemas que são bastante difíceis, de forma a requererem para sua solução, muita perícia humana. O conhecimento necessário para atuar a esse nível – mais os procedimentos inferenciais empregados – podem ser considerados um modelo da perícia dos melhores profissionais do ramo. O conhecimento de um Sistema Especialista consiste em fatos e heurísticas. Os fatos constituem um corpo de informação que são largamente compartilhados, publicamente disponível e geralmente aceito pelos especialistas em um campo. As heurísticas são em sua maioria regras privadas poucos discutidas, de bom discernimento (regras de raciocínio plausível, regras de boa conjectura), que caracterizam a tomada de decisão no nível de um especialista na área. O nível de desempenho de um sistema especialista é função principalmente do tamanho e da qualidade do banco de conhecimento que possui".

Um sistema para ser considerado especialista necessita de alguns componentes, tais como^[34]:

- uma *Linguagem* de expressão dos conhecimentos fornecidos pelos especialistas;
- uma *Base de Conhecimentos*, para armazenar o conhecimento específico de determinada aplicação, que pode ser diretamente

fornecido por um especialista ou acumulado pelo sistema ao fim dos experimentos;

- um *Motor de Inferência*, programa relativamente geral que explora o conhecimento da base precedente, considerando-a como fonte de informações (Assim suscetível a mudanças).

Programas de computador que tentam resolver problemas que os seres humanos resolveriam emulando o raciocínio de um especialista, aplicando conhecimentos específicos e inferências, são ditos Sistemas Especialistas^[31]. O conhecimento de peritos em campos específicos é distribuído em grupos de leis e inserindo nos sistemas, construindo programas de aplicações que auxiliam os não-peritos a resolver problemas especialistas, respondendo a perguntas deste programa, auxiliando em um processo de tomada de decisão.

Um sistema convencional é baseado em um algoritmo, emite um resultado final correto e processa um volume de dados de maneira repetitiva enquanto que um Sistema Especialista é baseado em uma busca heurística e trabalha com problemas para os quais não existe uma solução convencional organizada de forma algorítmica disponível ou então é muito demorada^[35].

O conhecimento do perito humano é utilizado para programar uma máquina para resolver um problema ou a tomar uma decisão. Um computador, segundo Chorafas^[34] pode ajudar da seguinte maneira: "o computador interage com as perguntas do usuário e chega a uma conclusão baseada nas respostas. O usuário pode perguntar ao computador por que ele quer certa informação e o Sistema Especialista explicará sua necessidade dos dados e como eles serão utilizados. O mais importante é que o SE dirá como chegou a suas conclusões; não dará somente conselhos, mas também justificará a opinião que oferece."

Os Sistemas Especialistas também são considerados sistemas cognitivos e a tecnologia utilizada para seu desenvolvimento chamada de Engenharia do Conhecimento. A Engenharia do Conhecimento^[36] é uma subárea

de Inteligência Artificial, voltada a aplicação de conhecimento para resolver problemas que em geral requerem a inteligência humana, pode-se definir também como a disciplina de Inteligência Artificial que trabalha com a tarefa de implementação de sistemas especialistas, as ferramentas e os métodos que apoiam o desenvolvimento de Sistemas Especialistas. Jacques Quibel^[34] iniciou sua definição da Engenharia do Conhecimento pela definição da própria palavra engenharia: "A engenharia comporta os métodos para estudo de um projeto e realização de um trabalho complexo por equipes diversas, de especialidades complementares." Ainda segundo Quibel^[34]: "Desenvolver um SE é aplicar uma "engenharia" do conhecimento: a construção de uma informática lógica refere-se a fatos e idéias e a capacidade de tratá-los, os quais receberá do exterior, para deduzir um diagnóstico, uma preconização, ou, de fato, uma decisão."

5.3 A Origem dos Sistemas Especialistas e Engenharia de Conhecimento^[31]

Os Sistemas Especialistas surgiram no fim da Segunda Guerra Mundial. Grupos independentes de cientistas ingleses e norte-americanos trabalharam em uma máquina eletrônica que pudesse ser conduzida por um programa armazenado de instruções e fosse feita para executar cálculos numéricos complexos. Os ingleses argumentavam que esta máquina deveria responder a operadores lógicos, tais como "e", "ou" e "não", sendo a base para a montagem de operadores numéricos mais complexos. Os cientistas americanos argumentavam que o custo dessas máquinas seria muito alto, e, a máquina só seria usada para cálculos numéricos. Então, os cientistas americanos decidiram usar operadores numéricos, como "+", "-" e ">" e, foram seguidos pelos ingleses, resultando nas máquinas de calcular.

Um pequeno grupo de cientistas continuou a explorar a capacidade dos computadores manipularem símbolos não-numéricos. Na mesma época, psicólogos interessados na resolução de problemas pelo homem, buscavam

desenvolver programas de computador que simulassem o comportamento humano.

Em um segundo estágio (década de 70), existia uma corrente que estudava problemas de aprendizagem simples (conceitos simples) em profundidade e uma outra que incorporava grandes quantidades de conhecimento em sistemas de aprendizagem.

Ao final da década de 70 (terceiro estágio), as pesquisas motivadas pela necessidade de adquirir conhecimento para sistemas especialistas buscavam várias formas de aprendizagem, incluindo conselhos e aprendizagem por analogias^[33], acabaram por fazer com que as áreas de Sistemas Especialistas e Engenharia do Conhecimento emergissem como aplicações reconhecidas de técnicas de Inteligência Artificial.

5.4 Classificação de Sistemas Especialistas

Os Sistemas Especialistas podem ser classificados quanto às características do seu funcionamento, ou seja, na função a ser exercida pelo sistema, sendo as seguintes categorias existentes^[31,35]:

- **Interpretação** - São sistemas que inferem descrições de situações a partir da observação de fatos, fazendo uma análise de dados e procurando determinar as relações e seus significados. Esses sistemas devem considerar as possíveis interpretações, descartando as que se mostrarem inconsistentes.
- **Diagnósticos** - São sistemas que detectam falhas oriundas da interpretação de dados. A análise dessas falhas pode conduzir a uma conclusão diferente da simples interpretação de dados. Detectam os problemas mascarados por falhas dos equipamentos e falhas do próprio

diagnóstico, que este não detectou por ter falhado. Estes sistemas já têm embutidos o sistema de interpretação de dados.

- **Monitoramento** – Nesta categoria são considerados os sistemas que interpretam as observações de sinais sobre o comportamento monitorado. Ocorre um monitoramento, uma verificação contínua de um determinado comportamento em limites pré-estabelecidos, sinalizando quando forem requeridas intervenções para o sucesso da execução. Um sinal poderá ser interpretado de maneiras diferentes, de acordo com a situação global percebida naquele momento e a interpretação varia conforme os fatos que o sistema percebe a cada momento.
- **Predição** – As características desta categoria partem de uma modelagem de dados do passado e do presente. Este sistema permite uma determinada previsão do futuro, ou melhor, baseando sua solução na análise do comportamento dos dados recebidos no passado, possuindo mecanismos para verificar os vários futuros possíveis a partir da análise de comportamento desses dados, fazendo também o uso de raciocínios hipotéticos e verificando a tendência de acordo com a variação dos dados de entrada.
- **Planejamento** - Nesta categoria, visando atingir um determinado objetivo o sistema prepara um programa de iniciativas a serem tomadas. Sendo estabelecidas etapas e subetapas e, em caso de etapas conflitantes, são definidas as prioridades. Esta categoria possui algumas características parecidas com o sistema para a predição e normalmente opera em grandes problemas de solução complexa. O princípio de funcionamento, em alguns casos, é por tentativas de soluções, cabendo a análise mais profunda ao especialista que trabalha com esse sistema, enfocando os aspectos mais importantes e particionando de maneira coerente um problema em sub-problemas menos complexos, estabelecendo sempre o relacionamento entre as metas destes subproblemas e a meta principal.

- Projeto - Este sistema tem características parecidas com a categoria planejamento, sendo um sistema que permite justificar a alternativa para o projeto final e de fazer uso dessa justificativa para alternativas futuras.
- Depuração – Sistemas de depuração possuem mecanismos para fornecerem soluções para o mal funcionamento provocado por distorções de dados. Estes sistemas fornecem de maneira automática, verificações nas diversas partes, incluindo mecanismos para validar cada etapa necessária em um processo qualquer.
- Reparo - Este sistema desenvolve e executa planos para administrar os reparos verificados na etapa de diagnóstico. Alguns sistemas especialistas para reparos seguem um plano para administrar alguma solução encontrada em uma etapa do diagnóstico. Os sistemas de reparos são poucos desenvolvidos, pois o ato de executar um reparo em algo do mundo real costuma ser uma tarefa complexa.
- Instrução - O sistema de instrução possui um mecanismo para verificar e corrigir o comportamento do aprendiz dos estudantes. Normalmente, incorporam como subsistemas um sistema de diagnóstico e de reparo, e tomam por base uma descrição hipotética do conhecimento do aprendiz. O funcionamento deste sistema consiste na interação com o treinando, em alguns casos apresentando uma pequena explicação e depois começa a sugerir situações para serem analisadas pelo treinando. Através da análise comportamental do treinando, o grau de complexidade das situações tende a crescer e o assunto vai sendo encaminhado de maneira didática, até se atingir o nível intelectual do treinamento.
- Controle – Este sistema controla o comportamento geral de outros sistemas (não apenas de computação), sendo o mais completo, de um modo geral, pois deve interpretar os fatos de uma situação atual, verificando os dados passados e fazendo uma predição do futuro, ao final apresenta os diagnósticos de possíveis problemas, formulando um

plano para sua correção. O plano de correção formulado é executado e monitorado, a fim de atingir o objetivo.

O Sistema Especialista existente neste trabalho pode ser descrito como pertencente às categorias dos sistemas de diagnóstico e monitoramento.

5.5 Arquiteturas de Sistemas Especialistas

Atualmente existem várias arquiteturas de Sistemas Especialistas sendo utilizadas. Dentre elas, a mais simples de compreender e também a mais difundida, compõe-se de três elementos básicos^[31,32] (a figura 5.1 ilustra esta arquitetura):

- Base de conhecimento: Este é um elemento permanente, mas específico de um Sistema Especialista, sendo definido como o local onde estão armazenadas as informações, ou seja, os fatos e as regras. As informações armazenadas de um determinado domínio fazem do sistema um especialista neste domínio.
- Quadro negro: O mecanismo chamado quadro-negro realiza a comunicação das informações entre os Sistemas Especialistas. O quadro-negro é um local dentro da memória do computador no qual as informações armazenadas em um Sistema Especialista são "afixadas" para que qualquer outro Sistema Especialista possa acessá-las, caso precise delas para alcançar seus objetivos. Este mecanismo tem em sua estrutura informações que podem ser examinadas por Sistemas Especialistas cooperativos. O que esses sistemas fazem com essas informações depende da aplicação, o conceito do quadro-negro para afixar, modificar e observar mudanças é importante para os sistemas cooperativos. O quadro-negro ou memória de trabalho possui vida útil durante o curso de uma consulta concreta e é uma área de memória utilizada para fazer avaliações das regras que são recuperadas da base de conhecimento para a obtenção

de uma solução, sendo as informações gravadas e apagadas em um processo de inferência até se obter uma solução desejada.

- Mecanismo de inferência: Mecanismo de inferência ou motor de inferência é um elemento permanente, podendo ser reutilizado por vários Sistemas Especialistas. Motor de inferência é o processador do sistema que faz o casamento dos fatos contidos na memória de trabalho, com o domínio da informação contida na base de conhecimento, para inferir uma conclusão. Este elemento é o responsável pela busca das regras da base de conhecimento para serem avaliadas, direcionando o processo de inferência. O conhecimento deve estar preparado para uma boa interpretação e os objetos devem estar em uma determinada ordem representados por uma árvore de contexto. Basicamente, o mecanismo de inferência é dividido em duas tarefas básicas: selecionar e avaliar.

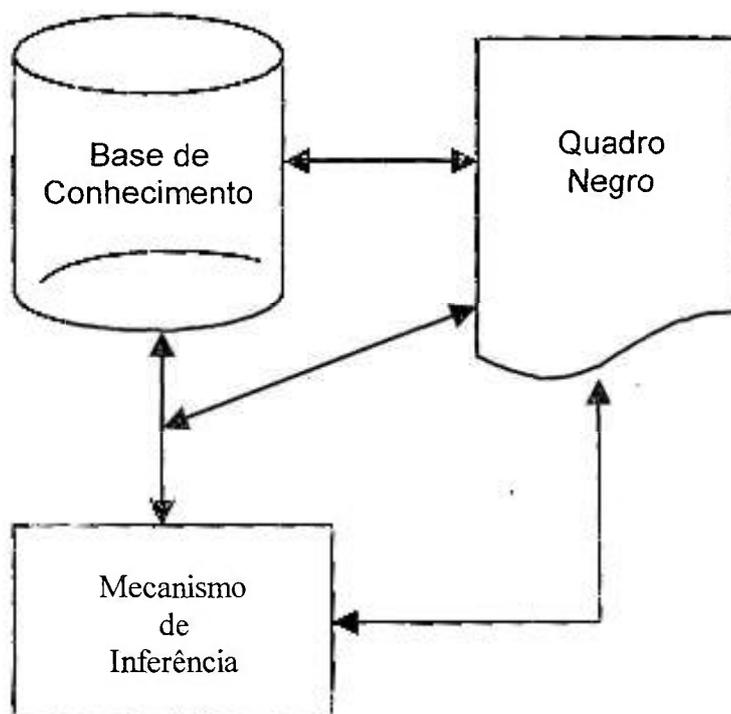


Figura 5.1 – Arquitetura básica de um Sistema Especialista.

O Sistema Especialista desenvolvido para este trabalho possui a arquitetura descrita, utilizando os três elementos básicos, em resumo, as regras necessárias desenvolvidas para atingir a meta são buscadas na base de conhecimento. Essas regras são então colocadas no quadro-negro. A ordem de avaliação no quadro-negro obedece a uma estrutura do tipo pilha, com o objetivo de atingir a meta mais recente. A regra continua a ser avaliada enquanto as condições da premissa forem verdadeiras. Caso a condição da premissa seja falsa, a regra é eliminada e a meta estabelecida desempilhada, então uma nova regra é carregada. Quando ocorre o caso de um valor de parâmetro em um determinado contexto não ser conhecido e não se encontrar nas estruturas de pilha, o programa procura por novas informações na base de conhecimento e pode provocar a busca de novas regras ou informar o usuário a respeito da informação desconhecida.

5.6 Justificativas para o uso de Sistemas Especialistas^[33]

Antes de se adotar como possível solução a um determinado problema a utilização de Sistemas Especialistas, deve-se fazer uma análise, pois não são todos os problemas que podem ser resolvidos por meio de Sistemas Especialistas. Existem características que indicam quando determinado problema deve ou não ser tratado por esta tecnologia. Segue algumas características observadas, que ajudaram na escolha da tecnologia de sistemas especialistas para o desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho:

- Existência de peritos que dominem o segmento do conhecimento que encerra o problema, pois é, exatamente esse conhecimento que será o responsável direto pela resolução do problema;
- Existência de tarefas que requeiram conhecimento de detalhes que, se esquecidos, provocam a degradação do desempenho;
- Escassez de mão-de-obra especializada sobre o conhecimento requerido para a solução do problema.

Os benefícios advindos da utilização da técnica de Sistema Especialista também influenciaram na escolha da tecnologia. Pode-se citar como vantagens:

- Um Sistema Especialista é capaz de estender as facilidades de tomada de decisão para muitas pessoas. O conhecimento dos especialistas pode ser distribuído, de forma que possa ser utilizado por um grande número de pessoas;
- Um Sistema Especialista pode melhorar a produtividade e o desempenho de seus usuários, considerando que o provê com um vasto conhecimento, que certamente, em condições normais, demandaria mais tempo para assimilá-lo e, conseqüentemente, utilizá-lo em suas tomadas de decisão;
- Redução do grau de dependência entre empresa e presença física do empregado.

Sistemas Especialistas são ferramentas adequadas para serem utilizadas em treinamento de grupos de pessoas e após o treinamento podem prestar suporte imediato para os treinados durante a utilização dos conhecimentos na realização de suas tarefas diárias.

Conhecimento especialista é freqüentemente impregnado por imprecisão e/ou incerteza^[37]. Essa imprecisão é considerada como proveniente do processo de aquisição do conhecimento especialista. Para assegurar uma eficiente aquisição especialista, é essencial que Sistemas Especialistas representem o conhecimento de um perito seguindo o conhecimento do perito humano. Muitas soluções têm sido testadas em Sistemas Especialistas para tratar conhecimento impreciso ou incerto: probabilidades, fatores de certeza, lógica difusa ou "Fuzzy", teoria da possibilidade são algumas delas. Lógica difusa ou "Fuzzy" e Teoria da Possibilidade permitem a descrição da imprecisão e da incerteza em uma única estrutura conceptual. Entre as várias técnicas usadas

para propagar incerteza e/ou imprecisão, a Modus Ponens generalizada é também utilizada, mas de difícil manipulação.

Essas abordagens citadas para o tratamento de incertezas e/ou imprecisões, estão descritas no Apêndice A.

5.7 Sistema Especialista na área nuclear^[31]

A aplicação de tecnologias de computação, particularmente Inteligência Artificial, através do uso de ferramentas como Sistemas Especialistas, lógica nebulosa, redes neurais e algoritmos genéticos, no monitoramento, diagnóstico e operação de plantas nucleares e seus componentes é uma área que tem grande potencial de exploração. As aplicações em potencial estão voltadas para monitoramento e diagnóstico de usinas nucleares e específicos sistemas, como verificação de válvulas, sistemas de instrumentação e máquinas rotativas.

As instalações nucleares e seus componentes, apresentam, na maioria dos casos, baixa probabilidade de ocorrência de transientes anormais não previstos, pois para uma usina nuclear entrar em operação é necessário ter obtido o licenciamento junto a órgãos credenciados de fiscalização e segurança (por exemplo, a CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear), que avaliam os critérios de projeto e os requisitos da planta^[31].

Em plantas nucleares, a questão segurança em sua operação é muito importante, devido às sérias conseqüências à população e ao meio ambiente, quando ocorre liberação de radiação. A análise dos casos de acidentes ocorridos como Three-Mille Island em 1979 e Chérbnyl em 1986, mostraram que recursos de apoio à diagnose e à tomada de decisão teriam minimizado o efeito destes acidentes.

Atuais fatores ambientais, sociais e econômicos expressam rigorosa necessidade de plantas nucleares operarem com alto nível de eficiência e

segurança a um custo mínimo. O resultado tem sido um aumento na complexidade dos sistemas de controle das usinas. Em uma planta nuclear o operador tem de monitorar muitos parâmetros e alarmes. Em situações de falha, o operador da planta deve ser capaz de interpretar cada parâmetro que é recebido pelo sistema de controle e determinar qual é a condição do equipamento para realizar uma ação de controle apropriada. A complexidade das decisões que são exigidas do operador para tomada de decisão é continuamente aumentada junto com as graves conseqüências de um erro na decisão. Neste sentido, a capacidade para responder rapidamente pode freqüentemente ser um fator decisivo na prevenção do surgimento de um mal-funcionamento, assim a utilização de mecanismos adequados de interação homem-máquina, para facilitar a obtenção rápida e confiável de informações das plantas são recomendadas. Um desses mecanismos de interação é a construção de Sistemas Especialistas.

5.8 Regras Desenvolvidas para a Construção do Sistema Especialista Aplicado a Válvula Moto-Operada

O módulo de extração dos eventos característicos desse trabalho é composto por duas partes. A primeira parte, descrita no Capítulo 4 descreve os algoritmos desenvolvidos para seleção dos eventos característicos das válvulas e a segunda parte contém o Sistema Especialista para reconhecimento dos eventos.

Para a análise dos eventos característicos, são necessárias informações de engenharia a respeito dos dados obtidos. Essas informações são as referências do projeto de cada válvula para possibilitar a elaboração de regras do Sistema Especialista para reconhecimento dos seguintes eventos bem como da classificação das características:

- Pico e instante da ocorrência do desligamento do motor para o fechamento da válvula;

- intervalo de tempo da movimentação da haste espiralada e valor médio em potência dessa movimentação;
- intervalo de tempo entre o acionamento do motor e o desligamento da chave de torque;
- Pico e instante da ocorrência do acionamento do motor para a abertura da válvula;
- Pico do Martelo e instante de sua ocorrência. Constitui o início efetivo de movimentação da abertura da válvula;
- Pico de ligação (unseating peek) e seu instante de ocorrência;
- Instante da atuação do contato do interruptor "limit switch" de fechamento;
- Intervalo de tempo da operação fechamento para abertura.

Durante o processo de aquisição de dados na parada de Angra I em 1999 para reabastecimento de combustível, ocorreram falhas. Cada válvula tem informações, referências próprias de projetos, ou seja, cada válvula tem seu próprio banco de dados. Para demonstrar a idéia do reconhecimento de eventos neste trabalho, foi considerado como exemplo para a construção de regras do Sistema Especialista a válvula 8804B3, tipo gaveta, atuador SB-1 Limitorque, localizada no sistema de injeção de segurança como referência. Com os dados da válvula 8804B3, como referência, torna-se possível o reconhecimento de eventos da amostra 8804B1. Esse reconhecimento é feito através da construção das regras do Sistema Especialista que comparam os valores obtidos nos algoritmos com os valores de referência. Para a válvula 8804B tipo gaveta, atuador SB-1 foram retiradas duas amostras, a 8804B3 (o padrão) e a 8804B1 (onde serão reconhecidos os eventos).

As regras do Sistema Especialista para reconhecimento dos eventos descritos foram construídas começando pela identificação dos eventos de pico, pois a identificação de outras características está baseada na posição relativa

delas em relação a esse pico. Essas regras foram contruídas levando-se em conta os ciclos de abertura para fechamento e fechamento para abertura.

As regras desenvolvidas para o ciclo de abertura para fechamento estão abaixo descritas e os parâmetros utilizados como referência estão citados na Tabela 5.1.

Uma regra possível de construção para encontrar o pico do acionamento durante o ciclo é:

- Se a característica é um pico e a amplitude em potência é próxima da referência (Ref1) e também o instante de ocorrência é próximo de zero (Ref1), então a característica é o pico do acionamento do motor ciclo abertura para fechamento.

Para a obtenção do evento pico do desligamento da chave de torque, uma possível regra é:

- Se a característica é um pico e o instante de ocorrência é próximo da referência (Ref2) e também próximo do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento (Ref2), então a característica foi encontrada.

A identificação do final da operação de um ciclo da válvula é importante para possibilitar a determinação do tempo de operação da válvula. A identificação do final de operação pode ser obtida da seguinte maneira:

- Se a característica é um vale e seu instante de ocorrência é próximo da metade do tempo de amostragem (Ref3) e seu instante de ocorrência é próxima da referência (Ref3), então a característica é o instante do final da operação do ciclo abertura para fechamento.

A identificação do tempo de operação da válvula, no ciclo de abertura para fechamento, pode ser obtida através da diferença entre o instante do pico de acionamento do motor e o instante do final da operação do ciclo. A confirmação deste intervalo de tempo como sendo o tempo de operação da válvula em um ciclo pode ser feito através da regra:

- Se a característica é um intervalo de tempo e se esse intervalo de tempo é próximo do intervalo de tempo (*stroke time*) da referência (Ref4), então essa característica é o tempo de operação da válvula (*stroke time*).

Para identificar a movimentação da haste espiralada é necessário conhecer o valor médio em potência e o intervalo de tempo em segundos de duração da movimentação. Valores esses extraídos do algoritmo de zona plana.

- Se a característica é um intervalo de tempo próximo à referência (Ref5) e o valor médio em potência também é próximo da referência (Ref5), então a característica é a movimentação da haste espiralada do ciclo abertura para fechamento.

A identificação do intervalo de tempo de parada da válvula pode ser obtido conhecendo-se o instante final de movimentação da válvula e o instante de ocorrência do desligamento da chave de torque. Com a seguinte regra, torna-se possível a identificação da característica:

- Se o evento é o instante final de movimentação da haste com valor próximo à referência (Ref6) e o instante do desligamento da chave de torque é um valor próximo ao da referência (Ref2), então o valor do intervalo de tempo da parada da válvula é um valor próximo à referência (Ref2 – Ref6).

Para obter a última característica do ciclo abertura para fechamento, é necessário conhecer a característica desligamento da chave de torque com seu

valor em potência e a característica movimentação da haste espiralada também com seu valor médio em potência, pois a margem do tempo de parada da válvula é um valor em potência obtida da diferença das características citadas.

- Se existe a característica movimentação da haste espiralada e também a característica desligamento da chave de torque e o valor da diferença entre essas duas características é próximo à referência (Ref7), então a característica foi encontrada.

As amostras de dados obtidas contêm os ciclos de abertura para fechamento e fechamento para abertura, ambos os ciclos estão contidos em uma mesma amostra e seguem esta seqüência. Para a elaboração das regras esta seqüência também foi levada em consideração. Seguem abaixo as descrições das regras do ciclo de fechamento para abertura.

O pico do acionamento do motor pode ser determinado através da seguinte regra:

- Se a característica é um pico e a amplitude em potência é próxima da referência (Ref8) e também o instante de ocorrência é próximo da metade do tempo de amostragem (Ref8), então a característica é o pico do acionamento do motor durante o ciclo fechamento para abertura.

O pico do Martelo pode ser encontrado através da seguinte regra:

- Se a válvula é do tipo gaveta e a característica é um pico e a amplitude em potência é próxima da referência (Ref9) e também o instante de ocorrência é próximo do tempo de amostragem (Ref9), então a característica é o pico do Martelo.

A regra para determinar o pico de Ligação (“unseating”) foi escrita da seguinte forma:

- Se a característica é um pico e o instante de ocorrência é próximo da referência (Ref10) e também a amplitude em potência é próxima da referência (Ref10), então a característica foi encontrada.

A identificação do final da operação desse ciclo também é importante para possibilitar a identificação do tempo de operação da válvula. A identificação do final de operação no ciclo fechamento para abertura pode ser obtida da seguinte maneira:

- Se a característica é um vale e seu instante de ocorrência é próximo do final do tempo de amostragem (Ref11) e seu instante de ocorrência é próxima da referência (Ref11), então a característica é o instante do final da operação do ciclo fechamento para abertura.

A identificação do tempo de operação da válvula durante o ciclo de fechamento para abertura, pode ser obtida através da diferença entre o instante do pico de acionamento do motor e o instante do final da operação do ciclo. A confirmação deste intervalo de tempo como o tempo de operação da válvula durante este ciclo pode ser obtido através da regra:

- Se a característica é um intervalo de tempo em segundos e se esse intervalo de tempo é próximo da referência (Ref12), então essa característica é o tempo de operação da válvula ("*stroke time*").

As regras descritas são as necessárias para a identificação das características da curva de potência da válvula e através delas podemos identificar os eventos ou a falta destes eventos, levando um especialista a identificar o possível problema.

O Sistema Especialista desenvolvido foi escrito na linguagem Visual C++ 6.0 da Microsoft (VC++). No próximo capítulo é abordado o desenvolvimento do projeto na linguagem VC++.

Tabela 5.1 - Tabela com dados de referência.

Referência	Potência (watts)	Tempo (segundos)
Ref1	23532	0,8833
Ref2	8405	37,2508
Ref3	-369,1	37,2708
Ref4		36,3875
Ref5	1310,39	30,5841
Ref6		35,3987
Ref7	7094,61	
Ref8	23710	40,6092
Ref9	3397,7	43,7425
Ref10	4380,6	43,6383
Ref11	-89,075	76,5825
Ref12		35,9733

6 DESENVOLVIMENTO COMPUTACIONAL

A parte computacional foi desenvolvida na plataforma Visual Studio 6.0 da Microsoft. Os códigos fontes desenvolvidos são extensos e possuem tamanhos grandes. Devido a isso apenas as partes principais estão mostradas no apêndice B.

6.1 Microsoft Visual Studio 6.0^[38]

Developer Studio é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) que é compartilhado pelo Microsoft Visual C++, Microsoft Visual J++, Microsoft Visual Basic e uma série de outros produtos, como Docking Windows, barras de ferramentas configuráveis, além de um editor que pode ser personalizado e utilizar macros. Para trabalhar com esta ferramenta é necessário saber o que é um projeto.

Um projeto é uma coleção de códigos fontes inter-relacionados que são compilados e vinculados para criar um programa executável baseado no Windows ou em uma DLL. Uma DLL é uma biblioteca de vínculo dinâmico especificamente construída para ambiente Windows, que pode ser lida e vinculada em tempo de execução e também pode ser compartilhada por múltiplos programas. Arquivos fontes de cada projeto são geralmente armazenados em subdiretórios separados. Além disso, um projeto depende de muitos outros arquivos que não estão em seu subdiretório, tais como arquivos de cabeçalhos (H), arquivos de bibliotecas (LIB).

Para criar um arquivo com extensão OBJ a partir de um código fonte CPP, é necessário utilizar o programa makefile. Um makefile armazena as opções de compilação e linker, bem como expressa o inter-relacionamento dos arquivos fontes. O programa make lê esses makefile e chama o compilador, o montador, o compilador de recursos, e linker para produzir a saída final, que geralmente é um arquivo executável, ele utiliza regras de inferência interna para saber como chamar o compilador. A ferramenta deste IDE que foi mais utilizada para a geração dos códigos desenvolvidos neste trabalho é o Microsoft Visual C++.

O Visual C++ surgiu no início da década de 90. Orientação a objetos é considerado o maior avanço em software destes últimos anos. As técnicas estruturadas demonstraram uma decomposição funcional, sendo inadequada em situações de sistemas complexos e principalmente para profissionais iniciantes. A programação OO tem como características principais:

- Compatibilidade, portabilidade;
- Segurança;
- Reusabilidade;
- Facilidade de integração;
- Facilidade de extensão e;
- Eficiência.

Microsoft Visual C++ comporta-se como dois aplicativos Windows de desenvolvimento de sistemas completos em um só produto. Pode-se criar programas para Windows utilizando a linguagem C através da Win32 API. Visual C++ também inclui a ActiveX Template Library (ATL), que pode ser utilizada para desenvolver controles ActiveX para a Internet. Faz parte do Visual C++ a estrutura das aplicações da biblioteca Microsoft Foundation Class (a MFC), existem classes C++ que estão documentadas dentro da Microsoft Foundation Class Reference e, é possível utilizar ferramentas específicas do Visual C++ para esta estrutura de aplicações, como o AppWizard e o ClassWizard.

A Orientação a Objetos traz vários benefícios no desenvolvimento e manutenção de software. Vantagens diretas:

- maior facilidade para reutilização de código e por consequência do projeto;
- possibilidade do desenvolvedor trabalhar em um nível mais elevado de abstração;
- utilização de um único padrão conceitual durante todo o processo de criação de software;
- maior adequação à arquitetura cliente/servidor;
- maior facilidade de comunicação com os usuários e com os outros profissionais de informática.

Como vantagens reais, pode-se citar:

- ciclo de vida mais longo para os sistemas;
- desenvolvimento acelerado de sistemas;

- possibilidade de se construir sistemas muito mais complexos, pela incorporação de funções prontas;
- menor custo para desenvolvimento e manutenção de sistemas.

6.2 Parte Computacional com os Algoritmos

A proposta deste trabalho foi elaborada em duas partes. Uma parte onde foram desenvolvidos os algoritmos descritos no Capítulo 4 e uma segunda parte onde foi desenvolvido o sistema especialista (Capítulo 5). Seguindo a proposta, foram elaborados três programas independentes, um programa que seleciona os parâmetros, semelhantes a um pico positivo, candidatos a eventos característicos, um outro programa que seleciona as regiões semelhantes ao movimento da haste e por último um programa que seleciona os parâmetros semelhantes a um pico negativo.

Esses três programas foram desenvolvidos separadamente para facilitar os testes e possibilitar uma futura alteração de maneira mais fácil, sem necessitar alterar todo um código. A figura 6.1 ilustra uma saída do programa para seleção dos vales.

Ainda para esta primeira parte foi construído um quarto programa (figura 6.2) que engloba os outros três. Configurando este quarto programa como o módulo de extração dos eventos característicos.

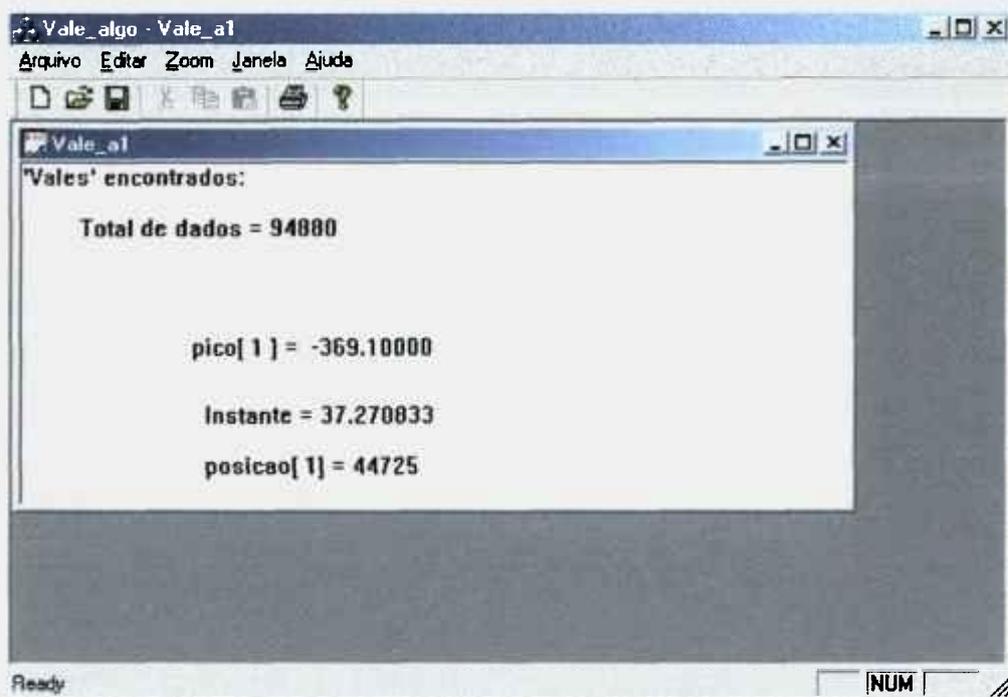


Figura 6.1 - Tela de saída do programa para detecção de vales.

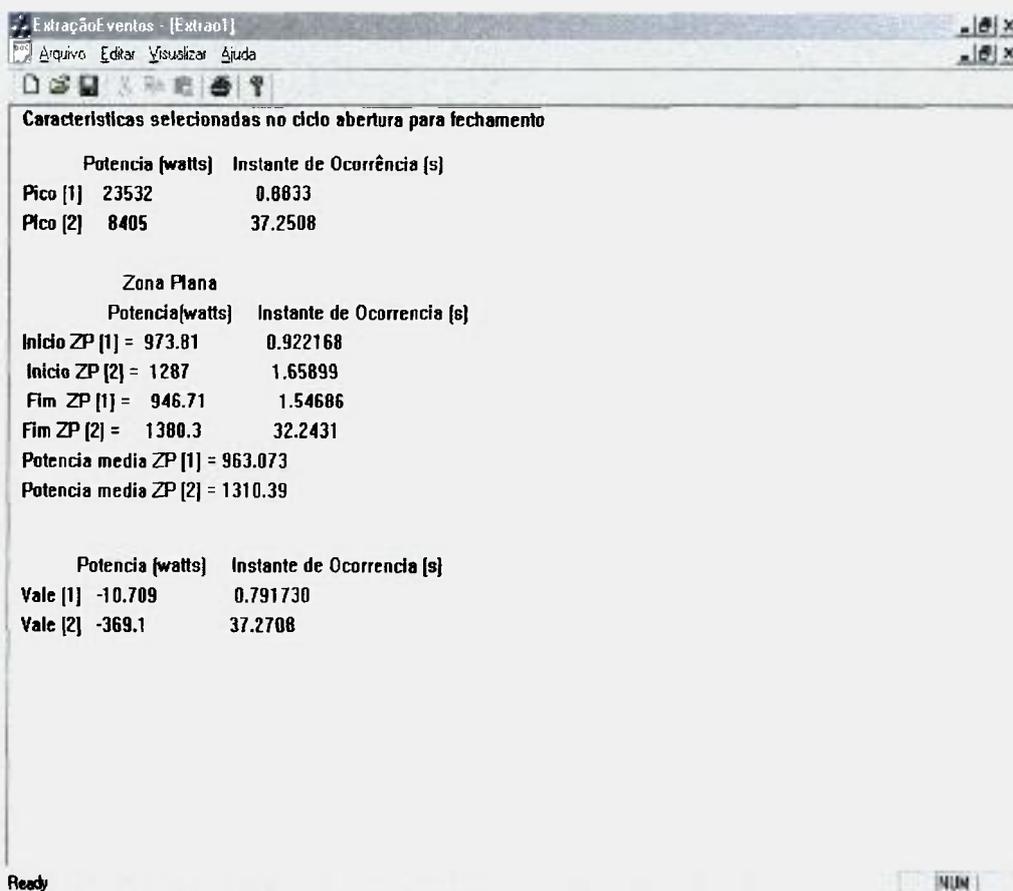


Figura 6.2 - Tela de saída do módulo para extração dos eventos.

6.3 Parte computacional do Sistema Especialista

Este programa foi desenvolvido para identificação dos eventos característicos das válvulas moto-operadas. Como referência foram utilizados os parâmetros da válvula 8804B3 e comparado com valores obtidos, através do programa da parte 1, com valores da amostra 8804B1 e com simulações realizadas com os dados dessa mesma válvula.

A figura 6.3 ilustra a saída do Sistema Especialista desenvolvido, testado com o conjunto de dados S1_8804B3.

Eventos característicos encontrados		
Eventos	Potência [watts]	Instante de Ocorrência [s]
Pico do acionamento do motor(A-F)	23532	0.8833
Pico desconhecido (A-F)	24984.9	8.3325
Pico desconhecido (A-F)	2454.4	24.9992
Pico do desligamento chave de torque (A-F)	8405	37.2508
Tempo de operação da válvula [stroke time]		36.3875
Pico (vale) do final de operação (A-F)	-369.1	37.2708
Movimentacao da haste (A-F)	1310.39	30.5841
Intervalo de tempo de parada da válvula		1.8521
Pico do acionamento do motor (F-A)	23710	40.6092
Pico do Martelo	3397.7	41.4892
Pico de ligacao (unseating)	4030	43.6383
Tempo de operação da válvula (F-A)		35.9733
Pico (vale) do final de operação (F-A)	-89.075	76.5825

Ready NUM

Figura 6.3 - Tela de saída do Sistema Especialista.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos para serem analisados são de Angra I da P8 e P10 (Parada anual de Angra I para recarregamento do reator nos anos de 1999 e 2001 respectivamente).

A maior parte dos dados obtidos na parada P8 não possui as assinaturas de potência do motor. Os dados de potência pertencem às válvulas tipo gaveta 8804A, 8804B3 e 8804B1 essas amostras contém os ciclos de fechamento para abertura e abertura para fechamento. As figuras 7.1, 7.2 e 7.3 mostram as curvas de potência das válvulas 8804A, 8804B1 e 8804B3 respectivamente.

Nos conjuntos de dados obtidos na parada deste ano, dois conjuntos pertencem às válvulas tipo globo. Estes dados pertencem às válvulas PV1527 e PV1528 e suas curvas com as assinaturas de potência do motor estão mostradas nas figuras 7.4 e 7.5.

O estudo sobre válvulas moto-operadas visando a construção do programa computacional resultou na conclusão que existe a necessidade de preservação da morfologia do sinal. Esta preservação é importante para indicação de seu correto funcionamento. Uma filtragem digital ou um algoritmo que provoque oscilações no sinal filtrado pode mascarar o estado físico e/ou alterar. Isto leva não só ao raciocínio no domínio da freqüência, mas também no domínio do tempo para implementação de algoritmos para extração e/ou seleção de

características. A abordagem deste trabalho é totalmente voltada para o domínio do tempo pois melhora a precisão e evita distorções na assinatura (nas bordas do sinal e atenuação em amplitude), fato que ocorre na abordagem adotada em trabalhos anteriores^[1, 5, 16].

O raciocínio no domínio do tempo também possibilita uma nova abordagem na aquisição dos eventos característicos das assinaturas de potência de MOVs. A finalidade dessa nova abordagem é permitir uma comparação de resultados com uma abordagem já existente^[1] que utiliza extração de características, ou seja, a transformação do sinal através do processamento por filtros, para obter as características das assinaturas das válvulas.

Será considerada, como padrão neste trabalho, a válvula 8804B3, tipo gaveta, atuador SB-1 Limitorque, localizada no sistema de injeção de segurança da Usina de Angra I, nos modos de operação abertura para fechamento e fechamento para abertura, a figura 7.1 ilustra essa curva.

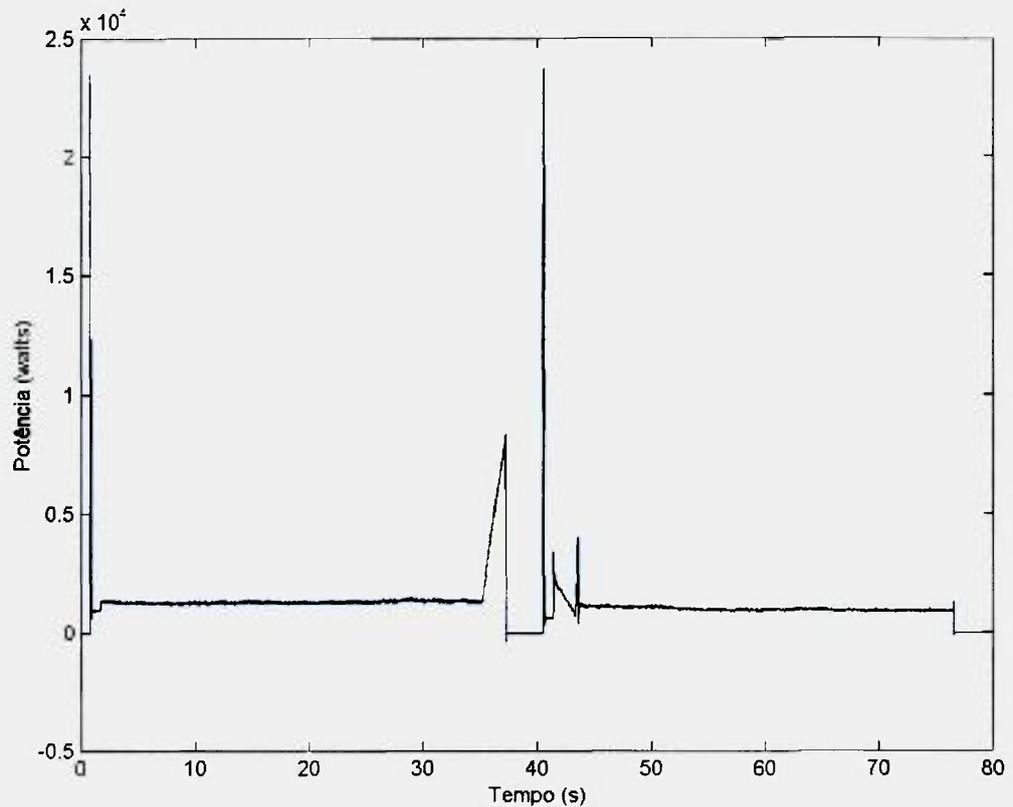


Figura 7.1 - Assinatura da válvula 8804B3.

Visando uma melhor análise dos resultados obtidos com os algoritmos, apresentamos algumas tabelas comparativas entre os dados de referências obtidos experimentalmente via Global Lab versão 2.0 (programa para análise de dados) e utilizados nos testes do programa com os resultados obtidos através dos algoritmos. As tabelas 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 e 7.5 permitem uma melhor visualização e calculam a razão dos resultados obtidos entre os algoritmos e os resultados esperados vindos do Global Lab. Onde razão é dada pela fórmula a seguir:

$$Razão = \left(\frac{R}{A} \right) \times 100$$

Os dados obtidos do Windaqem utilizam uma frequência de amostragem de 1200 amostras por segundo, segundo informações do software Windaqem a respeito da aquisição de dados. Os algoritmos desenvolvidos têm a escala de tempo construída também com a taxa de amostragem de 1200 amostras por segundo.

A Tabela 7.1 apresenta os valores obtidos para a válvula 8804B3 com taxa de amostragem de 1200 amostras por segundo.

Tabela 7.1 - Valores obtidos da MOV 8804B3.

Evento	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)	Referência (R)	Algoritmos	Razão (%)
	Potência (watts)	Potência (watts)		Instante (segundos)	Instante (segundos)	
Pico do acionamento do motor ciclo abertura para fechamento	23532	23532	0	0,87375	0,8833	-1,0811
Pico do desligamento da chave de torque	8405	8405	0	37,31375	37,2508	0,1689
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-369,1	-369,1	0	37,31375	37,2708	0,1152
Pico do acionamento do motor ciclo fechamento para abertura	23710	23710	0	40,675415	40,6092	0,1628
Pico do Martelo	3397,7	3397,7	0	41,61667	41,4892	0,3063
Pico de ligação ("unseating")	4030	4030	0	43,767915	43,6383	0,2961
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-89,075	-89,075	0	76,577915	76,5825	-0,0056

A figura 7.2, logo abaixo, ilustra a assinatura de potência do motor da válvula 8804A e depois segue a Tabela 7.2 para a válvula 8804A com taxa de amostragem de 1200 amostras por segundo

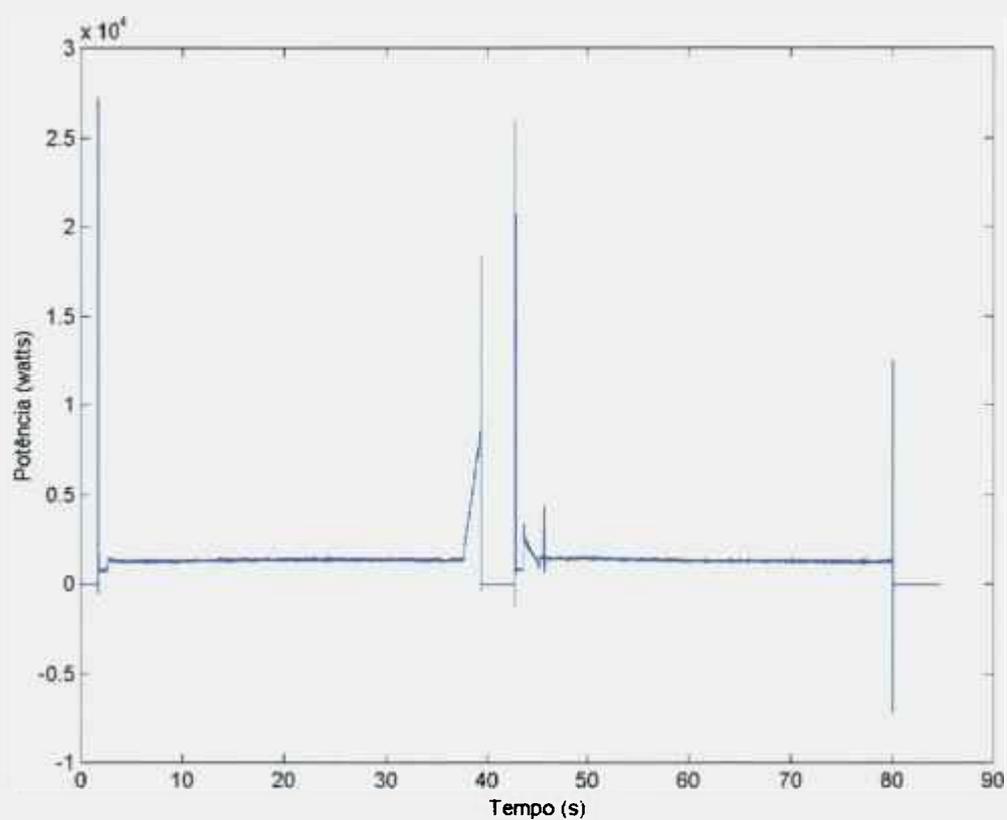


Figura 7.2 - Assinatura de potência da válvula 8804A.

Tabela 7.2 - Valores obtidos da válvula 8804A.

Evento	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)
	Potência (watts)	Potência (watts)		Instante (segundos)	Instante (segundos)	
Pico do acionamento do motor ciclo abertura para fechamento	23532	23532	0	0,87375	0,8833	-1,0811
Pico do desligamento da chave de torque	8405	8405	0	37,31375	37,2508	0,1689
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-369,1	-369,1	0	37,31375	37,2708	0,1152
Pico do acionamento do motor ciclo fechamento para abertura	23710	23710	0	40,675415	40,6092	0,1628
Pico do Martelo	3397,7	3397,7	0	41,61667	41,4892	0,3063
Pico de ligação ("unseating")	4030	4030	0	43,767915	43,6383	0,2961
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-89,075	-89,075	0	76,577915	76,5825	-0,0056

A figura 7.3 apresenta a assinatura de potência do motor da válvula 8804B1 durante os ciclos de abertura – fechamento e fechamento – abertura, na tabela 7.3 estão os valores obtidos com a utilização dos algoritmos para a válvula 8804B1.

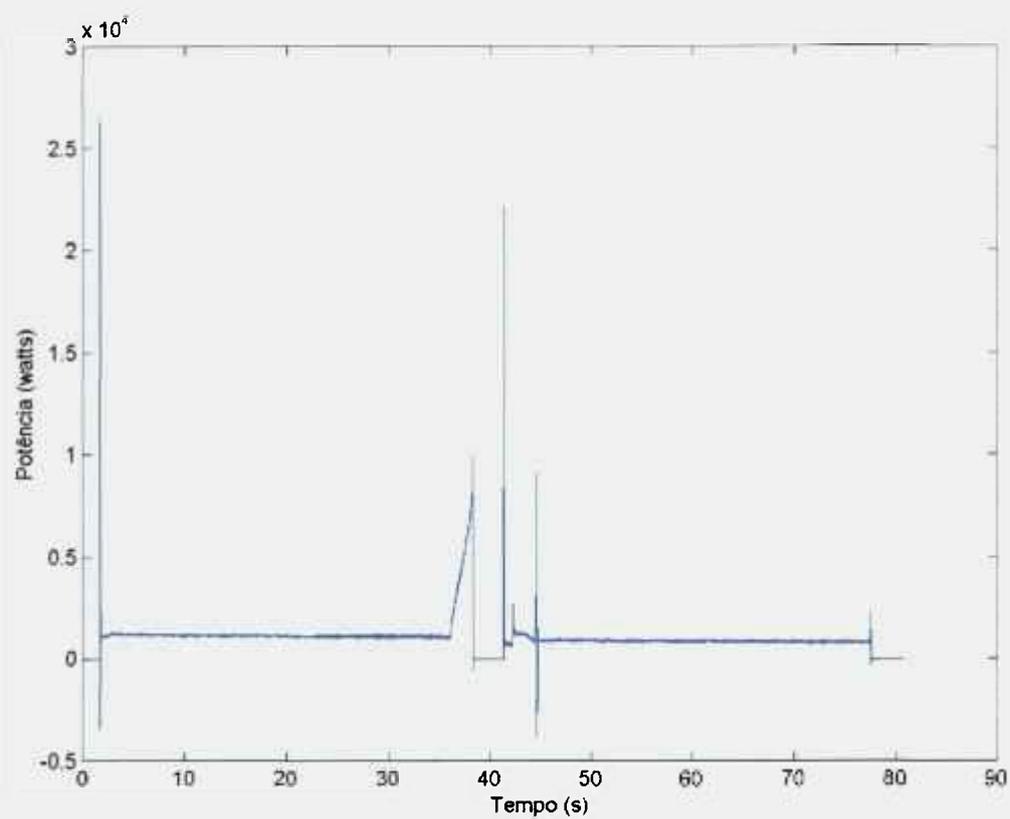


Figura 7.3 - Assinatura de potência da válvula 8804B1.

Tabela 7.3 - Valores obtidos do programa computacional.

Evento	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)
	Potência (watts)	Potência (watts)		Instante (segundos)	Instante (segundos)	
Pico do acionamento do motor ciclo abertura para fechamento	26302	26302	0	1,784167	1,74917	2,0078
Pico do desligamento da chave de torque	9849,2	9849,2	0	38,44167	38,3733	0,1782
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-590	-590	0	38,30417	38,3845	-0,2092
Pico do acionamento do motor ciclo fechamento para abertura	22155	22155	0	41,59917	41,4267	0,4163
Pico do Martelo	2715,4	2715,4	0	42,42333	42,31	-5,098
Pico de ligação ("unseating")	9112,4	9112,4	0	44,89417	44,7025	0,42876
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-266,5	-266,5	0	77,57	77,5667	0,00425

A figura 7.4, ilustra a assinatura de potência do motor da válvula PV1527 tipo globo e depois segue a Tabela 7.4 com os resultados obtidos dos algoritmos e do programa Global Lab com taxa de amostragem de 1200 amostras por segundo.

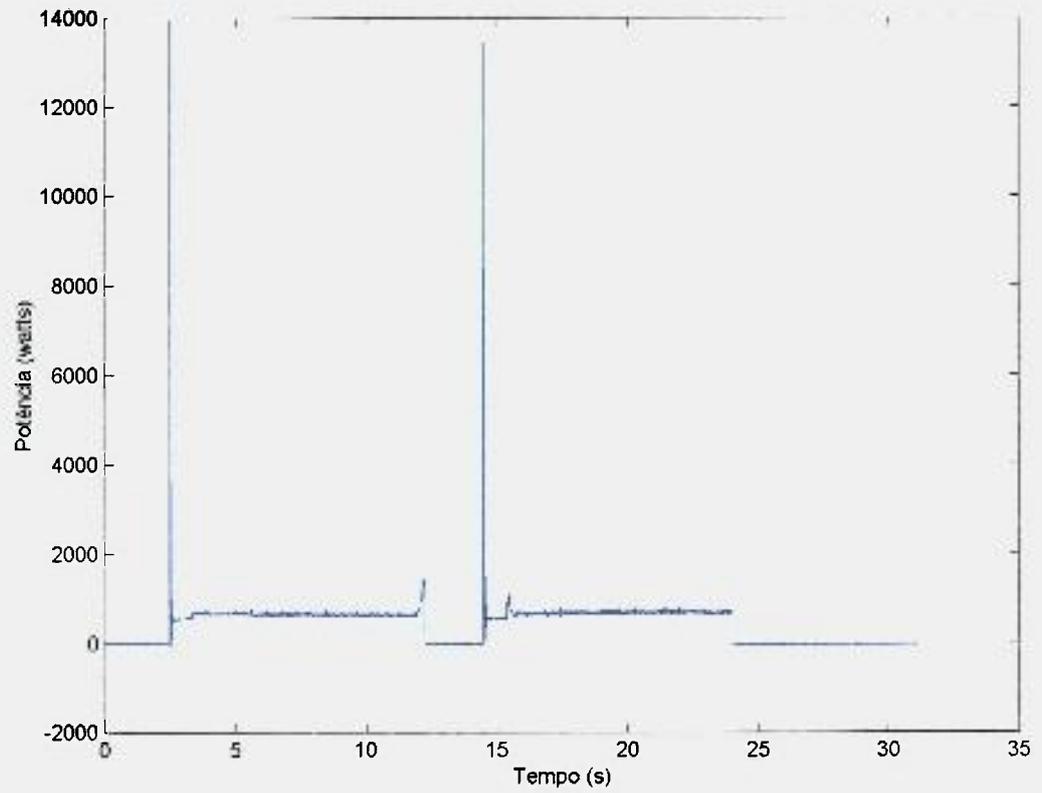


Figura 7.4 - Curva da assinatura de potência da válvula PV1527.

Tabela 7.4 - Valores obtidos da válvula PV1527

Evento	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)
	Potência (watts)	Potência (watts)		Instante (segundos)	Instante (segundos)	
Pico do acionamento do motor ciclo abertura para fechamento	13995	13995	0	2,53667	2,48667	2,0106
Pico do desligamento da chave de torque	1537,7	1537,7	0	12,31417	12,2342	0,65365
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-18,601	-18,601	0	12,26083	12,2592	0,01329
Pico do acionamento do motor ciclo fechamento para abertura	13462	13462	0	14,58667	14,4942	0,63798
Pico de ligação ("unseating")	1147,4	1147,4	0	15,485	15,4058	0,51409
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-19,769	-19,769	0	24,04667	24,05	-0,0138

A figura 7.5 apresenta a assinatura de potência do motor da válvula tipo globo PV1528 durante os ciclos de abertura – fechamento e fechamento – abertura, na tabela 7.5 apresentamos os valores obtidos com a utilização dos algoritmos e do Global Lab para a válvula PV1528.

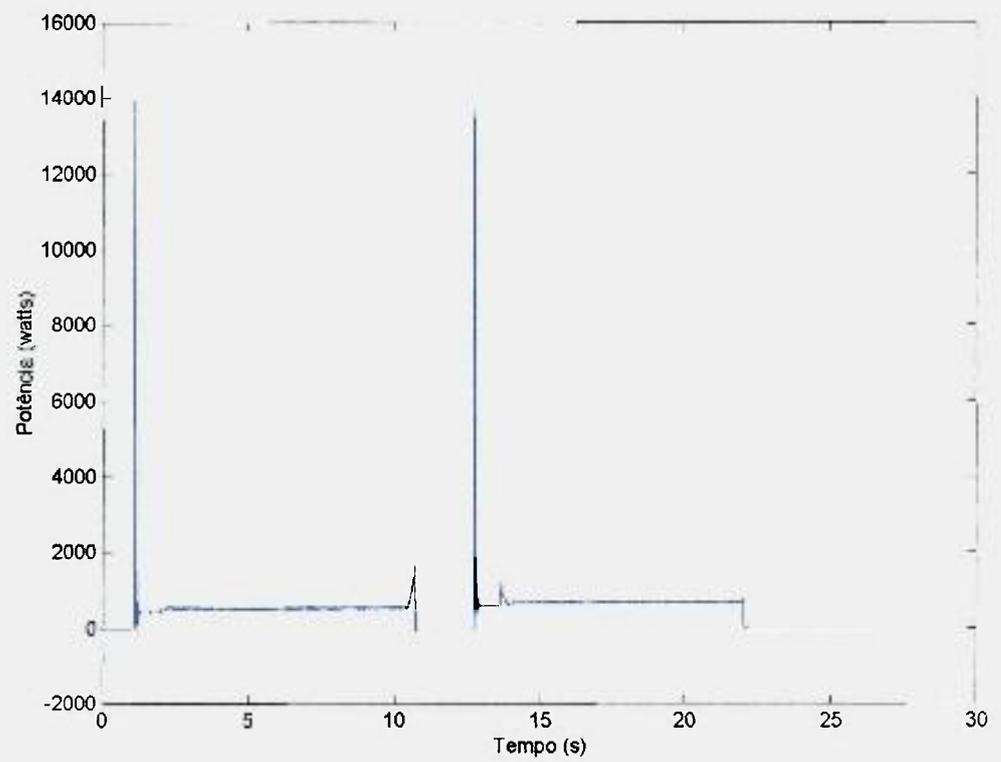


Figura 7.5 - Curva da assinatura de potência do motor da válvula PV1528.

Tabela 7.5 - Valores obtidos da válvula PV1528.

Evento	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)	Referência	Algoritmos	Razão (%)
	Potência (watts)	Potência (watts)		Instante (segundos)	Instante (segundos)	
Pico do acionamento do motor ciclo abertura para fechamento	13957	13957	0	1,16667	1,10583	5,5017
Pico do desligamento da chave de torque	1656	1656	0	10,7725	10,7267	0,42697
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-35,587	-35,587	0	10,7725	10,7492	0,21676
Pico do acionamento do motor ciclo fechamento para abertura	14598	14598	0	12,8375	12,7683	0,54196
Pico de ligação ("unseating")	1215,6	1215,6	0	13,735	13,7	0,25547
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-12,213	-12,213	0	22,12833	22,1325	-0,0188

Analisando os resultados, os valores em potência obtidos dos algoritmos são iguais aos valores de referência e aos valores existentes nos conjuntos de dados testados. Os valores obtidos dos algoritmos para instante de ocorrência são muito próximos aos valores de referência, sendo 5,5017% a diferença (razão) máxima encontrada entre os dois.

Para os testes com o sistema especialista desenvolvido seria necessário adquirir os valores de referências, ou seja, os parâmetros de projeto das válvulas e suas respectivas assinaturas de potência. Como a engenharia de Angra I até o momento não possui estes dados, para o teste do Sistema Especialista foi utilizada a válvula tipo gaveta 8804B3 como padrão e feito

simulações, ou melhor, implementadas com o auxílio da ferramenta MatLAB 5.3 alterações no conjunto de dados da válvula 8804B3. Com o MatLAB 5.3 foram gerados picos e somados ao sinal original da válvula 8804B3, dando origem a um novo sinal chamado aqui de S1_8804B3. A figura 7.6 apresenta a curva da assinatura de potência do motor obtida do sinal S1_8804B3 e a tabela 7.6 apresenta os valores obtidos do programa computacional.

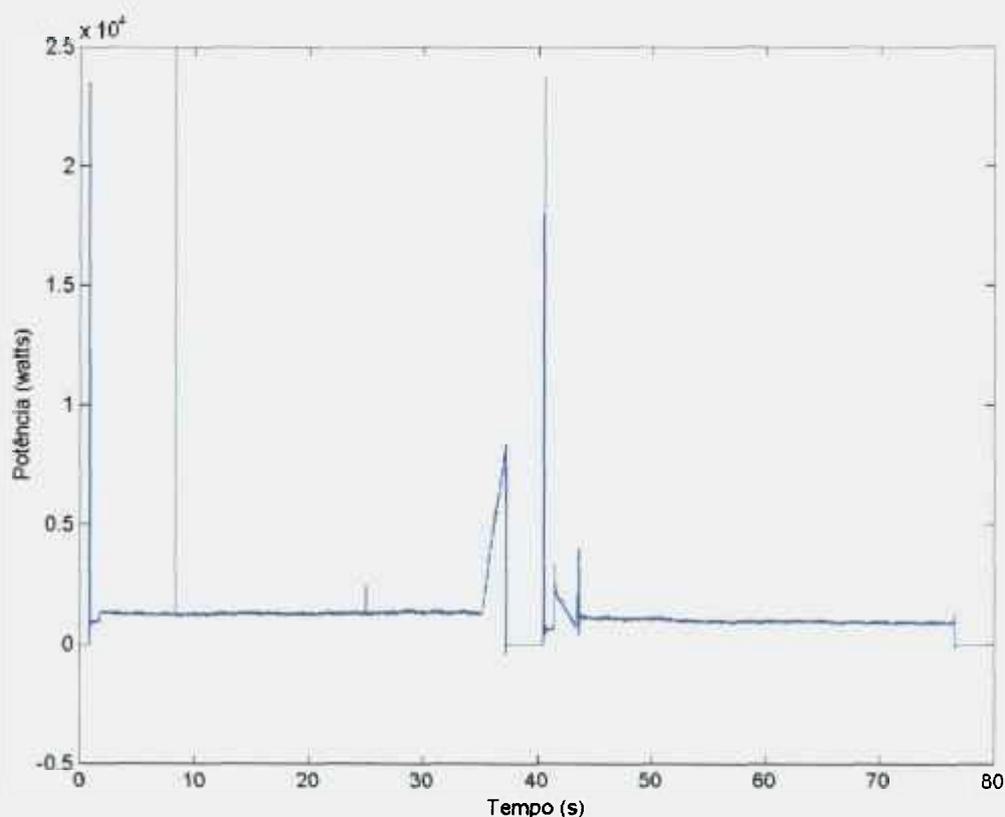


Figura 7.6 - Curva do conjunto de dados S1_8804B3 simulado.

Tabela 7.6 - Valores obtidos do algoritmo de teste do conjunto simulado S1 8804B3.

Evento	Potência (watts)	Algoritmos	Posição do dado
		Instante (segundos)	
Pico do acionamento do motor ciclo abertura para fechamento	23532	0,8833	1060
Pico do desligamento da chave de torque	8405	37,2508	44701
Pico desconhecido 1	24984,9	8,3325	9999
Pico desconhecido 2	2454,4	24,9992	29999
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-369,1	37,2708	44725
Pico do acionamento do motor ciclo fechamento para abertura	23710	40,6092	48731
Pico do Martelo	3397,7	41,4892	49787
Pico de ligação ("unseating")	4030	43,6383	52366
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento	-89,075	76,5825	91899

As figuras 7.7, 7.8 e 7.9 mostram os valores extraídos com os algoritmos de teste para o conjunto de dados simulado S1_8804B3. A figura 7.7 mostra a saída do algoritmo de Vales durante o ciclo fechamento para abertura. As figuras 7.8 e 7.9 mostram a saída do algoritmo de Pico durante o ciclo abertura para fechamento e fechamento para abertura.

```

vale_parte2
Auto
0 arquivo foi aberto

Total de dados = 94880

Ciclo fechamento para abertura, numero de candidatos= 7

pico[1] = -89.075 Instante = 76.5825 posicao[1] = 91899
pico[2] = -22.833 Instante = 76.6558 posicao[2] = 91987
pico[3] = -16.811 Instante = 76.6642 posicao[3] = 91997
pico[4] = -16.811 Instante = 76.715 posicao[4] = 92058
pico[5] = -7.7778 Instante = 76.7308 posicao[5] = 92077
pico[6] = -1.7558 Instante = 76.745 posicao[6] = 92094
pico[7] = -1.7558 Instante = 76.88 posicao[7] = 92256

'Vales' encontrados:
pico[1] = -89.075 Instante = 76.5825 posicao[1] = 91899
Press any key to continue_

```

Figura 7.7 - Ilustra testes realizados com o conjunto de dados simulado S1_8804B3.

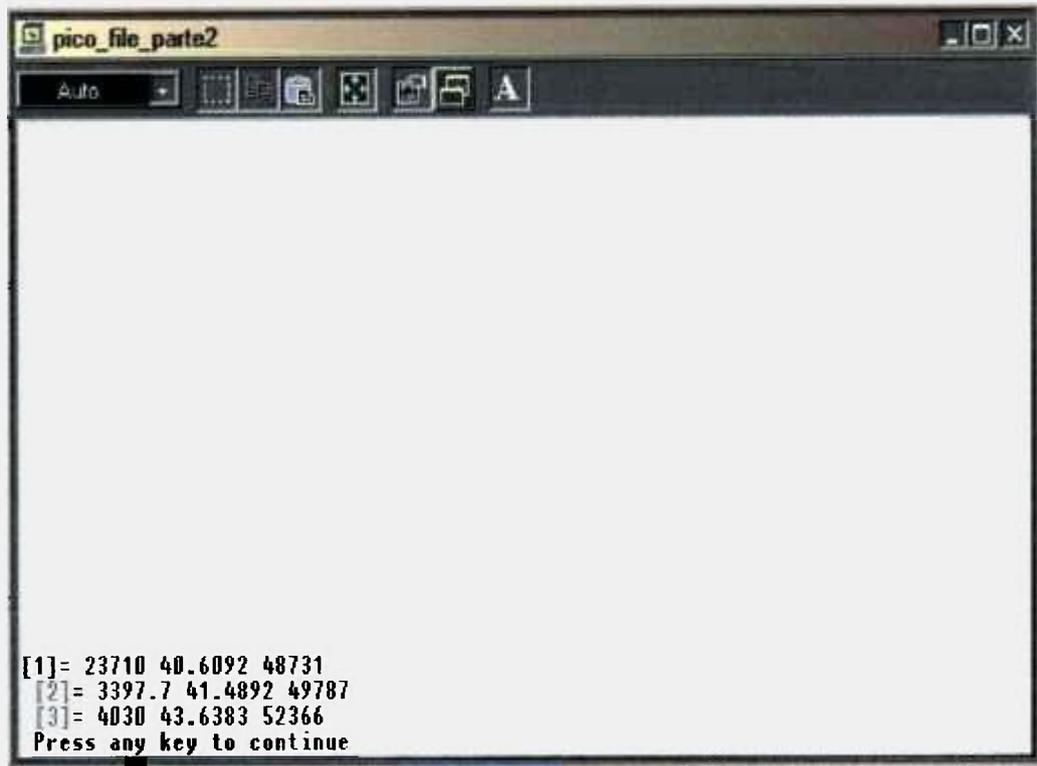
```

pico_file_parte1v2
Auto

[1]= 23532 0.883333 1060
[2]= 24984.9 8.3325 9999
[3]= 2454.4 24.9992 29999
[4]= 8405 37.2508 44701
Press any key to continue_

```

Figura 7.8 - Ilustra testes realizados com o conjunto de dados simulado S1_8804B3



```
pico_file_parte2
Auto
[1]= 23710 40.6092 48731
[2]= 3397.7 41.4892 49787
[3]= 4030 43.6383 52366
Press any key to continue
```

Figura 7.9 - Ilustra testes realizados com o conjunto de dados simulado S1_8804B3.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As análises dos dados disponíveis têm mostrado a efetividade do algoritmo desenvolvido para seleção e identificação dos eventos detectados na assinatura. Os resultados obtidos para valores em potência não apresentam distorção, quando comparados com os dados de referência extraídos do programa para análise de dados chamado Global Lab.

Os algoritmos desenvolvidos exigem menor intensidade computacional por não trabalharem com a metodologia utilizada no MOVEX I e II, PowerMov I e II. A metodologia de extração das características utilizada anteriormente modifica o sinal através de sua passagem pelo processo de filtragem (quatro filtros) e, portanto, modificam a morfologia do sinal, neste caso causando a atenuação do sinal em amplitude e um deslocamento do real instante de ocorrência dos eventos. A abordagem desenvolvida neste trabalho, totalmente no tempo não modifica a morfologia do sinal.

Os algoritmos desenvolvidos apresentam excelentes resultados para uma frequência de amostragem de 1200 amostras por segundo, não devendo ser utilizados para frequências de amostragem diferentes do padrão adotado pela própria Iberdrola ou por Angra I para aquisição de dados.

O Sistema Especialista desenvolvido demonstrou ser possível sua utilização na identificação dos eventos característicos das válvulas moto-operadas, fornecendo como saída do sistema, um exato valor em amplitude de

potência e o preciso instante de sua ocorrência, como também o evento identificado.

Outra característica constatada no sistema desenvolvido é sua portabilidade. A codificação feita é compatível com o padrão ANSI C (Instituto Nacional de Padronização Americano). O código escrito pode gerar um programa executável para um ambiente Windows ou Ms-Dos a partir de um único arquivo de projeto. O código elaborado sofreu uma pequena adaptação para ser compatível com o Visual C++ e não perder a característica de compatibilidade com o padrão da linguagem. O desenvolvimento do código dessa maneira permitiu a comparação entre os tamanhos dos arquivos executáveis gerados com um código C++ puro e o adaptado para Visual C++, verificando que o código gerado com Visual C++ adquiriu um tamanho muito superior. O tamanho do arquivo executável é um aspecto a ser considerado, pois envolve o próprio transporte do arquivo e configuração da máquina onde será executado.

Para a continuidade do trabalho e melhor validação deste trabalho desenvolvido é recomendada a obtenção de dados de referências em documentos da engenharia das válvulas moto-operadas de Angra I, ou o levantamento desses valores de referência em bancada de testes na própria usina.

Como proposta para futuros trabalhos posso sugerir a mudança da plataforma de programação utilizada para a plataforma chamada "Microsoft. Net" ou melhor, Visual Studio.Net, em conjunto com a arquitetura.Net. Essa plataforma apresenta uma nova linguagem de programação conhecida por linguagem C#. O C# utiliza como base a sintaxe do C++. Isto significa em teoria, que um programa construído sobre uma base de código C e C++ existente não precisaria ser descartada, pois elementos como declaração de variáveis, métodos e construções (comandos de controle, estruturas de repetição) são muito semelhantes ao C++. Além da origem no C++, o C# tem várias características em comum com a linguagem Java, como por exemplo^[38]:

- Modelo de orientação a objetos baseado em herança simples de classes com um ancestral comum;
- Gerenciamento de memória automático com “coletor de lixo”;
- Capacidade de execução em um “ambiente gerenciado”, no qual a segurança e integridade das operações efetuadas pelos programas possam ser garantidas;

Esta última característica é um aspecto importante a ser observado, pois na área nuclear, a segurança e integridade dos dados são fundamentais.

Como outra proposta, envolvendo o aspecto segurança e integridade dos dados, posso sugerir a utilização de uma plataforma para sistema Linux ou Unix. A utilização de uma plataforma para Linux apresenta além do aspecto segurança dos dados a vantagem da independência do ambiente gráfico e sua versão. No Linux, por exemplo, existe mais de um ambiente gráfico, pode-se escolher, instalar várias interfaces gráficas em simultâneo e a cada acesso ao modo gráfico utilizar uma diferente. Como exemplo de interfaces gráficas existentes atualmente posso citar o Gnome, KDE, Enlightenment, Window Maker, entre outras. No caso de máquinas com recursos menores pode-se utilizar por exemplo o Blackbox, o IceWM entre outros. Outro motivo para a sugestão dessa plataforma é uma redução nos custos de desenvolvimento devido à existência de bons compiladores gratuitos de C e C++ para Linux, como por exemplo o Borland C++ recentemente disponibilizado^[39].

De maneira geral a adoção de compiladores gratuitos em projetos acadêmicos traz uma redução nos custos de desenvolvimento.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EKLUND, J., UPADHYAYA, B.R. ***Automated Diagnostics of Motor – Operated Valves***. Topical Report, University of Tennessee, Julho. 1990.
- [2] SMITH, S. W. ***The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing***. California Technical Publishing. 1997
- [3] CASTLEBERRY, K.N. ***Distributed Monitoring System for Electric-Motor-Driven Compressors***. Oak Ridge National Laboratory. ORNL/TM-13127. Tennessee: Janeiro, 1996.
- [4] Silicon Beach Communications. Hospeda a página desenvolvida por Arthur C Ludwig Sr, 1997. Apresenta um tutorial sobre processamento de sinais com links para referências bibliográficas. Disponível em: <<http://www.silcom.com/~aludwing/contents.htm>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2001.
- [5] GLUMAC, M. ***Automated Diagnosis of Motor-Operated Valves using Motor Power Signature Analysis***. Mestrado, The University of Tennessee: Knoxville, Maio.1996.
- [6] SNOWDEN, S.A., UPADHYAYA, B.R., CLINE, T.L. Automated Diagnosis of Motor-Operated Valves. ***Proceedings of Maintenance and Reliability Conference - MARCON 98***, Knoxville, TN, USA, Maio. 1997.

- [7] ATALLA, D.L. Early Detection and Diagnosis of Equipment Degradation - Angra I Practices and Goals. **Technical Committee Meeting Report**, IAEA-J4-TC698, Vienna, p. 20-24, Novembro. 1995.
- [8] TSOUKALAS, L.H., UHRIG, R.E. **Fuzzy and Neural Approaches in Engineering**. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. 1997.
- [9] DICQUEMARE, P. **Improved diagnosis is the key to predictive maintenance of valves**. Nuclear Engr. Intl., Vol. 42, No.513, April. 1997.
- [10] CARNEIRO, A.L., SILVA, A.A., UPADHYAYA, B.R, PERRENOUD, H.G., CUNHA, A.R. Development of an integrated condition monitoring system for motor-operated valves for brazilian nuclear power plants. **Proceedings of Maintenance And Reliability Conference - MARCON 2001**, Knoxville, TN, USA, Maio. 2001.
- [11] TELLES, Pedro, C. Silva. **Tubulações Industriais**. Editora de livros Técnicos e Científicos, 6 ° edição.
- [12] BIBVIRT - a biblioteca virtual do estudante brasileiro. Desenvolvido pela Escola do Futuro da Universidade de São Paulo, 1998-2001. Apresenta um acervo de recursos em texto (literatura e material didático) na língua portuguesa, imagens, sons e atividades relacionados ao ensino de primeiro e segundo graus e cursos técnicos do Brasil. Disponível em <<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/acervo/acervo.html>>. Acesso em: 6 de junho de 2001.
- [13] SINISCALCHI, M.R. Apostila Atuadores Motorizados Limitorque. **Eletronuclear – Angra I**, Angra dos Reis, Rio de Janeiro.

- [14] INTEGRATED PUBLISHING'S OFFICIAL WEB PAGE. Disponível em: <<http://www.tpub.com/fluid/ch2d.htm>>. Acesso em: 5 de outubro de 2001.
- [15] MCELHANEY, K.L. An analysis of check valve performance characteristics based on valve design. *Nuclear Engineering and Design*, v.197, p. 169 – 182, 1999.
- [16] SNOWDEN, Scott A., UPADHYAYA, B. R. *Signature Monitoring and Automated Diagnosis of Motor-Operated Valves*. Final Report, University of Tennessee: Knoxville, Dezembro.1997.
- [17] CARNEIRO, A.L.G. *Relatório técnico de atividades da participação na parada P8 da Usina Nuclear Angra I*. IPEN/CNEN-SP, Janeiro.1999.
- [18] SLEMP, M. W. *An Expert System Utilizing Time waveform Data For Fault Diagnosis Machinery*. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Tennessee, Knoxville.
- [19] HAYNES, H.D. Application of Signature Analysis for Determining the Operational Readiness of Motor-Operated Valves Under Blowdown Test Conditions. *Nuclear Engineering and Design* 118, 399-408. 1990.
- [20] Framatome Advanced Nuclear Power, Inc. (Framatome ANP, Inc.). Esta empresa fornece suporte de engenharia, instrumentos digitais, sistemas de controles e outros serviços na área nuclear e química. Disponível em: <<http://www.framatome.com>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2001.
- [21] BAUERNFEIND, V., OLMA, B.J., SUNDER, R., WACH, D. *Development of diagnostic methods for on-line condition monitoring of primary*

system components. Carl Hanser Verlag, München. Kerntechnik 58 No. 2. 1993.

- [22] GRS é a central técnica e científica da Alemanha especializada em todos os assuntos relacionados à segurança nuclear e gerenciamento do lixo atômico. Disponível em: <<http://www.grs.de/frambote.htm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2001.
- [23] SIEMENS AG. Angra 2 Diagnosis of Motor Operated Valves from the Motor Control Centre. **Pre-Release**. CPMP 00/1410. Angra dos Reis, Abril. 2000.
- [24] JOSHI, B.D., UPADHYAYA, B.R. Integrated Software Tool Automates MOV Diagnosis. **Power Engineering**. Abril, 1990. SLEMP, M. W. **An Expert System Utilizing Time waveform Data For Fault Diagnosis Machinery**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Tennessee, Knoxville.
- [25] VARGAS, R. T. **Estudo experimental sobre detecção e diagnóstico de falha em rolamento por medição e análise de sinais acústicos e vibratórios**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. 1996.
- [26] PADOVESE, L.R. **Tópicos em processamento de sinal aplicado à engenharia mecânica: análise de assinatura mecânica**. São Paulo: EPUSP. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo. Laboratório de Fenômeno de Superfície. 1999. CASTINEIRA, M., Vallana, F. Diagnosis de Válvulas Motorizadas. **Revista SNE**, p. 21 – 24, Espanha. 1994.
- [27] MARSHALL, R.J. The Determination of Peaks in Biological Waveforms. **Computers and Biomedical Research**, 19, pp.319-329; 1986.

- [28] CAMPOS, T. E. ***Técnicas de Seleção de Atributos e de Classificação para Reconhecimento de Faces***. 2001. Tese (Doutorado) – Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [29] FRIEDLAENDER, G. M. S. ***Verificação de Assinaturas Manuscritas Off-Line: Uma Abordagem Utilizando Modelos Estatísticos***. 1998. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [30] RAUBER, T.W., BARATA, M.M., STEIGER-GARÇÃO, A.S.A. Toolbox for Analysis and Visualization of Sensor Data in Supervision. **93 - International Conference on Fault Diagnosis**. Toulouse, France: 5-7 Abril. 1993
- [31] HIRAMA, K., ***Sempac – Sistema Especialista Associado ao Sistema de Monitoramento de Parâmetros Críticos de uma Planta Nuclear***. Dissertação (Mestrado), 1989. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [32] Din – Departamento de Informática da Universidade Estadual de Maringá. Hospeda página desenvolvida por Alexandre José Fávero. Apresenta um tutorial sobre sistemas especialistas. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/ia/especialistas/index.html>>. Acesso em: 9 de Setembro de 2001
- [33] LEVINE, R.I., DRANG, D.E., BARRY, E. ***Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas***. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
- [34] SIMÕES, E., SHINMACHI, S. ***Sistemas Especialistas***. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. 2000

- [35] DURKIN, John. **Expert Systems, Design and Development**. Prentice Hall, Englewood Cliffs. 1994.
- [36] Institute for Information Technology, membro do Canadian Technology Network. Apresenta uma base de dados bibliográfica de literatura sobre Inteligência Artificial, 2000. Disponível em: <http://ai.iit.nrc.ca/ai_bib.html>. Acesso em: 7 de Setembro de 2001.
- [37] GRABOT, B., CAILLAUD, E. Imprecise Knowledge in expert systems: A simple shell. **Expert Systems With Applications**, 10: (1) 99–112, 1996.
- [38] Microsoft. Desenvolvido pela Microsoft apresenta a descrição de plataformas, tutoriais, novidades. Disponível em: <http://msdn.microsoft.com/vstudio/nextgen/technology/csharpintro.asp> Acesso em: 17 de Novembro de 2001
- [39] Borland. Desenvolvido pela Borland apresenta descrição de plataformas, tutoriais, downloads etc. Disponível em: <http://www.borland.com/about/press/2000/bcppcompiler.html>. Acesso em 17 de Novembro de 2001.
- [40] WALLEY, P. Measures of uncertainty in expert systems. **Artificial Intelligence** 83: (1) 1-58 Maio, 1996.
- [41] BUCHANAN, B.G., SHORTLIFFE, E.H. **Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project**. Addison-Weslwy, 1984.
- [42] ZADEH, L. Fuzzy Sets. **Information and Control**, 8, 338-353, 1965.

- [43] SHAW, I.S. , SIMÕES, M.G. **Controle e Modelagem Fuzzy**. São Paulo. Edgard Blucher, 1999.
- [44] ZADEH, L. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. **Fuzzy Sets and Systems**, 1, 3-28, 1978.
- [45] STROUSTRUP, B. **A Linguagem de Programação C++**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- [46] POTTS, S., MONK, T.S. **Borland C++ 4.0, Técnicas de Programação**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 1994.
- [47] JAMSA, K., KLANDER, L. **Programando em C/C++ - A Bíblia**. São Paulo: Makron Books, 1999.
- [48] HOLZNER, S. **Programando com Visual C++**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1993.
- [49] KRUGLINSKI, D.J. **Explorando Visual C++**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

APÊNDICE A

Este apêndice apresenta uma complementação a abordagens utilizadas no tratamento de incertezas e/ou imprecisões.

A.1 Algumas Abordagens Clássicas para Modelamento de Incertezas ou Imprecisões^[37,40]

A pesquisa em manipulação de símbolos teve seu início no desenvolvimento de formalismos gerais capazes de resolver qualquer tipo de problemas, ajudando a estabelecer os fundamentos teóricos dos sistemas de símbolos e fornecendo à área da Inteligência Artificial, técnicas de programação voltadas à manipulação simbólica, por exemplo, as técnicas de busca heurística. Inicialmente, os sistemas gerais desenvolvidos obtiveram resultados apenas em domínios simplificados, onde o objetivo principal era a demonstração da técnica utilizada, e não a solução de um problema real. Os sistemas gerais quando estendidos a domínios de problemas reais se mostrou inviável devido a duas razões:

- uma razão relacionada com características teóricas dos métodos utilizados, modelos estes baseados em lógica de primeira ordem como formalismo básico. A memória e o tempo necessários para se resolver um determinado problema utilizando esses modelos cresce exponencialmente com o tamanho do problema.
- Uma outra razão associada à natureza do conhecimento do mundo real. Frequentemente, o conhecimento disponível sobre o mundo

real é incompleto e parcialmente incoerente, e às vezes a maneira de solucionar determinados problemas reais consiste em uma série de regras práticas não fundamentadas por nenhum tipo de teoria geral do domínio que pudesse ser usada para orientar a solução.

Esta situação levou a dois tipos diferentes de solução:

- Uma solução utilizando métodos formais de inferência mais fracos do que a lógica de primeira ordem, a fim de garantir uma certa eficiência aos programas, por exemplo, lógicas multivalores e linguagens terminológicas.
- Uma segunda solução foi através do desenvolvimento de métodos heurísticos e de lógicas não convencionais que permitiram a representação de crenças, incoerências e incompletudes, por exemplo, lógica modal, lógica de exceções e lógica nebulosa.

O interesse no tratamento da informação imprecisa ou incerta em Sistemas Especialistas surgiu quase ao mesmo tempo ao aparecimento dos próprios Sistemas Especialistas, e muitos métodos têm sido testados neste sentido.

Historicamente o primeiro método para manipulação da incerteza foi a teoria da probabilidade, baseada em métodos combinatórios. O uso de probabilidades para representar incerteza conduziu a vários problemas:

- Quando aplicado a conhecimento especialista, a suposição de que possam ser associados à ocorrência de eventos com precisão de valores conduz a erro, pois na maioria das vezes sistemas especialistas trabalham com imprecisão de valores.
- Conhecimento parcial ou ignorância podem ser modelados com teoria da probabilidade, por exemplo: supondo que dois eventos sejam opostos possam ocorrer, $A \wedge \neg A$. Se não houver outra informação

para avaliar, o método que faz a pequena suposição de $A \wedge \neg A$ será considerado $P(A) = P(\neg A) = 0.5$. Ou seja, é suposto que $A \wedge \neg A$ tem a mesma probabilidade de ocorrência, sendo que o caso pode não ser esse.

Muitos autores consideram que a probabilidade também é uma maneira normativa levando em consideração os aspectos da incerteza.

A abordagem Bayesiana utiliza-se de probabilidade, mas acredita na idéia que uma probabilidade anterior de um evento possa ser introduzida em uma dada situação, e possa ser utilizada no cálculo da condição ou probabilidades em comum. Esta abordagem é direcionada mais para revisão de crença do que para dedução, esse aspecto é que tem motivado o desenvolvimento das redes Bayesianas, isto é, rede de regras permitindo propagação ou combinando incerteza. Na prática não é comum o uso da abordagem Bayesiana com este aspecto probabilístico rígido pois:

- não é sempre possível obter probabilidade anterior e probabilidade condicional e;
- teorema de Bayes pode somente ser utilizado quando todos os possíveis resultados estiverem deslocados, o qual freqüentemente requer uma profunda reformulação do conhecimento especialista.

A abordagem Bayesiana pode ser adaptada para Sistemas Especialistas, estas adaptações requerem hipóteses e estas, pelos motivos já citados, não são bem adaptadas para gerenciamento de dados imprecisos em um contexto não casual.

A.1.1 Fator de Certeza

As dificuldades encontradas com probabilidade Bayesiana motivaram o desenvolvimento da teoria da certeza, baseada na definição do que estender uma regra é verdade: o fator de certeza, ou fator de confiança (CF) como no Sistema Especialista MYCIN^[41]. A propagação dos fatores de confiança é realizada por intermédio de leis intuitivas, exemplo:

$$CF(A \text{ and } B) = \min(CF(A), CF(B))$$

$$CF(A \text{ or } B) = \max(CF(A), CF(B)).$$

Quando várias regras concluem em um mesmo fato, é necessário combinar respectivamente fatores de certeza das regras na ordem para dar uma idéia de fator de certeza definido. É óbvio que a adição de fatores de certeza não satisfaz, isto é, duas regras concluem que um fator pode ser verdadeiro em 30%, a confiança final no resultado não soma 60%. Considerando o fator de certeza do fato definido por CF1 da regra 1 e CF2 da regra 2. O primeiro cálculo usado no Sistema Especialista MYCIN^[41] utilizou um agregado fator de certeza definido por:

$$CF = CF1 + CF2 - (CF1 \times CF2) \quad (1)$$

O qual é baseado em uma analogia com a união probabilística:

$$P(A \text{ ou } B) = P(A) + P(B) - P(A \text{ e } B).$$

Esta abordagem tem recebido algumas críticas por causa da semântica pobre dos fatores de certeza: produção regida por peso através de fatores de certeza pode ser interpretada de vários modos, e conseqüentemente não pode ser expressa de uma única forma para combinar os fatores de certeza. Além disso, a resolução pela fórmula (1) pode ser bastante arriscada. Contudo, muitos sistemas são baseados nos princípios do MYCIN^[41], que utiliza a abordagem possibilística.

A.1.2 Abordagem Baseada na Lógica “Fuzzy” e Teoria da Possibilidade

Lógica “Fuzzy” não é um substituto para a teoria da probabilidade, mas basicamente é um método que permite uma gradual representação da semelhança entre dois objetos. Lógica “Fuzzy” está baseada na teoria dos conjuntos “Fuzzy”^[42], o qual define a associação de um conjunto objeto como um grau entre 0 e 1 ao invés de um valor binário 0 ou 1.

Lógica “Fuzzy”^[43] tem sido largamente utilizada para representar conhecimento impreciso em sistemas especialistas. Em casos simples, quando somente um nível de regras é utilizado, a propagação da imprecisão é freqüentemente executada utilizando-se a técnica de controle “Fuzzy”. O modelamento dos atributos de imprecisão utilizando lógica “Fuzzy” tem sido algumas vezes combinado com a propagação da incerteza utilizando probabilidade.

Conjuntos “Fuzzy” disponibiliza uma maneira simples para modelar a imprecisão, mas eles também podem permitir a descrição dos fatores de incerteza.

Uma proposição como a seguinte: “ Uma pessoa é jovem “ pode ser modelada através de conjuntos “Fuzzy”, sendo totalmente definida pela função pertinência (*membership*) μ . Se João é 20, a pertinência (*membership*) do grau de João para com o conjunto “Fuzzy” de pessoas jovens pode ser $\mu(20) = 0,75$. Este valor 0,75 é interpretado como o grau de associação de João para com o conjunto “Fuzzy” das pessoas jovens. A teoria da possibilidade^[44] fixa como um postulado que o valor 0,75 pode ser considerado como a possibilidade que João tem 20 anos, obtendo o fato que “João é jovem“. A função pertinência dos conjuntos “Fuzzy” pode ser interpretada como uma distribuição da possibilidade das idades de João, por analogia com uma distribuição da probabilidade. Praticando um procedimento padrão, a comparação de um fato F, definido através de uma distribuição da possibilidade, com uma premissa imprecisa P definida por um conjunto “Fuzzy” requer duas medidas:

- Possibilidade medida:

$$\Pi (P; F) = \sup_{\mu \subset u} \min(\mu p(u), \pi F (\mu))$$

- e Necessidade medida:

$$N(P; F) = \inf_{\mu \subset u} \max(\mu p(u), 1 - \pi F (\mu))$$

Onde πF denota a distribuição da possibilidade de um fato e μp a função pertinência (“*membership*”) do antecedente. A medida da possibilidade pode ser considerada como representante da melhor combinação possível entre o fato e o antecedente, considerando que a medida da necessidade representa a pior eventualidade.

A teoria da possibilidade permite não apenas a representação de premissas imprecisas (através de conjuntos “Fuzzy”), mas também a propagação da incerteza por intermédio das medidas de possibilidade e necessidade na conclusão das regras.

APÊNDICE B

Este apêndice apresenta o código fonte de algumas partes do programa computacional desenvolvido.

B.1 Programa com o código fonte para teste do algoritmo de detecção de picos

Os programas desenvolvidos para teste foram elaborados com o intuito de facilitar os testes e aprimoramento dos mesmos. Foram implementados com código C/C++, compatíveis com o padrão ANSI^[45] (Instituto Nacional de Padronização Americano) visando também sua portabilidade. Os códigos desenvolvidos para testes podem ser compilados com o compilador C/C++ existente no Visual C++ e também com outros compiladores diferentes do Visual C++, como por exemplo, Borland C++ 5.5^[46], Borland Turbo C++ Lite^[47] e outros com distribuição gratuita.

Segue abaixo um código desenvolvido para a seleção da característica pico existente nas assinaturas das válvulas moto-operadas.

```
#include <iostream.h>
#include <fstream.h>
#include <stdlib.h>
ifstream fp;
void picoA_f(void)
```

```

{ char nome_arquivo[15];
  cout<<"Digite o nome e a extensão do arquivo a ser aberto: ";
  cin >> nome_arquivo;
  cout << "\n";

  fp.open( nome_arquivo,ios::in);
  if(!fp){
  cerr <<"\n\n "<<nome_arquivo<<"nao existe <<endl;
  exit(0); }
  else
  cout<< "O arquivo "<<nome_arquivo<<" foi aberto \n";
  while( !fp.eof() )
  {fscanf( fp, "%lf", &dado );
    arra[ni]=dado;
    ni++;
  }
  ni=ni-1;
}
cout<<"\n Ciclo abertura para fechamento "<<endl;
cout<< "\n\n Total de dados = "<<ni <<endl;
fp.close( );
  cout<< " O arquivo nao foi fechado\n";
// Começa o algoritmo de pico
for(int t=(0);t<(ni/2);t++)
{ arra_tempo[t]=t*passo;
  arra_posicao[t]=t; }
while (i< (ni/2) )
{

```

```

if (((arra[i] > arra[i+1]) && (arra[i]>arra[i-1]))
    ||((arra[i] == arra[i+1])&& (arra[i]>arra[i-1])))
{
    pico[n]=arra[i];
    tempo[n]=arra_tempo[i];
    posicao[n]=arra_posicao[i];
    n++; }
i++;
}
while (i2<n)
{
    if ((pico[i2]>=0 ) && (pico[i2]<=50))
    {
        candidato_pico50[n50]=pico[i2];
        candidato_tempo50[n50]=tempo[i2];
        candidato_posicao50[n50]=posicao[i2];    n50++;
    }
    else if ((pico[i2]>50 ) && (pico[i2]<=100))
    {
        candidato_pico100[n100]=pico[i2];
        candidato_tempo100[n100]=tempo[i2];
        candidato_posicao100[n100]=posicao[i2]; n100++;
    }
    else if ((pico[i2]>100 ) && (pico[i2]<=150))
    { candidato_pico150[n150]=pico[i2];
        candidato_tempo150[n150]=tempo[i2];
        candidato_posicao150[n150]=posicao[i2]; n150++; }
    else if ((pico[i2]>150 ) && (pico[i2]<=200))
    {
        candidato1_pico200[n200]=pico[i2];
        candidato1_tempo200[n200]=tempo[i2];
        candidato1_posicao200[n200]=posicao[i2]; n200++; }
}

```

```

else if ((pico[i2]>200 ) && (pico[i2]<=300))
{ candidato_pico300[n300]=pico[i2];
  candidato_tempo300[n300]=tempo[i2];
  candidato_posicao300[n300]=posicao[i2]; n300++; }
else if ((pico[i2]>300 ) && (pico[i2]<=400))
{ candidato_pico400[n400]=pico[i2];
  candidato_tempo400[n400]=tempo[i2];
  candidato_posicao400[n400]=posicao[i2]; n400++; }
else if ((pico[i2]>400 ) && (pico[i2]<=500))
{ candidato_pico500[n500]=pico[i2];
  candidato_tempo500[n500]=tempo[i2];
  candidato_posicao500[n500]=posicao[i2]; n500++; }
else if ((pico[i2]>500 ) && (pico[i2]<=600))
{ candidato_pico600[n600]=pico[i2];
  candidato_tempo600[n600]=tempo[i2];
  candidato_posicao600[n600]=posicao[i2]; n600++; }
else if ((pico[i2]>600 ) && (pico[i2]<=700))
{ candidato_pico700[n700]=pico[i2];
  candidato_tempo700[n700]=tempo[i2];
  candidato_posicao700[n700]=posicao[i2]; n700++; }

else if ((pico[i2]>700 ) && (pico[i2]<=800))
{ candidato_pico800[n800]=pico[i2];
  candidato_tempo800[n800]=tempo[i2];
  candidato_posicao800[n800]=posicao[i2]; n800++; }
else if ((pico[i2]>800 ) && (pico[i2]<=900))
{ candidato_pico900[n900]=pico[i2];
  candidato_tempo900[n900]=tempo[i2];
  candidato_posicao900[n900]=posicao[i2]; n900++; }

```

```
else if ((pico[i2]>900 ) && (pico[i2]<=1000))
{ candidato_pico1000[n1000]=pico[i2];
  candidato_tempo1000[n1000]=tempo[i2];
  candidato_posicao1000[n1000]=posicao[i2]; n1000++; }
```

```
else if ((pico[i2]>1000 ) && (pico[i2]<=1200))
{ candidato_pico1200[n1200]=pico[i2];
  candidato_tempo1200[n1200]=tempo[i2];
  candidato_posicao1200[n1200]=posicao[i2]; n1200++; }
```

```
else if ((pico[i2]>1200 ) && (pico[i2]<=1400))
{ candidato_pico1400[n1400]=pico[i2];
  candidato_tempo1400[n1400]=tempo[i2];
  candidato_posicao1400[n1400]=posicao[i2]; n1400++; }
```

```
else if ((pico[i2]>1400 ) && (pico[i2]<=1600))
{ candidato_pico1600[n1600]=pico[i2];
  candidato_tempo1600[n1600]=tempo[i2];
  candidato_posicao1600[n1600]=posicao[i2]; n1600++; }
```

```
else if ((pico[i2]>1600 ) && (pico[i2]<=1800))
{ candidato_pico1800[n1800]=pico[i2];
  candidato_tempo1800[n1800]=tempo[i2];
  candidato_posicao1800[n1800]=posicao[i2]; n1800++; }
```

```
else if ((pico[i2]>1800 ) && (pico[i2]<=2000))
{ candidato_pico2000[n2000]=pico[i2];
  candidato_tempo2000[n2000]=tempo[i2];
```

```
    candidato_posicao2000[n2000]=posicao[i2]; n2000++; }

else if ((pico[i2]>2000 ) && (pico[i2]<=3000))
{ candidato_pico3000[n3000]=pico[i2];
  candidato_tempo3000[n3000]=tempo[i2];
  candidato_posicao3000[n3000]=posicao[i2]; n3000++; }
else if ((pico[i2]>3000 ) && (pico[i2]<=4000))
{ candidato_pico4000[n4000]=pico[i2];
  candidato_tempo4000[n4000]=tempo[i2];
  candidato_posicao4000[n4000]=posicao[i2]; n4000++; }

else if ((pico[i2]>4000 ) && (pico[i2]<=5000))
{ candidato_pico5000[n5000]=pico[i2];
  candidato_tempo5000[n5000]=tempo[i2];
  candidato_posicao5000[n5000]=posicao[i2]; n5000++; }

else if ((pico[i2]>5000 ) && (pico[i2]<=6000))
{ candidato_pico6000[n6000]=pico[i2];
  candidato_tempo6000[n6000]=tempo[i2];
  candidato_posicao6000[n6000]=posicao[i2]; n6000++; }

else if ((pico[i2]>6000 ) && (pico[i2]<=7000))
{ candidato_pico7000[n7000]=pico[i2];
  candidato_tempo7000[n7000]=tempo[i2];
  candidato_posicao7000[n7000]=posicao[i2]; n7000++; }

else if ((pico[i2]>7000 ) && (pico[i2]<=8000))
{ candidato_pico8000[n8000]=pico[i2];
```

```
    candidato_tempo8000[n8000]=tempo[i2];
        candidato_posicao8000[n8000]=posicao[i2]; n8000++; }

else if ((pico[i2]>8000 ) && (pico[i2]<=9000))
{ candidato_pico9000[n9000]=pico[i2];
    candidato_tempo9000[n9000]=tempo[i2];
        candidato_posicao9000[n9000]=posicao[i2]; n9000++; }

else if ((pico[i2]>9000 ) && (pico[i2]<=10000))
{ candidato_pico10000[n10000]=pico[i2];
    candidato_tempo10000[n10000]=tempo[i2];
        candidato_posicao10000[n10000]=posicao[i2]; n10000++;
}

else if ((pico[i2]>10000 ) && (pico[i2]<=20000))
{ candidato_pico20000[n20000]=pico[i2];
    candidato_tempo20000[n20000]=tempo[i2];
        candidato_posicao20000[n20000]=posicao[i2]; n20000++; }

else if ((pico[i2]>20000 ) && (pico[i2]<=30000))
{ candidato_pico30000[n30000]=pico[i2];
    candidato_tempo30000[n30000]=tempo[i2];
        candidato_posicao30000[n30000]=posicao[i2]; n30000++;
}

else if ((pico[i2]>30000)&&(pico[i2]<=40000))
{ candidato_pico40000[n40000]=pico[i2];
    candidato_tempo40000[n40000]=tempo[i2];
        candidato_posicao40000[n40000]=posicao[i2]; n40000++; }
```

```

else if ((pico[i2]>40000)&&(pico[i2]<=50000))
{ candidato_pico50000[n50000]=pico[i2];
  candidato_tempo50000[n50000]=tempo[i2];
  candidato_posicao50000[n50000]=posicao[i2]; n50000++; }
else if ((pico[i2]>50000)&&(pico[i2]<=60000))
{ candidato_pico60000[n60000]=pico[i2];
  candidato_tempo60000[n60000]=tempo[i2];
  candidato_posicao60000[n60000]=posicao[i2]; n60000++; }
else if ((pico[i2]>60000)&&(pico[i2]<=70000))
{ candidato_pico70000[n70000]=pico[i2];
  candidato_tempo70000[n70000]=tempo[i2];
  candidato_posicao70000[n70000]=posicao[i2]; n70000++; }
else if ((pico[i2]>0) && (pico[i2]>70000))
{ candidato_picooutros[noutros]=pico[i2];
  candidato_tempooutros[noutros]=tempo[i2];
  candidato_posicaooutros[noutros]=posicao[i2]; noutros++; }
  i2++;    }

cout<< " faixa de 0 a 50 = "<< n50<<"faixa de 50 a 100 = "<< n100
<<"faixa de 100 a 150 = "<<n150<< " faixa de 150 a 200 = "<< n200
<< " faixa de 200 a 300 = "<< n300<<" faixa de 300 a 400 = " << n400
<< " faixa de 400 a 500 = "<< n500 << " faixa de 500 a 600 = "<< n600
<<" faixa de 600 a 700 = " << n700 << " faixa de 700 a 800 = "<< n800
<< " faixa de 800 a 900 = "<< n900 <<" faixa de 900 a 1000 = " << n1000
<< " faixa de 1000 a 1200 = "<< n1200<< " faixa de 1200 a 1400 = "<< n1400
<<" faixa de 1400 a 1600 = " << n1600 << " faixa de 1600 a 1800 = "<< n1800
<< " faixa de 1800 a 2000 = "<< n2000<<" faixa de 2000 a 3000 = " << n3000
<< " faixa de 3000 a 4000 = "<< n4000 << " faixa de 4000 a 5000 = "<< n5000
<<" faixa de 5000 a 6000 = " << n6000 << " faixa de 6000 a 7000 = "<< n7000

```

```

<< " faixa de 7000 a 8000 = " << n8000 << " faixa de 8000 a 9000 = " << n9000
<< " faixa de 9000 a 10000 = " << n10000 << " faixa de 10000 a 20000 = "
<< n20000 << " faixa de 20000 a 30000 = " << n30000
<< " faixa de 30000 a 40000 = " << n40000 << " faixa de 40000 a 50000 = "
<< n50000 << " faixa de 50000 a 60000 = " << n60000
<< " faixa de 60000 a 70000 = " << n70000 << " faixa de outros = "
<< noutros << endl; cout << "\n";

cout << "pressione qualquer tecla para continuar..."; cin.get();
if ((n50>=1)&&(n50<20))
{ while (i50<n50)
{ if ((candidato_pico50[i50]>candidato_pico50[i50-1])
&& (candidato_pico50[i50]>candidato_pico50[i50+1])
&& ((candidato_tempo50[i50]-candidato_tempo50[i50-1])>1))
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico50[i50];
candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo50[i50];
candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao50[i50]; nt++; }
i50++; } }
if ((n100>=1))
{ while (i100<n100)
{ if ((candidato_pico100[i100]>candidato_pico100[i100-1])
&& (candidato_pico100[i100]>candidato_pico100[i100+1])
&& ((candidato_tempo100[i100]-candidato_tempo100[i100-1])>1))
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico100[i100];
candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo100[i100];
candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao100[i100]; nt++; }
i100++; } }
if ((n150>=1))

```

```

{ while (i150<n150)
{ if ((candidato_pico150[i150]>candidato_pico150[i150-1])
    && (candidato_pico150[i150]>candidato_pico150[i150+1])
    && ((candidato_tempo150[i150]-candidato_tempo150[i150-1])>1) )
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico150[i150];
  candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo150[i150];
  candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao150[i150]; nt++; }
i150++; } }
if ((n200>=1)&&(n200<20))
{ while (i200<n200)
{ if ((candidato1_pico200[i200]>candidato1_pico200[i200-1])
    && (candidato1_pico200[i200]>candidato1_pico200[i200+1]))
{ candidato1_pico[nt]=candidato1_pico200[i200];
  candidato1_tempo[nt]=candidato1_tempo200[i200];
  candidato1_posicao[nt]=candidato1_posicao200[i200]; nt++;
} i200++; } }
if ((n300>=1)&&(n300<20))
{ while (i300<=n300)
{ if ((candidato_pico300[i300]>candidato_pico300[i300-1])
    && (candidato_pico300[i300]>candidato_pico300[i300+1]))
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico300[i300];
  candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo300[i300];
  candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao300[i300]; nt++;
} i300++; } }
if ((n400>=1)&&(n400<20))
{ while (i400<=n400)
{ if ((candidato_pico400[i400]>candidato_pico400[i400-1])
    && (candidato_pico400[i400]>candidato_pico400[i400+1]))

```

```

        { candidato1_pico[nt]=candidato_pico400[i400];
          candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo400[i400];
            candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao400[i400]; nt++;}
i400++; } }

if ((n500>=1)&&(n500<20))
{ while (i500<=n500)
{ if ((candidato_pico500[i500]>candidato_pico500[i500-1])
    && (candidato_pico500[i500]>candidato_pico500[i500+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico500[i500];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo500[i500];
        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao500[i500]; nt++;
    } i500++; } }

if ((n600>=1)&&(n600<20))
{ while (i600<=n600)
{ if ((candidato_pico600[i600]>candidato_pico600[i600-1])
    && (candidato_pico600[i600]>candidato_pico600[i600+1])
    && ((candidato_tempo600[i600]-candidato_tempo600[i600-1])>1))

    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico600[i600];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo600[i600];
        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao600[i600]; nt++; }

i600++; } }

if ((n700>=1)&&(n700<20))
{ while (i700<=n700)
{ if ((candidato_pico700[i700]>candidato_pico700[i700-1])
    && (candidato_pico700[i700]>candidato_pico700[i700+1])
    && ((candidato_tempo700[i700]-candidato_tempo700[i700-1])>1))

```

```

        { candidato1_pico[nt]=candidato_pico700[i700];
          candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo700[i700];
            candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao700[i700]; nt++; }
    i700++; } }
if ((n800>=1)&&(n800<20))
{ while (i800<=n800)
{ if (((candidato_pico800[i800]>candidato_pico800[i800-1])
    && (candidato_pico800[i800]>candidato_pico800[i800+1]))
    ||(candidato_tempo800[i800]-candidato_tempo800[i800-1]>15)
    ||(candidato_tempo800[i800+1]-candidato_tempo800[i800]>15)
    )
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico800[i800];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo800[i800];
        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao800[i800]; nt++;
    } i800++; } }
if ((n900>=1)&&(n900<20))
{ while (i900<=n900)
{ if ((candidato_pico900[i900]>candidato_pico900[i900-1])
    && (candidato_pico900[i900]>candidato_pico900[i900+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico900[i900];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo900[i900];
        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao900[i900]; nt++; }
    i900++; } }
if ((n1000>=1)&&(n1000<20))
{ while (i1000<=n1000)
{ if ((candidato_pico1000[i1000]>candidato_pico1000[i1000-1])
    && (candidato_pico1000[i1000]>candidato_pico1000[i1000+1]))

```

```

        { candidato1_pico[nt]=candidato_pico1000[i1000];
          candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo1000[i1000];
          candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao1000[i1000]; nt++;
        } i1000++; } }

if ((n1200>=1)&&(n1200<100))
{ while (i1200<=n1200)
{ if ((candidato_pico1200[i1200]>candidato_pico1200[i1200-1])
    && (candidato_pico1200[i1200]>candidato_pico1200[i1200+1])
    && ((candidato_tempo1200[i1200]-candidato_tempo1200[i1200-1])>1))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico1200[i1200];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo1200[i1200];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao1200[i1200]; nt++; }
  i1200++; } }

if ((n1400>=1)&&(n1400<100))
{ while (i1400<=n1400)
{ if ((candidato_pico1400[i1400]>candidato_pico1400[i1400-1])
    && (candidato_pico1400[i1400]>candidato_pico1400[i1400+1]) )
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico1400[i1400];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo1400[i1400];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao1400[i1400]; nt++; }
  i1400++; } }

if ((n1600>=1)&&(n1600<20))
{ while (i1600<=n1600)
{ if ((candidato_pico1600[i1600]>candidato_pico1600[i1600-1])
    && (candidato_pico1600[i1600]>candidato_pico1600[i1600+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico1600[i1600];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo1600[i1600];

```

```

        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao1600[i1600]; nt++; }
i1600++; } }

if ((n1800>=1)&&(n1800<20))
{ while (i1800<=n1800)
{ if ((candidato_pico1800[i1800]>candidato_pico1800[i1800-1])
    && (candidato_pico1800[i1800]>candidato_pico1800[i1800+1]))
    {
        candidato1_pico[nt]=candidato_pico1800[i1800];
        candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo1800[i1800];
        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao1800[i1800]; nt++; }
i1800++; } }

if ((n2000>=1)&&(n2000<20))
{ while (i2000<=n2000)
{ if ((candidato_pico2000[i2000]>candidato_pico2000[i2000-1])
    && (candidato_pico2000[i2000]>candidato_pico2000[i2000+1]))
    {
        candidato1_pico[nt]=candidato_pico2000[i2000];
        candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo2000[i2000];
        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao2000[i2000]; nt++; }
i2000++; } }

if ((n3000>=1)&&(n3000<20))
{ while (i3000<=n3000) {
if ((candidato_pico3000[i3000]>candidato_pico3000[i3000-1])
    && (candidato_pico3000[i3000]>candidato_pico3000[i3000+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico3000[i3000];
        candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo3000[i3000];
        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao3000[i3000]; nt++; }
}
}

```

```
i3000++; } }
```

```
if ((n4000>=1)&&(n4000<20))
```

```
{ while (i4000<=n4000) {
```

```
if ((candidato_pico4000[i4000]>candidato_pico4000[i4000-1])
```

```
&& (candidato_pico4000[i4000]>candidato_pico4000[i4000+1]))
```

```
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico4000[i4000];
```

```
candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo4000[i4000];
```

```
candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao4000[i4000]; nt++;
```

```
} i4000++; }
```

```
}
```

```
if ((n5000>=1)&&(n5000<20))
```

```
{ while (i5000<=n5000)
```

```
{ if ((candidato_pico5000[i5000]>candidato_pico5000[i5000-1])
```

```
&& (candidato_pico5000[i5000]>candidato_pico5000[i5000+1])
```

```
&& ((candidato_tempo5000[i5000]-candidato_tempo5000[i5000-1])>1))
```

```
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico5000[i5000];
```

```
candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo5000[i5000];
```

```
candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao5000[i5000];
```

```
nt++; } i5000++;
```

```
} }
```

```
if ((n6000>=1)&&(n6000<20))
```

```
{ while (i6000<=n6000)
```

```
{ if ((candidato_pico6000[i6000]>candidato_pico6000[i6000-1])
```

```
&& (candidato_pico6000[i6000]>candidato_pico6000[i6000+1])
```

```
&& ((candidato_tempo6000[i6000]-candidato_tempo6000[i6000-1])>1))
```

```
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico6000[i6000];
```

```
candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo6000[i6000];
```

```

        candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao6000[i6000]; nt++; }
    i6000++; } }
if((n7000>=1) &&(n7000<20))
{ while(i7000<=n7000)
{ if ((candidato_pico7000[i7000]<candidato_pico7000[i7000-1])
    && (candidato_pico7000[i7000]>candidato_pico7000[i7000+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico7000[i7000];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo7000[i7000];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao7000[i7000];nt++; }
    i7000++; }}
if ((n8000>=1)&&(n8000<20)) {
while (i8000<=n8000)
{ if ((candidato_pico8000[i8000]>candidato_pico8000[i8000-1])
    && (candidato_pico8000[i8000]>candidato_pico8000[i8000+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico8000[i8000];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo8000[i8000];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao8000[i8000]; nt++;
    } i8000++; } }
if((n9000>=1)&&(n9000<20))
{ while (i9000<=n9000)
{ if ((candidato_pico9000[i9000]>candidato_pico9000[i9000-1])&&
    (candidato_pico9000[i9000]>candidato_pico9000[i9000+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico9000[i9000];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo9000[i9000];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao9000[i9000]; nt++; }
    i9000++; } }

if((n10000>=1)&&(n10000<20))

```

```

{ while (i10000<=n10000)
{ if ((candidato_pico10000[i10000]>candidato_pico10000[i10000-1])&&
    (candidato_pico10000[i10000]>candidato_pico10000[i10000+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico10000[i10000];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo10000[i10000];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao10000[i10000];nt++;
    } i10000++; } }

```

```

if((n20000>=1)&&(n20000<20))
{ while (i20000<=n20000) {
if ((candidato_pico20000[i20000]>candidato_pico20000[i20000-1])&&
    (candidato_pico20000[i20000]>candidato_pico20000[i20000+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico20000[i20000];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo20000[i20000];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao20000[i20000]; nt++;
    } i20000++; } }

```

```

if((n30000>=1)&&(n30000<20))
{ while (i30000<=n30000)
{ if ((candidato_pico30000[i30000]>candidato_pico30000[i30000-1])&&
    (candidato_pico30000[i30000]>candidato_pico30000[i30000+1]))
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico30000[i30000];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo30000[i30000];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao30000[i30000]; nt++; }
    i30000++; } }

```

```

if((n40000>=1)&&(n40000<20))
{ while (i40000<=n40000)
{ if (((candidato_pico40000[i40000]>candidato_pico40000[i40000-1])

```

```

    && ( candidato_pico40000[i40000]>candidato_pico40000[i40000+1]))
    ||((candidato_pico40000[i40000]==candidato_pico40000[i40000+1])&&
    (candidato_tempo40000[i40000+1]-candidato_tempo40000[i40000]>20))
    ||((candidato_pico40000[i40000]>candidato_pico40000[i40000+1])&&
    (candidato_tempo40000[i40000+1]-candidato_tempo40000[i40000]>20)) )
    { candidato1_pico[nt]=candidato_pico40000[i40000];
      candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo40000[i40000];
      candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao40000[i40000];nt++;
    } i40000++; } }
if((n50000>=1)&&(n50000<20))
{ while (i50000<=n50000)
{ if ((candidato_pico50000[i50000]>candidato_pico50000[i50000-1])&&
(candidato_pico50000[i50000]>candidato_pico50000[i50000+1]))
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico50000[i50000];
candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo50000[i50000];
candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao50000[i50000]; nt++;
} i50000++; } }

if((n60000>=1)&&(n60000<20))
{ while (i60000<=n60000)
{ if ((candidato_pico60000[i60000]>candidato_pico60000[i60000-1])&&
(candidato_pico60000[i60000]>candidato_pico60000[i60000+1]))
{ candidato1_pico[nt]=candidato_pico60000[i60000];
candidato1_tempo[nt]=candidato_tempo60000[i60000];
candidato1_posicao[nt]=candidato_posicao60000[i60000]; nt++;
} i60000++; } }

if((noutros>=1)&&(noutros<20))
{ while (ioutros<=noutros)
{ if ((candidato_picooutros[ioutros]>candidato_picooutros[ioutros-1])&&

```

```

(candidato_picooutros[ioutros]>candidato_picooutros[ioutros+1]))
{ candidato1_pico[nt]=candidato_picooutros[ioutros];
  candidato1_tempo[nt]=candidato_tempooutros[ioutros];
  candidato1_posicao[nt]=candidato_posicaooutros[ioutros];nt++; }
ioutros++; } }
for (int atual_parte2 =0;atual_parte2<nt;atual_parte2++)
  for(sh =atual_parte2+1; sh< nt; sh++)
    if (candidato1_tempo[atual_parte2] > candidato1_tempo[sh])
      { temptempo_parte1=candidato1_tempo[atual_parte2];
        temppico_parte1=candidato1_pico[atual_parte2];
        tempposicao_parte1=candidato1_posicao[atual_parte2];
candidato1_tempo[atual_parte2] = candidato1_tempo[sh];
candidato1_pico[atual_parte2]= candidato1_pico[sh];
candidato1_posicao[atual_parte2] = candidato1_posicao[sh];
        candidato1_tempo[sh]=temptempo_parte1;
        candidato1_pico[sh]= temppico_parte1;
        candidato1_posicao[sh]=tempposicao_parte1 ; }
for (int mostrap=0; mostrap<nt;mostrap++)
  { cout << "["<<mostrap+1<<"]= "<<candidato1_pico[mostrap]
<<" "<<candidato1_tempo[mostrap]<<" "<<candidato1_posicao[mostrap]<<endl;}
  cout << "\n"; cout << "pressione qualquer tecla para continuar....";
  cin.get(); int cp2=0;
  while (cp2<sh)
  { if ((candidato1_pico[cp2]>candidato1_pico[cp2+1] )
    &&(candidato1_pico[cp2]>candidato1_pico[cp2-1]))
    ||((candidato1_posicao[cp2]!=candidato1_posicao[0])&&
(candidato1_posicao[cp2]-candidato1_posicao[cp2-1]>500)) )
    { pico_final_parte1[pf2]=candidato1_pico[cp2];

```



```
{ cout <<"["<<mostra3+1<<"]= " << pico_confirmado1[mostra3] <<" "  
  <<tempo_confirmado1[mostra3]<<" "<<posicao_confirmado1[mostra3]<<"\n "};  
}
```

B.2 Programa implementado em Visual C++ para a seleção da característica Vale das assinaturas.

Os códigos implementados no Visual C++ são muito grandes, em parte pela proposta da linguagem, que para facilitar uma programação para Windows implementa automaticamente várias classes^[48]. Devido ao tamanho e também por uma considerável parte do código do programa desenvolvido ter sido gerada automaticamente pelo Visual C++^[49], será apenas mostrado neste trabalho a parte principal do desenvolvimento do programa Vale para o ciclo abertura - fechamento. As figuras B.1, B.2 e B.3 ilustram o programa desenvolvido, mostrando respectivamente os arquivos, as classes e os arquivos de recursos do programa Vale.

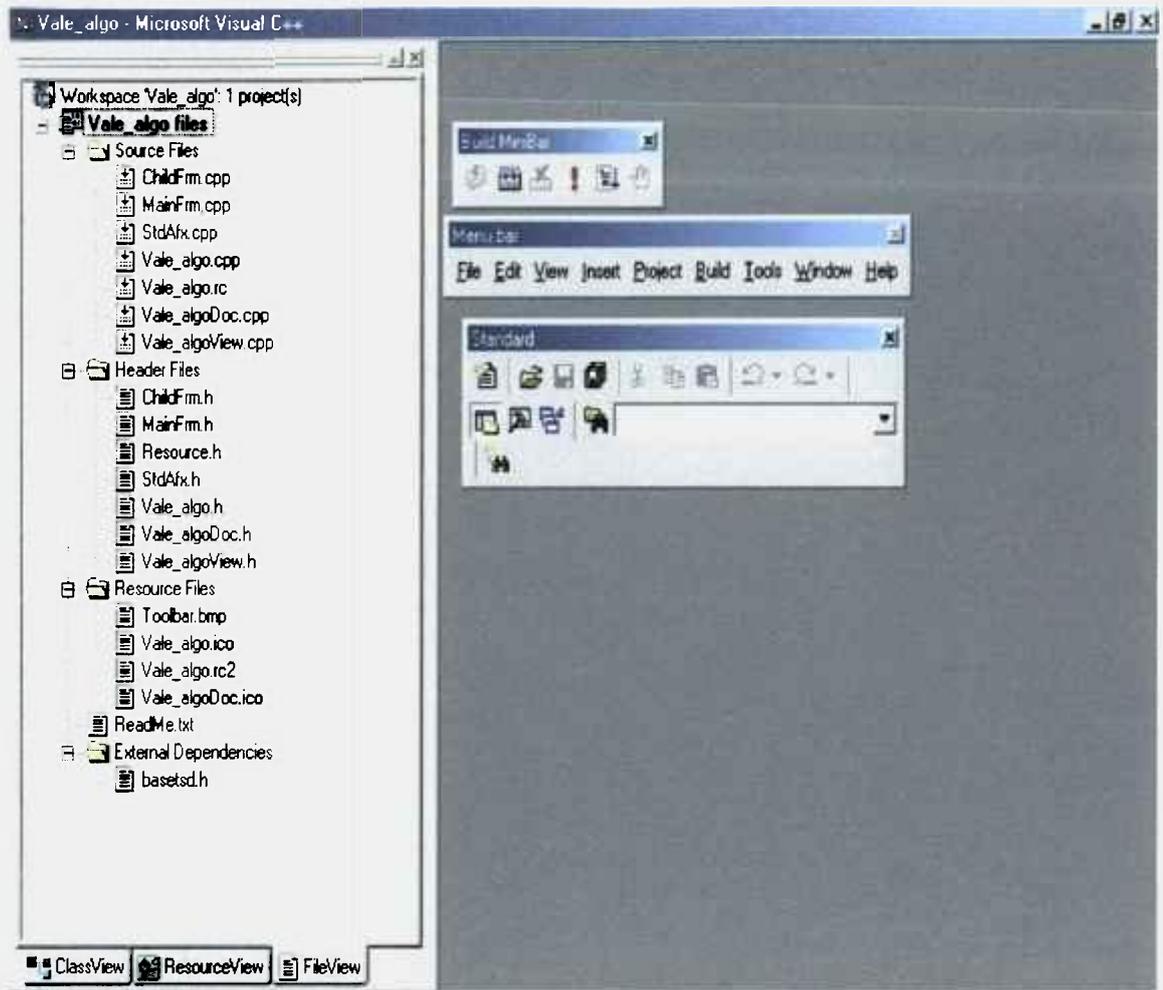


Figura B.1 - Ilustra os arquivos gerados no Programa Vale.

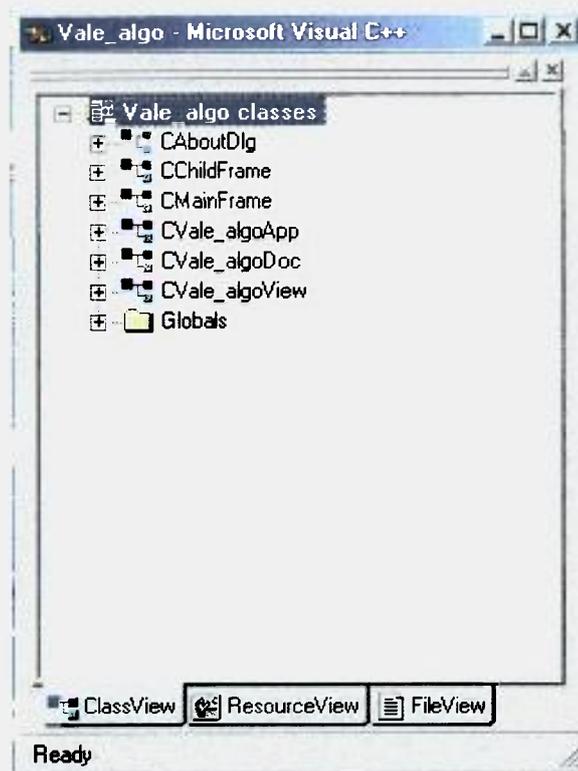


Figura B.2 - Ilustra as classes desenvolvidas no Programa Vale.

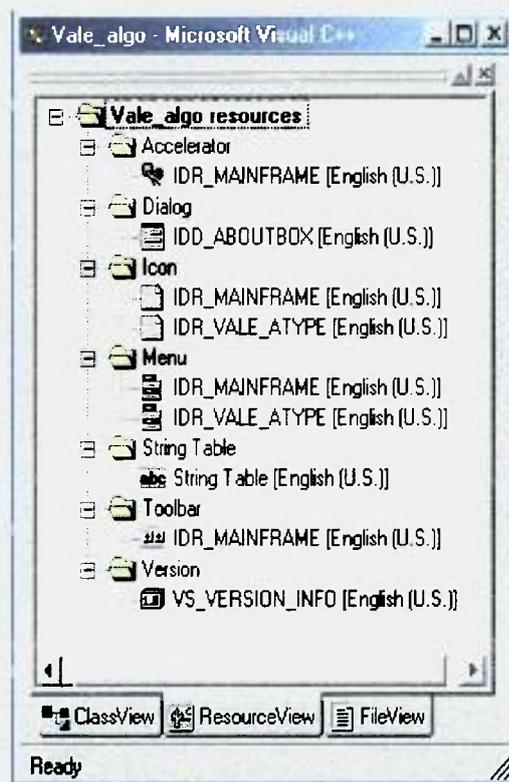


Figura B.3 - Ilustra os arquivos de recursos gerados no Programa Vale.

Segue abaixo a principal parte implementada do programa Vale.

```
// Vale_algoView.cpp : implementation of the CVale_algoView class
//

#include "stdafx.h"
#include <stdio.h>
#include <iostream.h>
#include "Vale_algo.h"

#include "Vale_algoDoc.h"
#include "Vale_algoView.h"
double arra[120000],dado=0;
    long int arra_posicao[120000],posicao[200],posicao_vale[10];
    long double arra_tempo[120000];
double
pico[200],pico_refinado[150],ordenado[150],refina[150],maior_refina[150],pico_cer
to[150];
long double tempo[200],pico_vale[150],tempo_vale[150];
long double tempo_maior_refina[150],tempo_pico_certo[150];
int ni=0,i=0,n=0, s=0,ia=0,ib=0,ic=0,ordem=0,certo=0,pi=0,re2=0,re=0,nvf=0;
double passo=8.333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333e-4;
#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

////////////////////////////////////
// CVale_algoView

IMPLEMENT_DYNCREATE(CVale_algoView, CView)

BEGIN_MESSAGE_MAP(CVale_algoView, CView)
    //{AFX_MSG_MAP(CVale_algoView)
        // NOTE - the ClassWizard will add and remove mapping macros
here.
        // DO NOT EDIT what you see in these blocks of generated code!
    /}}AFX_MSG_MAP
    // Standard printing commands
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT, CView::OnFilePrint)
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT_DIRECT, CView::OnFilePrint)
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT_PREVIEW, CView::OnFilePrintPreview)
END_MESSAGE_MAP()

////////////////////////////////////
// CVale_algoView construction/destruction
```

```

CVale_algoView::CVale_algoView()
{
    // TODO: add construction code here
}

CVale_algoView::~CVale_algoView()
{
}

BOOL CVale_algoView::PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs)
{
    // TODO: Modify the Window class or styles here by modifying
    // the CREATESTRUCT cs

    return CView::PreCreateWindow(cs);
}

////////////////////////////////////
// CVale_algoView drawing

void CVale_algoView::OnDraw(CDC* pDC)
{
    FILE* stream;

    if( (stream = fopen( "p8804B.DAT", "r" )) == NULL )
    {
        CString men1 = "O arquivo nao foi aberto" ;
        pDC->TextOut(0,0,men1,men1.GetLength());
    }
    else
    {
        CString men1a = "O arquivo foi aberto\n" ;
        pDC->TextOut(0,0,men1a,men1a.GetLength());

        while( !feof( stream ) )
        {
            fscanf( stream, "%lf", &dado );
            arra[ni]=dado;
            ni++;
        }
        ni=ni-1;
    }
    char men2[30];
    wsprintf (men2," Total de dados = %d",ni);
    pDC->TextOut(30,30,men2,strlen(men2));

    if( fclose( stream ) )
    {
        CString men3="The file 'data' was not closed\n" ;
        pDC->TextOut(10,5,men3,men3.GetLength());}

    for(int t=0;t<(ni/2);t++)

```

```

{
    arra_tempo[t]=t*passo;
    arra_posicao[t]=t;
}
while ((i<(ni/2)) )

{
    if (((arra[i+1] > arra[i] )) && (arra[i]<arra[i-1]) && (arra[i]<0))

    {
        pico[n]=arra[i];
        tempo[n]=arra_tempo[i];
        posicao[n]=arra_posicao[i];
        n++;

    }    i++; }

i=0;
while ((i<(n)) )

    { if ((pico[i+1] > pico[i] ) && (pico[i]<pico[i-1])|((posicao[i]-posicao[i-1])>1000) /* || ((posicao[i+1]-posicao[i]>1000)&&(posicao[i+1]!=0))* */)
    {
        pico_vale[nvf]=pico[i];
        tempo_vale[nvf]=tempo[i];
        posicao_vale[nvf]=posicao[i];
        nvf++;

    }    i++; }

CString men4=""Vales' encontrados: ";
pDC->TextOut(0,0,men4,men4.GetLength());
//for (int mostra2=0; mostra2<nvf; mostra2++)
//{
    char men_vale[200];
    char men_vale2[200];
    char men_vale3[200];
    sprintf (men_vale, "pico[ %d ] = %.5lf",nvf-1, pico_vale[nvf-1] );
    pDC->TextOut(100,100,men_vale);
    // sprintf (men_vale, "pico[ %d ] = %d",mostra2+1, pico_vale[mostra2] );
    // pDC->TextOut(100,100,men_vale,strlen(men_vale));
    sprintf (men_vale2, " Instante = %lf ", tempo_vale[nvf-1]);
    pDC->TextOut(100,140,men_vale2);
    sprintf(men_vale3, " posicao[ %d ] = %ld ",nvf-1,posicao_vale[nvf-1]);
    pDC->TextOut(100,170,men_vale3);
//}

```


B.3 Programa implementado do Sistema Especialista.

Devido ao tamanho e também por uma considerável parte do código do programa desenvolvido ter sido gerada automaticamente pelo Visual C++^[49], será apenas mostrado neste trabalho a parte principal do desenvolvimento do Sistema Especialista, com a implementação das regras desenvolvidas (Capítulo 5).

```
// SistEspecialista.h : main header file for the SISTESPECIALISTA application

#ifndef AFX_SISTESPECIALISTA_H__DF7E7BAE_4D05_4C12_BD37_AF60F94F3714__INCLUDED_
#define AFX_SISTESPECIALISTA_H__DF7E7BAE_4D05_4C12_BD37_AF60F94F3714__INCLUDED_

#if _MSC_VER > 1000    #pragma once        #endif // _MSC_VER > 1000
#ifndef __AFXWIN_H__
#error include 'stdafx.h' before including this file for PCH
#endif

#include "resource.h"    // main symbols
#include <iostream.h>
#include <string.h>

#define P(p) ((p<=23532*1.1)&&(p>23532*0.9))
#define T(t) ((t<=0.8833*1.1)&&(t>0.8833*0.9))
#define PS(ps) ((ps<=8405*1.1)&&(ps>8405*0.9))
#define TS(ts) ((ts<=37.2508*1.1)&&(ts>37.2508*0.9))
#define V(v) ((v<= -369.1*1.1)&&(v>-369.1*0.9))
#define TV(tv) ((tv<=37.2708*1.1)&&(tv>37.2708*0.9))
#define Top(top) ((top<=37.2508*1.1)&&(top>37.2508*0.9))
#define ZP(zp) ((zp<=1310.39*1.1)&&(zp>1310.39*0.9))
#define TZP(tzp) ((tzp<=30.5841*1.1)&&(tzp>30.5841*0.9))
#define DT(dt) ((dt<=1.8521*1.1)&&(dt>1.8521*0.9))
#define P2(p2) ((p2<=23710*1.1)&&(p2>23710*0.9))
#define T2(t2) ((t2<=40.6092*1.1)&&(t2>40.6092*0.9))
```

```

#define PM(pm) ((pm<=3397.7*1.1)&&(pm>3397.7*0.9))
#define TM(tm) ((tm<=41.4892*1.1)&&(tm>41.4892*0.9))
#define PU(pu) ((pu<=4030*1.1)&&(pu>4030*0.9))
#define TU(tu) ((tu<=43.6383)&&(tu>43.6383*0.9))
#define Top2(top2) ((top2<=35.9733*1.1)&&(top2>35.9733*0.9))
#define V2(v2) ((v2<= -89.075*1.1)&&(v2>-89.075*0.9))
#define TV2(tv2) ((tv2<=76.5825*1.1)&&(tv2>76.5825*0.9))

```

```

class PicoSE{
    double Pa_f, Ta_f;
public:
    double potencia,instante,instante_ref1;
    char mens1[30], mens2[38], mens3[20];
    int cont,cont_ref1, contpd;
    void picoa_f(double pico,double tempo){
        Pa_f=pico;
        Ta_f=tempo;
        contpd=0;
        if (P(Pa_f)&&T(Ta_f)){
            cont_ref1=1;
            strcpy(mens1,"Pico do acionamento do motor (A-F)");
            potencia=Pa_f; instante_ref1=Ta_f; }

        else if (PS(Pa_f)&&TS(Ta_f)){
            cont=2;
            strcpy(mens2,"Pico do desligamento chave de torque (A-F)");
            potencia=Pa_f; instante=Ta_f; }

        else {
            cont=3;  contpd++;
            strcpy(mens3,"Pico desconhecido (A-F)");
            potencia=Pa_f; instante=Ta_f; }
    }
}

```

```

};
class ValeSE{
    double Va_f, VTa_f;
public:
    double potencia,instante,instante_ref3;
    char mens4[40], mens5[25];
    int contv,contv_ref3,contvd;
    void valea_f(double vale,double temp){
        Va_f=vale;
        VTa_f=temp;
        contvd=0;
        if (V(Va_f)&&TV(VTa_f)){
            contv_ref3=1;
            strcpy(mens4,"Pico (vale) do final de operacao (A-F)");
            potencia=Va_f; instante_ref3=VTa_f; }

        else {
            contv=2;contvd++;
            strcpy(mens5,"Pico (vale) desconhecido");
            potencia=Va_f; instante=VTa_f; }
    }
};

```

```

PicoSE peek;
ValeSE valley;

```

```

class Tempo_OP{
    double st;
public:
    double intervalo;
    int cop;
    char mens14[45];
    void stroke(){
        if ((peek.cont_ref1==1)&&(valley.contv_ref3==1))

```

```

{
    st=valley.instante_ref3-peek.instante_ref1;
    if (Top(st)){
        cop=1;
        strcpy(mens14,"Tempo de operacao da valvula (stroke time)");
        intervalo=st; } }
};

```

```

class ZPSE{
    double ZPa_f, ZPTa_f;
public:
    double potencia,instante;
    char mens7[35], mens6[25];
    int contzp,contzpd;
    void zpa_f(double pzp,double tzp){
        ZPa_f=pzp;
        ZPTa_f=tzp;
        contzpd=0;
        if (ZP(ZPa_f)&&TZP(ZPTa_f)){
            contzp=1;
            strcpy(mens6,"Movimento da haste (A-F)");
            potencia=ZPa_f; instante=ZPTa_f; }

        else {
            contzp=2;contzpd++;
            strcpy(mens7,"Movimento da haste desconhecido");
            potencia=ZPa_f; instante=ZPTa_f; }
    }
};

```

```

class Pico2SE{
    double P2a_f, T2a_f;
public:
    double potencia,instante,instante_ref8;

```

```

char mens8[30], mens9[20], mens10[30],mens11[20];
int cont2,cont2_ref8, cont2pd;
void picoa_(double pico2,double tempo2){
P2a_f=pico2;
T2a_f=tempo2;
cont2pd=0;
if (P2(P2a_f)&&T2(T2a_f)){
cont2_ref8=1;
strcpy(mens8,"Pico do acionamento do motor (F-A)");
potencia=P2a_f; instante_ref8=T2a_f; }

else if (PM(P2a_f)&&TM(T2a_f)){
cont2=2;
strcpy(mens9,"Pico do Martelo");
potencia=P2a_f; instante=T2a_f; }

else if (PU(P2a_f)&&TU(T2a_f)){
cont2=3;
strcpy(mens10,"Pico de ligacao (unseating)");
potencia=P2a_f; instante=T2a_f; }

else {
cont2=4; cont2pd++;
strcpy(mens11,"Pico desconhecido (F-A)");
potencia=P2a_f; instante=T2a_f; }
}
};

class Vale2SE{
double V2a_f, VT2a_f;
public:
double potencia,instante,instante_ref11;
char mens12[40], mens13[32];

```

```

int contv2,contv2_ref11,contvd2;
void valea_f(double vale2,double temp2){
V2a_f=vale2;
VT2a_f=temp2;
contvd2=0;
if (V2(V2a_f)&&TV2(VT2a_f)){
contv2_ref11=1;
strcpy(mens12,"Pico (vale) do final de operacao (F-A)");
potencia=V2a_f; instante_ref11=VT2a_f; }

else {
contv2=2;contvd2++;
strcpy(mens13,"Pico (vale) desconhecido (F-A)");
potencia=V2a_f; instante=VT2a_f; }
}
};

Pico2SE peek2;
Vale2SE valley2;

class Tempo_OP2{
double st2;
public:
double intervalo2;
int cop2;
char mens15[40];
void stroke2(){
if ((peek2.cont2_ref8==1)&&(valley2.contv2_ref11==1))
{
st2=valley2.instante_ref11-peek2.instante_ref8;
if (Top(st2)){
cop2=1;
strcpy(mens15,"Tempo de operacao da valvula (F-A)");
intervalo2=st2; } } }
};

```

```
class CSistEspecialistaApp : public CWinApp
{
public:
    CSistEspecialistaApp();

// Overrides
// ClassWizard generated virtual function overrides
//{{AFX_VIRTUAL(CSistEspecialistaApp)
public:
    virtual BOOL InitInstance();
//}}AFX_VIRTUAL

afx_msg void OnAppAbout();
DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

/////////////////////////////////////////////////////////////////

#endif //
!defined(AFX_SISTESPECIALISTA_H__DF7E7BAE_4D05_4C12_BD37_AF60F9
4F3714__INCLUDED_)
```