

Desenvolvimento de Sistema Especialista para Tratamento de Alarmes da Operação em Sistemas Elétricos utilizando Inteligência Artificial Distribuída

E.F. Fonseca (CTEEP), G. Lambert-Torres, M.P. Coutinho e C.H.V. de Moraes (FUPAI)

Resumo- Este artigo apresenta os desenvolvimentos realizados no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da CTEEP sob o mesmo título deste artigo. Este projeto tem o objetivo de desenvolver processador inteligente de alarmes, com a função de substituir um grande número de alarmes com algumas mensagens diagnósticas que descrevem os eventos que geraram os alarmes. Este sistema deve analisar rapidamente os alarmes e apresentar em um pequeno número de mensagens concisas ao operador o estado da rede elétrica e qual foi a causa do distúrbio. Se solicitado pelo despachante, um retrato mais completo do distúrbio deve ser fornecido, incluindo as circunstâncias que causaram os alarmes e os desligamentos mais importantes.

Palavras-Chave - Processamento de Alarmes, Sistemas Inteligentes, Operação de Sistemas, Reconhecimento de Padrões, Estrutura Multi-Agentes.

I. INTRODUÇÃO

Um dos problemas que ocorrem durante os distúrbios em um sistema elétrico de potência é o grande número de alarmes que chegam ao centro de operação, tornando praticamente impossível a verificação e validação de todos. Por outro lado, o número de grandezas observadas vem aumentando devido à redução dos custos dos sistemas de medição e de telecomunicação. Este aumento do número de pontos medidos faz com que a missão do operador do sistema se torne cada vez mais difícil, aumentando a possibilidade de intervenções inadequadas ou mesmo errôneas.

A filosofia básica deste projeto é de classificar os alarmes segundo sua prioridade na operação do sistema elétrico. Como é comum, cada elemento do sistema pode gerar diversos alarmes, porém somente o mais importante é informado ao operador. O sistema desenvolvido diminui o número de informações redundantes que ocorrem durante os distúrbios.

Por exemplo, uma linha de transmissão pode encontrar-se desenergizada ou desconectada. Caso já exista a informação que a linha está desenergizada e chegue a memória de trabalho que ela foi desconectada; somente a informação deve constar de uma listagem para o operador pois se ela está desconectada forçosamente estará desenergizada. Se, em seguida, se acha a informação de que o disjuntor e alimentador da linha acima estão em aberto, a informação sobre o estado da linha pode ser eliminado.

Edison Fernando Fonseca trabalha na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista - CTEEP (e-mail: efonseca@ctEEP.com.br). Germano Lambert-Torres, Maurílio Pereira Coutinho e Carlos Henrique Valério de Moraes são afiliados à Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (e-mail: fupai@fupai.com.br).

II. ESTRUTURA MULTI-AGENTE UTILIZADA

Este projeto utilizou a técnica de multi-agentes inteligentes. A Inteligência Artificial Distribuída (IAD) introduz à Inteligência Artificial tradicional o conceito de sociedade, e, a partir dele, o conceito de multi-agentes. Um Agente Inteligente é um programa com núcleo inteligente que se integra a uma sociedade modular, seguindo premissas padronizadas de comunicação e tendo função específica dentro dessa sociedade.

O agente pode ser visto como uma estrutura que percebe o ambiente através de sensores e atua nesse ambiente através de atuadores. O agente consiste de um hardware ou um sistema computacional baseado em software que possua as seguintes propriedades: autonomia, habilidade social, reatividade e iniciativa própria.

Um agente baseado em conhecimento é aquele que pode conhecer o seu mundo e raciocinar sobre seus possíveis cursos de ação. Pode aceitar novas tarefas e metas, adquirir e atualizar conhecimento baseado nas mudanças do ambiente e se adaptar a essas mudanças. Esse agente precisa ter noções sobre o estado corrente do mundo, saber como inferir informações não visíveis do mundo a sua percepção, entender como o mundo se modifica com o correr do tempo, o que ele quer desenvolver e que tipo de ação tomar em circunstâncias variadas. Um agente baseado em conhecimento tem como núcleo uma Base de Conhecimento, que é um conjunto de representações de fatos sobre o mundo. Cada representação é chamada de sentença. As sentenças são expressas na chamada linguagem de representação de conhecimento.

A técnica de modelagem funcional multi-agentes inteligentes tem se mostrada apropriada para adquirir conhecimentos operativos. Como a aquisição de conhecimento está baseada no modelo multi-agentes inteligentes, obter um bom modelo é fundamental.

O domínio de planejamento baseado em multi-agentes inteligentes pode ser entendido facilmente mesmo assim é necessário o desenvolvimento de operadores específicos de acordo com a aplicação. As modificações necessárias para aplicação em sistemas elétricos é interna às estruturas, no arranjo das funções multi-agentes inteligentes, facilitando a manutenção e oferecendo flexibilidade ao sistema de apoio à decisão.

O programa computacional foi concebido, estruturado e implementado de uma forma modular, garantindo maior flexibilidade quanto à expansão e implementação de modificações operacionais, além de construir uma base de

conhecimento que possui toda filosofia de processamento de alarmes.

III. SISTEMA DCRANGER

O subsistema EXC, parte do Ranger Applications Server (RAS), Man/Machine Console (MMC) e Ranger Data Acquisition Server (RDAS), fornece um conjunto de serviços para a interface comum entre outros subsistemas, sistema operacional e hardware/firmware associado. Este sistema permite o controle fluxo e dados entre as RAS, MMC e unidades RDAS.

Dentre suas principais funções podemos enumerar: (a) processamento do relógio e funções de temporização; (b) escalonamento de tarefas; (c) serviços de console de E/S e MMC, tais como Loggers.

O subsistema de Logging fornece uma interface centralizado o registro de mensagens e relatório de logging. A definição do Relatório é o processo de identificar a informação necessária para produzir a saída adequada. Esta informação consiste do número de display, informações coletadas e o tempo. Esta função é executada usando estruturas de dados utilizadas durante a geração da base de dados.

O subsistema de logging realiza a geração do relatório tomando a definição do relatório, organizando os dados coletados e colocando os resultados nas filas de logging a ser impressos pelos loggers específicos. Os relatórios podem ser iniciados por requisição do operador, por programas do RAS, ou podem ser iniciados automaticamente numa base periódica de tempo. Mensagens consistem de alarmes e eventos do operador. Estas mensagens são enfileiradas imediatamente após sua recepção.

O subsistema de alarme (ALL) é distribuído pelo RAS e MMC. Este subsistema realiza as seguintes funções: (a) recebe alarmes não processados das unidades de RDASs, MMCs e RAS que necessitam emitir um alarme; (b) processa buffers de memória ou disco contendo alarmes não processados; (c) mantém diretórios de alarmes paralelos nos RAS e MMCs; (d) anuncia alarmes; (e) fornece vários tipos de listas de alarmes; (f) fornece vários tipos de condições anormais; entre outros. A forma geral de um alarme é:

DATE TIME CAT SUBSTATION POINT NAME STATE TEXT

Estes campos são descritos como se seguem:
DATE: Dia/Mês/Ano do evento. Este campo é opcional
TIME: Hora:Minuto:Segundo do evento
CAT: Categoria do Alarme. Designado por 3 caracteres. Esta designação é utilizada quando se deseja indicar categoria do alarme como parte da mensagem do alarme. Este campo é opcional.
SUBSTATION: Nome da Subestação. Cada ponto tem um nome de subestação
POINT NAME: Cada ponto tem um nome que quando combinado com o nome da subestação produz um identificador único.
STATE: Estado atual do ponto. Por exemplo, Open/Close ou Hi Limit/Low
TEXT: Descrição da informação. O campo texto é um campo de formatolivre que é definido para o determinado

alarme. Este campo pode conter informação variável. O dado variável pode ser fornecido para o processador de alarmes como um texto ASCII ou uma informação numérica (inteiro ou ponto-flutuante em precisão simples).

Alarmes são produzidos por usuários nos RDASs, MMCs, RAS Backup e RAS primário. Um alarme é gerado quando uma ou mais das seguintes situações ocorrem:

- status point no RTDB mudou de estado sem autorização;
- ponto analógico no RTDB excedeu um dos seis conjuntos de limites inferiores e superiores;
- ponto analógico excedeu limite de taxa de mudança;
- um dispositivo falhou na operação como comandado;
- sistema monitorado falhou;
- dispositivo monitorado excedeu o desempenho threshold;
- uma requisição de alarme é gerada por um programa de aplicação.

Mensagens contendo um ou mais alarmes não processados são gerados no RDASs e MMCs e recebidos no RAS através da tarefa receptora de mensagens do processador front-end (SAFMRC). A Figura 1 apresenta o processamento de alarmes do RAS.

IV. O SISTEMA DESENVOLVIDO

Este programa utiliza o Arquivo de Alarmes Diários do Sistema DCRanger para realizar as seguintes tarefas:

- a) Montar um arquivo a partir do log original eliminando todas as informações não essenciais para o processo de Monitoramento e Filtragem de Alarmes;
- b) Definir um evento para o disparo do processo de coleta das mensagens de alarme;
- c) Escolher um período de tempo para coleta das mensagens de alarme antes da ocorrência do evento pré-definido, T1 (pré-evento), e depois da ocorrência do evento pré-definido, T2 (pós-evento);
- d) Definir faixas operacionais para as grandezas de Tensão, Corrente e Potência para compor os critérios de classificação;
- e) Definir o grupo de critérios de classificação das mensagens anteriormente coletadas dentro de faixas operacionais pré-definidas pelo operador;
- f) Armazenar em um arquivo as mensagens classificadas segundo os critérios estabelecidos.

IV.1 Metodologia

O programa deverá classificar um conjunto de mensagens de alarme que foram coletadas a partir da especificação de um evento padrão e dentro de uma janela de tempo previamente especificada.

A classificação é obtida usando-se um conjunto de faixas operacionais e regras estipuladas diretamente pelo operador. Isto garantirá a observação da ocorrência de um determinado evento e perturbação causada em outros parâmetros do sistema em toda a extensão do arquivo de alarme original.

A janela de tempo garantirá que serão coletadas somente mensagens localizadas nas proximidades do evento selecionado, desprezando-se as demais. Isto tem o efeito de reduzir o número de mensagens apresentadas ao operador.

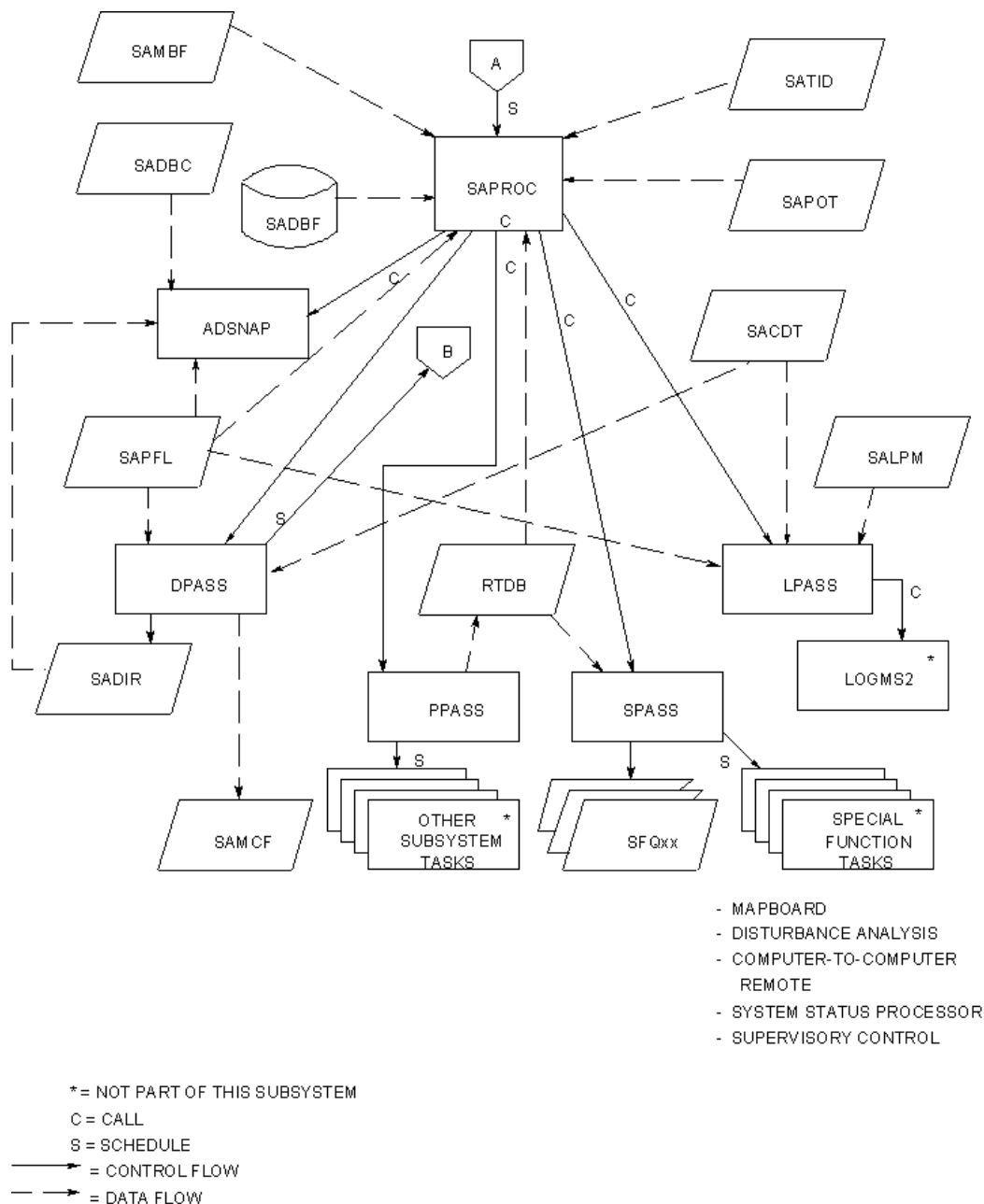


Figura 1 - Processamento de Alarmes do RAS

IV.2 Algoritmo

O algoritmo utilizado segue os passos a seguir:

- a) Leitura da mensagem de alarme a ser utilizada como evento de disparo para a coleta de mensagens de alarme;
- b) Leitura dos intervalos de tempo pré-evento e pós-evento;
- c) Leitura das faixas operacionais para as grandezas de corrente, tensão e potência;
- d) Leitura dos critérios ou regras para classificação das mensagens a serem coletadas;
- e) Leitura do arquivo de log original e eliminação das mensagens relativas a relatório de impressão e outras; Esta etapa gera um novo arquivo de log, substancialmente reduzido, a ser utilizado pelos próximos passos;
- f) Ler novo arquivo de log até encontrar o evento definido no passo (a);
- g) Coletar as mensagens localizadas no intervalo pré-evento;
- h) Coletar as mensagens localizadas no intervalo pós-evento;
- i) Repetir os passos (f), (g) e (h) até encontrar final de arquivo e montar o novo arquivo de log somente com as mensagens coletadas;
- j) Realizar processamento para classificar e selecionar somente as mensagens relativas a tensão, corrente e potência e que atendam aos critérios anteriormente estipulados (passo (i));
- k) Montar o novo arquivo de log somente com as mensagens selecionadas no passo (j).

IV.3 Especificação do Arquivo de Critérios

As informações contidas no “arquivo de critérios” têm por objetivo especificar as regras para classificação das mensagens de alarme coletadas. Este arquivo de dados de entrada é um arquivo tipo texto e possui a seguinte estrutura:

- Especificar mensagem de alarme padrão (Valor tipo caracter);
- Especificar intervalos de tempo pré-evento e pós-evento em minutos (Valores Inteiros).
- Especificar o número de faixas operacionais para a grandeza Tensão. O campo deve iniciar com a letra V seguida de um valor inteiro especificando o número de faixas;
- Especificar os valores limítrofes das faixas operacionais para tensão, um em cada linha (valores reais);
- Especificar o número de faixas operacionais para a grandeza Corrente. O campo deve iniciar com a letra I seguida de um valor inteiro especificando o número de faixas;
- Especificar os valores limítrofes das faixas operacionais para corrente, um em cada linha (valores reais);
- Especificar o número de faixas operacionais para a grandeza Potência; O campo deve iniciar com a letra P seguida de um valor inteiro especificando o número de faixas;
- Especificar os valores limítrofes das faixas operacionais para potência, um em cada linha (valores reais);
- Especificar os critérios de seleção iniciando com as

letras V (Tensão), I (Corrente) ou P (Potência) seguido do número da faixa operacional. A Grandeza Corrente usa I0 para especificar valores fora de faixa; Estes critérios devem ser especificados um em cada linha;

- O arquivo de dados deve finalizar com o símbolo “FIM” ou “fim”.

Os critérios especificados devem selecionar mensagens de alarmes das seguintes grandezas: tensão, corrente e potência. Em cada intervalo de tempo é feito o processamento de classificação das mensagens nas faixas operacionais especificadas pelo operador. O operador poderá especificar até 5 faixas operacionais para cada grandeza. Estes critérios são definidos no arquivo Critério.txt localizado no mesmo diretório do arquivo executável. No máximo poderão ser especificados 5 faixas operacionais por grandeza e 20 critérios de seleção.

IV.4 Especificação da Janela de Tempo

Os valores dos 2 intervalos de tempo, T1 e T2 (dados em minutos), devem ser especificados conforme o diagrama apresentado na Figura 2.

Os dados abaixo representam T1 e T2 para os valores 10 minutos e 15 minutos, respectivamente, e a Figura 3 mostra sua representação na forma de um diagrama.

Janela de Tempo Selecionada:
Início da Janela de Tempo=05:56:29
Horario Selecionado =06:06:29
Final da Janela de Tempo=06:21:29

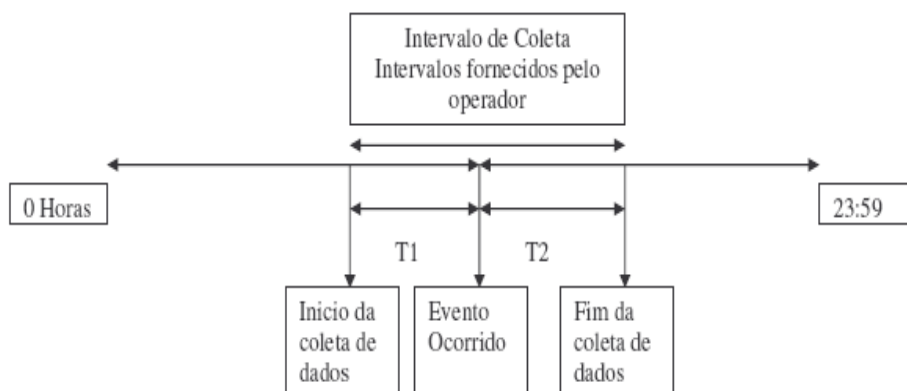


Figura 2 - Diagrama dos intervalos de tempo.

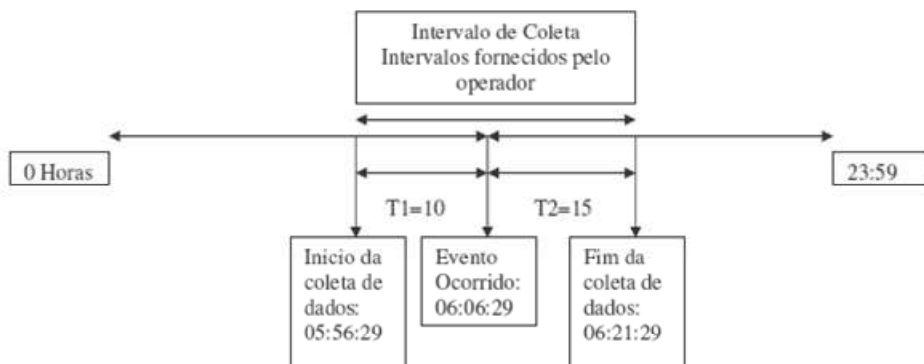


Figura 3 - Diagrama dos Intervalos de tempo para T1=10 e T2=15

IV.5 Exemplo de Arquivo de Critérios

Deseja-se construir um arquivo de critérios que defina para cada grandeza de tensão, corrente e potência, 3 faixas operacionais. Os valores limítrofes para cada faixa são os seguintes:

Tensão: V1=0.95 e V2=1.05
Corrente: I1=10.0 e I2=200.0
Potência: P1=10.0 e P2=200.0

Os critérios para seleção e classificação das mensagens de alarme, usando as faixas definidas anteriormente, são os seguintes:

Grupo 1: Mensagens de alarme de corrente que estão fora da faixa de valores, isto é, que foram indicadas no arquivo principal como \$\$\$\$\$\$. \$: I0.

Grupo 2: Mensagens de alarme de tensão da Faixa 1: V1

Grupo 3: Mensagens de alarme de potência da Faixa 1: P1

Grupo 4: Mensagens de alarme de corrente da Faixa 1: I1

Grupo 5: Mensagens de alarme de tensão da Faixa 3: V3

Grupo 6: Mensagens de alarme de potência da Faixa 3: P3

A mensagem utilizada com evento disparador da coleta de dados do arquivo de log é a seguinte:

```
ISOLT440 ILS1 14.4GRO-8 AMP Limite físico baixo valor=-  
2886.75AMPS
```

Os intervalos de tempo T1 e T2 para definição da janela de tempo de coleta de dados são os seguintes: T1= 60 minutos e T2=60 minutos. O arquivo de critérios resultante teria a composição apresentada nas Figuras 4 e 5.

V. EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

V.1 Exemplo 1: Arquivo de LOG 1050828.dat

Seja o arquivo de critério mostrado na Figura 4.

```
MMIRIM2 MOM2 13.8BA-1D KV Limite físico alto valor= 14.43KV  
10 20  
V 3  
0.95  
1.05  
I 2  
200.  
P 4  
10.  
50.  
200.  
I 0  
V 1  
P 1  
I 2  
V 3  
P 4  
FIM
```

Figura 4 – Exemplo de Arquivo de Critérios (I)

Utilizando o arquivo de critério acima, no arquivo de LOG 1050828.dat foram selecionadas as seguintes janelas de tempo:

```
Janela de Tempo Seleccionada:  
Inicio da Janela de Tempo=00:17:05  
Horario Seleccionado =00:27:05  
Final da Janela de Tempo=00:47:05  
Janela de Tempo Seleccionada:
```

```
Inicio da Janela de Tempo=02:05:58  
Horario Seleccionado =02:15:58  
Final da Janela de Tempo=02:35:58  
Janela de Tempo Seleccionada:  
Inicio da Janela de Tempo=06:30:43  
Horario Seleccionado =06:40:43  
Final da Janela de Tempo=07:00:43  
Janela de Tempo Seleccionada:  
Inicio da Janela de Tempo=09:43:23  
Horario Seleccionado =09:53:23  
Final da Janela de Tempo=10:13:23  
Janela de Tempo Seleccionada:  
Inicio da Janela de Tempo=23:29:21  
Horario Seleccionado =23:39:21  
Final da Janela de Tempo=23:59:21
```

Na primeira passagem no arquivo, o programa já efetua uma primeira depuração, separando os alarmes realmente importantes. O número de registros do arquivo original é de 181896 e o número de registros selecionados foi de 13730. Assim a porcentagem de redução do arquivo original foi inicialmente de 92,45%.

Em seguida, o programa efetuou uma classificação segundo a grandeza do alarme obtendo os seguintes resultados:

```
Número de mensagens com grandeza KV = 332  
Número de mensagens com grandeza MW = 58  
Número de mensagens com grandeza MVA = 3  
Número de mensagens com grandeza MVAR = 58  
Número de mensagens com grandeza AMPS = 2911  
Número de mensagens com grandeza TAP = 26  
Número de mensagens com grandeza HZ = 0  
Outras grandezas = 0
```

Chegando-se assim a um número total de mensagens selecionadas de 3388. Iniciando-se o processo de seleção de mensagens obteve-se os seguintes resultados:

```
Mensagens de Alarme de Tensão Seleccionadas = 332  
Mensagens de Alarme de Corrente Seleccionadas= 2911  
Mensagens de Alarme de Potência Seleccionadas= 58  
Número Total de Mensagens Seleccionadas = 3301
```

Em seguida, são ordenadas as mensagens de tensão, de corrente e de potência. Resumindo em termos de faixa para cada grandeza:

a) Resumo - Tensão
Mensagens na Faixa 1 = 14
Mensagens na Faixa 2 = 281
Mensagens na Faixa 3 = 37

b) Resumo - Corrente
Mensagens na Faixa 1 = 2065
Mensagens na Faixa 2 = 480

c) Resumo - Potência
Mensagens na Faixa 1 = 36
Mensagens na Faixa 2 = 5
Mensagens na Faixa 3 = 0
Mensagens na Faixa 4 = 17

Finalmente, a classificação segundo critérios definidos na Figura 4, obtém-se:

```
Critério: Corrente Fora de Faixa= 366  
Critério: Tensão - Faixa 1= 14  
Critério: Potência - Faixa 1 = 36  
Critério: Corrente - Faixa 2 = 480
```

Critério: Tensão - Faixa 3= 37
Critério: Potência - Faixa 4= 17

Finalmente, pode-se verificar que o número de mensagens classificadas foram de 950, enquanto o número no arquivo de LOG original era de 181896; portanto uma redução de 0,52%.

V.2 Exemplo 2: Arquivo de LOG 1050819.dat

Seja o arquivo de critério mostrado na Figura 5. Utilizando o arquivo de critério acima, no arquivo de LOG 1050828.dat foram selecionadas 11 janelas de tempo.

Na primeira passagem no arquivo, o programa já efetua uma primeira depuração, separando os alarmes realmente importantes. O número de registros do arquivo original é de 99312 e o número de registros selecionados foi de 15372. Assim a porcentagem de redução do arquivo original foi inicialmente de 84,52%.

MOG-I	13.8 BR-2 KV	Limite fisico baixo valor=	13.98KV
10	15		
V 3			
0.95			
1.05			
12			
200.			
P 4			
10.			
50.			
200.			
10			
V1			
P1			
I2			
V3			
P4			
FIM			

Figura 5 – Exemplo de Arquivo de Critérios (II)

Em seguida, o programa efetuou uma classificação segundo a grandeza do alarme obtendo os seguintes resultados:

Número de mensagens com grandeza KV = 1445
Número de mensagens com grandeza MW = 74
Número de mensagens com grandeza MVA = 7
Número de mensagens com grandeza MVAR = 75
Número de mensagens com grandeza AMPS = 1088
Número de mensagens com grandeza TAP = 7
Número de mensagens com grandeza HZ = 0
Outras grandezas = 13

Chegando-se assim a um número total de mensagens selecionadas de 2709. Iniciando-se o processo de seleção de mensagens obteve-se os seguintes resultados:

Mensagens de Alarme de Tensão Selecionadas = 1445
Mensagens de Alarme de Corrente Selecionadas = 1088
Mensagens de Alarme de Potência Selecionadas = 74
Número Total de Mensagens Selecionadas = 2607

Em seguida, são ordenadas as mensagens de tensão, de corrente e de potência. Resumindo em termos de faixa para cada grandeza:

a) Resumo - Tensão
Mensagens na Faixa 1 = 31
Mensagens na Faixa 2 = 1075

Mensagens na Faixa 3 = 339

b) Resumo - Corrente
Mensagens na Faixa 1 = 1067
Mensagens na Faixa 2 = 15

c) Resumo - Potência
Mensagens na Faixa 1 = 45
Mensagens na Faixa 2 = 0
Mensagens na Faixa 3 = 8
Mensagens na Faixa 4 = 21

Finalmente, a classificação segundo critérios definidos na Figura 5, obtém-se:

Critério: Corrente Fora de Faixa = 6
Critério: Tensão - Faixa 1 = 31
Critério: Potência - Faixa 1 = 45
Critério: Corrente - Faixa 2 = 15
Critério: Tensão - Faixa 3 = 339
Critério: Potência - Faixa 4 = 21

Finalmente, pode-se verificar que o número de mensagens classificadas foram de 457, enquanto o número no arquivo de LOG original era de 99312; portanto uma redução de 0,46%.

VI. CONCLUSÕES

Este artigo uma ferramenta computacional, baseada nas técnicas de multi-agentes inteligentes, que executa diversas análises independentes, produzindo uma ordenação lógica dos alarmes mais importantes e criando diversos níveis de alarmes e seus processamentos. Uma exigência básica de um sistema de processamento de alarmes é de não perguntar o operador para nenhum tipo de informação. O sistema de aquisição de dados deve ser manipulado em conjunto com rotinas numéricas e técnicas de sistemas inteligentes para processar os dados existentes e gerar as respostas necessárias.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A.R. Aoki, A.A.A. Esmín & G. Lambert Torres - "Multi-Agent System for Distribution System Operation", Advances in Logic, Artificial Intelligence and Robotics, por J.M. Abe e J.I. Silva Filho, IOS Press, ISBN 1-58603-292-5, pp.38-45, 2002.
- [2] G. Lambert Torres, et alli. - Advances in Intelligent Systems and Robotics, IOS Press, 217p, ISBN 1 58603 386-7, Amsterdam, Holanda, 2003.
- [3] A.S. Debs - "Modern Power Systems Control and Operation: A Study of Real-Time Operation of Power Utility Control Centers", Decision Systems International, 1996.
- [4] Z. Vale - "Knowledge Based Techniques and Applications in Power Systems Control Centers" in Intelligent Systems - Technology and Applications, vol. VI, pp. VI-63 to VI-112, Cornelius T. Leondes (Editor), CRC Press, 2003.
- [5] ALARM research group, "Monitoring and Alarm Interpretation in Industrial Environments", AI Communications, Vol.11, pp. 139-173, IOS Press, 1998.