

Softwares Inteligentes de Análise dos Equipamentos Monitorados de Subestações de Energia Elétrica

Humberto A. P. Silva - IEEUSP, José A B Grimoni - EPUSP, Eduardo Pellini - EPUSP

E-mail: aquiles@pea.usp.br

Palavras-chave – Monitoramento, Subestações, Transformadores, Disjuntores, Sistema Inteligentes.

Resumo - Este artigo apresenta um conjunto de Softwares Inteligentes de Análise para Equipamentos de Subestações de Energia Elétrica com Sistemas de Monitoramento, ambos desenvolvidos no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE-USP). Este projeto foi realizado em conjunto com 6 concessionárias do Estado de São Paulo nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Os softwares de diagnóstico fazem parte integrante de um sistema de supervisão e monitoramento que atua de forma preditiva nos equipamentos monitorados, com o objetivo de evitar que defeitos incipientes venham a retirar os equipamentos de funcionamento, auxiliando o pessoal de operação e manutenção das subestações nas tomadas de decisões com base na análise nas grandezas relevantes monitoradas, observando suas evoluções e fazendo referência a dados históricos de ocorrência de tais equipamentos.

1. INTRODUÇÃO

A dificuldade de encontrar sistemas de monitoramento que atendam a características específicas de antigas instalações e uma vasta variedade de equipamentos levou ao desenvolvimento do projeto “Sistemas de Monitoramento de Transformadores e de Disjuntores de Potência” pelo IEE-USP e um conjunto de concessionárias do Estado de São Paulo.

O principal objetivo deste projeto foi criar um sistema de monitoramento flexível que permita:

- Monitorar de maneira contínua o estado físico dos equipamentos;
- Monitorar o desgaste de cada equipamento e seu envelhecimento;
- Disparar alertas de condições operacionais perigosas;
- Detectar antecipadamente possíveis falhas e defeitos que podem levar a situações de risco do equipamento;
- Dar assistência ao usuário na tomada de decisão na operação otimizada e no planejamento da manutenção.

Um sistema especial de aquisição de dados foi desenvolvido para atingir este objetivo, permitindo medições em tempo real de várias grandezas do transformador e disjuntor. Todas as grandezas coletadas são armazenadas em um banco de dados local no

computador da subestação, esperando para ser processadas mais tarde por um conjunto de programas. Estes programas processam todos os dados coletados, calculando tendências e sinalizando ao usuário sobre condições de perigo que podem ser atingidas em um futuro próximo.

Este trabalho apresenta três programas desenvolvidos para o projeto de monitoramento. O primeiro, chamado ModCalc, opera diretamente com os dados coletados do transformador e do disjuntor da subestação, processando dados dos sensores virtuais e tendências. Estes dados são analisados em um conjunto de regras, gerando alertas quando uma situação crítica ou anormal é atingida. O programa foi desenvolvido utilizando técnicas de agentes cooperativos, permitindo uma melhor distribuição do processamento e do gerenciamento do sistema.

O segundo módulo chamado SESPEC, é a Interface-Homem-Máquina (IHM) de todos os alertas gerados pelos módulos de cálculo. O programa pode indicar o envelhecimento dos transformadores e de partes dos disjuntores (comutador de taps, bobinas, isolamento das bobinas, óleo isolante, desgaste dos contatos, estado da pressão, etc) mostrando o nível atual e prognósticos futuros de algumas destas variáveis.

Todos os alertas gerados pelo sistema podem ser organizados por equipamento e por subestação. O número de alertas por equipamento, e seu grau de intensidade, permitem estabelecer mecanismos para estabelecer a prioridade na ordem de intervenção nos equipamentos.

O terceiro programa é chamado GASCRO e possui uma máquina de inferência a qual utiliza uma modelagem difusa para analisar dados de cromatografia do óleo isolante do transformador. O programa tem a habilidade de detectar pequenas mudanças no processo de degradação do equipamento. A detecção depende da periodicidade da análise cromatográfica. A modelagem difusa permite detectar mudanças em estágios iniciais, antes que se alcancem condições perigosas que podem levar o equipamento a sérios danos.

2. SISTEMA DE MONITORAMENTO

A arquitetura do sistema de monitoramento em cada transformador e disjuntor tem uma vasta gama de sensores, unidades de aquisição de dados versáteis, o computador da subestação e o computador do escritório central. O sistema está representado na figura 1.

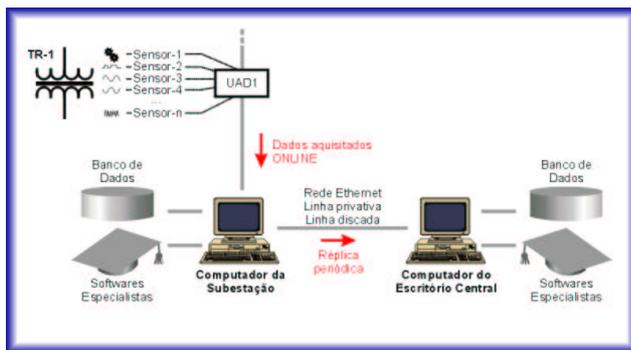


Figura. 1. Arquitetura do Sistema de Monitoramento.

No computador da subestação fica ativado continuamente um sistema supervisor, especialmente desenvolvido pelo IEE-USP, que gerencia todos os dados coletados das unidades de aquisição de dados (DAU's) dos transformadores e dos disjuntores, armazenando-os no banco de dados. Este sistema supervisor também processa os dados dos sensores virtuais e determina a média de todos os valores em períodos de 15 minutos, 1 dia, 1 semana e 1 mês.

Os módulos de cálculo (ModCalc) usam os dados armazenados no banco de dados da subestação e processam as tarefas de monitoramento. Estas tarefas podem ser distribuídas e executadas entre vários computadores dentro da subestação e do escritório central. Da mesma maneira, a interface chamada SESPEC e o programa GASCRO podem também ser executados para mostrar os alertas do sistema de monitoramento e os resultados aos usuários.

3. DADOS MONITORADOS

Os dados monitorados pelas unidades de aquisição de dados (DAU) dos transformadores e dos disjuntores são os seguintes:

- Dados analógicos lentos (taxa de amostragem de uma amostra por minuto): tensões de fase eficazes. Correntes de fase eficazes, potências ativa, reativa e aparente, temperaturas (bobinas primárias e secundárias, óleo, ambiente e tanque), concentração de gases dissolvidos no óleo e o nível do óleo;
- Dados analógicos rápidos (amostragem de 5KHz): forma de onda armazenada da corrente do motor do comutador de taps, forma de onda da pressão nos pólos durante eventos de abertura e fechamento do disjuntor, sensor de trajeto do disjuntor;
- Estados de sinais digitais (amostragem disparada pelos eventos digitais): posição do comutador de taps do transformador, ativação ou desativação do sistema de refrigeração forçada, relés, alarmes, contatos auxiliares do disjuntor.

Nem todos os dados que alimentam o sistema especialista vêm das unidades de aquisição (DAU's). Alguns deles são diretamente carregados do banco de dados do computador da subestação, como os dados resultantes da cromatografia do óleo. Particularmente, os dados da cromatografia contém a data da coleta da amostra do óleo

e a concentração (em parte por milhão – ppm) dos seguintes gases: H₂, O₂, N₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄ e C₂H₆. Estas informações dos relatórios de laboratórios são transferidas manualmente para os bancos corporativos e podem em seguida ser replicadas ao sistema de monitoramento para uso do GASCRO.

4. BANCO DE DADOS DA SUBESTAÇÃO

O banco de dados é processado em um servidor padrão Microsoft Windows NT 4.0 com a banco de dados padrão Microsoft SQL. Um banco de dados relacional foi especialmente desenvolvido pelo IEE-USP para armazenar todos os dados coletados e processados, como também, a informação processada pelos módulos especialistas (alertas, alarmes, prognósticos, tendências, diagnósticos, comentários do usuário, etc), resultando em um banco de conhecimento que armazena toda a experiência que foi acumulada pelo sistema de monitoramento ao longo dos anos.

Toda a informação necessária para a operação do sistema é requisitada ao banco de dados SQL. Este banco de dados é replicado periodicamente para o computador central do escritório, desta maneira, os alertas e decisões podem ser observados nos dois locais.

5. MODCALC

5.1. Descrição

O programa ModCalc é executado continuamente no computador da subestação e é o núcleo central do sistema de tempo real do monitoramento. O programa foi desenvolvido com um modelo de multi-agentes e é responsável pela análise de todos os dados que vem das unidades de aquisição. O programa periodicamente requisita dados das unidades de aquisição para tratá-los e em seguida alimentar o banco de dados principal. Quando novas informações chegam ao banco de dados da subestação, eles são imediatamente processados. Todos os resultados deste processamento (cálculos, extração de parâmetros, análises de tendência, alertas e prognósticos) são armazenados no banco de dados. O programa não gera relatórios automáticos para o usuário. A IHM do programa SESPEC é a responsável por mostrar os resultados das análises para o usuário.

5.2. Objetivos

O objetivo principal do programa ModCalc é analisar cada variável medida dos equipamentos monitorados[4]. Esta análise possui três métodos incorporados:

- Determinação do nível atual da variável: classificando o nível atual de acordo com uma faixa específica de valores (muito alta, alta, normal, baixa e muito baixa). Esta operação é parte de um conjunto de regras com níveis de configuração para cada variável de cada equipamento;
- Análise de tendência de cada variável: esta operação utiliza uma regressão linear para cada janela de análise de cada variável. Cada variável medida tem

uma constante de tempo específica e seu comportamento pode variar com o período do dia, o dia da semana ou da estação, entre outros fatores. Obtendo-se a taxa de crescimento a uma determinada base de tempo, é esperado um determinado comportamento para cada variável monitorada.

- Previsões para cada variável: de acordo com as tendências determina-se o tempo em que ela cruzará os níveis operacionais de limites críticos.

Estes métodos foram implementados com um conjunto de regras “se-então” para cada tipo de medida. Quando o nível calculado das tendências cruza algum limite pré-definido, para cada variável de cada equipamento, o ModCalc cria um estado de alerta no banco de dados, indicando a condição de atenção para aquela unidade.

Para o caso de dados de sensores virtuais e medidas indiretas que não passam pelo supervisor, o ModCalc é quem realiza a tarefa de, além dos cálculos e extrações de parâmetros, armazenar estes dados processados no banco de dados. Um exemplo disto é a análise da forma de onda do motor do comutador de taps. Quando o comutador de taps opera, a unidade de aquisição de dados coleta os dados da forma de onda do motor e gera um arquivo de oscilografia. Este arquivo é processado mais tarde pelo ModCalc, que determina a corrente média, o valor de pico da corrente e o tempo de ativação do motor, armazenando tais valores no banco de dados para posteriores análises prognósticas a serem feitas pelo SESPEC.

Como expansibilidade é outra característica intrínseca do sistema desenvolvido, dado a tendência natural de aumento progressivo no número de equipamentos incorporados e seus inúmeros sensores, conseqüentemente teríamos um número considerável de medidas e tarefas executadas que comprometeriam a performance global. No programa ModCalc foi utilizada a metodologia de multi-agente para garantir expansibilidade sem queda de performance. Esta metodologia permite executar o programa em várias instâncias (agentes), em mais de um computador na rede, distribuindo o processamento de tarefas. Desta maneira, cada agente é responsável por parte de todo o sistema de procedimentos. Todos os resultados retornam para o banco de dados principal da subestação e fica disponibilizado para o outro programa, o SESPEC.

Este esquema é mostrado na figura 2, onde vários agentes do programa ModCalc são executados em vários computadores da rede.

Quando o sistema de monitoramento é configurado, cada tarefa de monitoramento recebe um número de identificação que corresponde as diversas instâncias do ModCalc para serem executadas.

Toda vez que um agente executa uma parte de ModCalc, ele requisita do banco de dados tarefas (usando um número de identificação), e após realizar seu trabalho ele devolve os resultados ao banco de dados. Depois deste procedimento o ModCalc executa uma avaliação no banco de dados, para verificar se houveram inconsistências na tarefa anterior, em seguida inicia o

próximo ciclo de processamento.

5.3. Análise de Dados

As tarefas de monitoramento dos agentes do ModCalc são mostradas a seguir. Para a análise do transformador, os agentes observam as seguintes variáveis:

- Diferença de temperatura entre o tanque do transformador e o tanque do comutador de taps (a análise de tendências é feita baseada nas médias diárias amostradas);
- Distorção na forma de onda do motor do comutador e taps (para estimar o esforço mecânico utilizado na comutação de um tap a outro);
- Nível do óleo no tanque do comutador de taps;
- Nível do óleo no tanque do transformador;
- A somatória da corrente de comutação para cada tap do comutador (para estimar o desgaste de cada derivação ou contato mecânico do comutador);
- Acompanhamento do funcionamento do mecanismo de chaveamento do tap e o número de trocas de posição de cada tap (número de operações);
- A concentração total de gases dissolvida no óleo;
- Medidas de umidade relativa do óleo do transformador;
- Determinação das temperaturas dos enrolamentos primários e secundários e do processo de envelhecimento do transformador;
- Análise do carregamento do transformador;
- Envelhecimento do transformador.

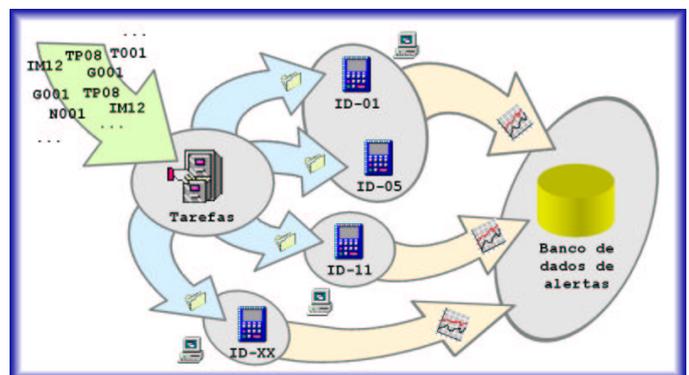


Figura.2 – Sistema Multi-agente baseado em diversas instâncias do programa que são executadas em várias plataformas e relacionados a um banco de dados principal.

Para a análise do disjuntor, os agentes observam as seguintes variáveis:

- Tempo de disparo, tempo de abertura e fechamento para cada fase do disjuntor;
- A forma de onda da corrente das bobinas de abertura e de fechamento;
- Tempo de extinção da corrente e o tempo de arco para cada fase em eventos de abertura;
- Queda de pressão do ar comprimido para cada pólo do disjuntor em eventos de abertura e de fechamento;

- Cálculo do desgaste dos pólos do disjuntor durante eventos de abertura de correntes de carga normais e de correntes de curtos-circuitos;
- Tempo e velocidade durante eventos de abertura e fechamento;

No caso de disjuntores, todos estes parâmetros são extraídos das formas de onda capturadas durante os eventos de abertura e de fechamento. Um programa especial, chamado OSCCALC, que é similar ao ModCalc porém dedicado as oscilografias do disjuntor, coleta estas medidas e as armazena no banco de dados.

5.4. Desempenho dos Programas

O programa ModCalc está integrado ao sistema de monitoramento e diagnóstico nas áreas piloto do projeto. Duas configurações estão sendo usadas com ótimos resultados de performance: uma instância de programa executada para cada equipamento da subestação; e um módulo único de cálculo para a subestação inteira (utilizando computadores mais rápidos que podem trabalhar com um número grande de tarefas).

6. SESPEC

O SESPEC é um outro programa que integra o Sistema de Monitoramento do IEE-USP.

6.1. Descrição

O programa SESPEC permite o acesso a todas as informações do Sistema de Monitoramento e seus programas de cálculo.

O programa é responsável pelo gerenciamento dos alertas gerados pelo sistema. Ele é capaz de mostrar ao usuário as condições que levam a determinada situação de alerta, as tendências das variáveis monitoradas e as advertências para as tomadas de decisão e ações de intervenção de manutenção nos equipamentos.

6.2. Objetivos

O programa tem uma interface que mostra os últimos alertas, com opções para classificá-los por equipamento, subestação ou prioridade relativa à importância estratégica de determinados equipamentos na rede.

Quando um novo alerta é disparado por algum agente de cálculo, o programa muda para estado de alerta informando o usuário do sistema sobre a condição do equipamento. Os usuários devem, por sua vez, reconhecer o alerta, para então acessar todas as informações que dizem respeito àquela unidade, e poder observar os detalhes do evento e o nível de alerta da situação. A figura 3 mostra a interface principal do SESPEC em uma situação de alerta.

Quando o usuário requisita ao sistema detalhes sobre a condição de alerta, todos os cálculos e conclusões feitas pelos agentes do ModCalc são mostradas através de gráficos e tabelas como indicado na figura 4.

Não é só o usuário que interage com o SESPEC. O programa pode também interagir com os usuários. O programa pode aconselhar o usuário a executar

procedimentos específicos para determinar precisamente as razões de um determinado tipo de comportamento. Por exemplo, quando tendências anormais de nível de concentração de gases são encontradas dentro do tanque do transformador, o SESPEC mostra que é necessário fazer uma análise cromatográfica do óleo para que o programa GASCRO possa fazer uma análise mais conclusiva e emitir os diagnósticos.

O SESPEC também permite exportar dados que permitem pós-processamentos dos alertas causados, por outros programas comerciais de análise.

Para evitar interrupções nas rotinas de monitoramento, o SESPEC vigia a atividade de cada módulo do sistema, como por exemplo: as unidades de aquisição de dados (DAUs), a operação do sistema supervisorio e a operação dos agentes do ModCalc.

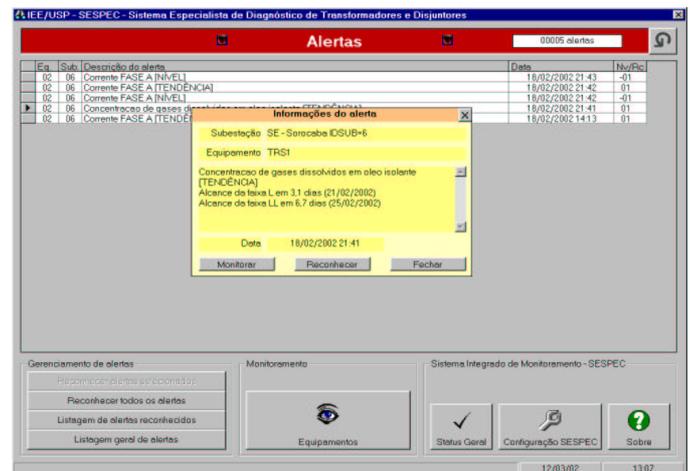


Figura 3 – Interface principal do SESPEC mostrando uma situação de alerta.

6.3. Desempenho do Programa

O SESPEC está integrado ao sistema de monitoramento e diagnóstico nas áreas piloto do projeto instalado nos computadores das subestações e escritórios centrais. Os usuários têm uma ampla visão das condições dos equipamentos através desta ferramenta valiosa na programação das rotinas de manutenção e no planejamento de operação do sistema.

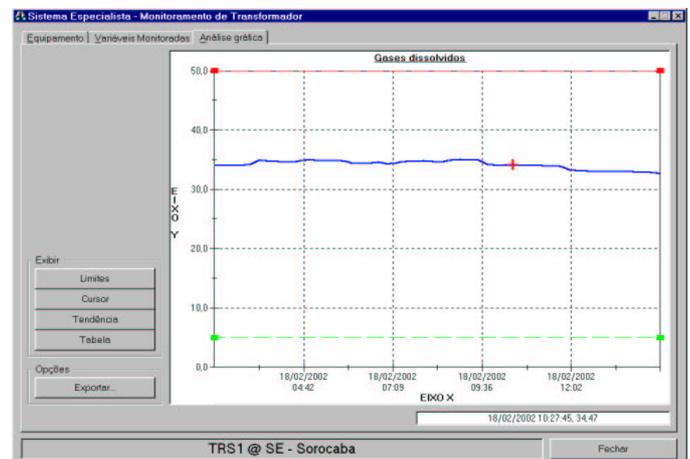


Figura 4 – Tela do SESPEC mostrando a evolução dos gases dissolvidos dentro do óleo isolante do transformador que levou a uma situação de

7. GASCRO

O terceiro programa é chamado de GASCRO, que é uma abreviação de “Gas Chromatography Analyser”.

7.1. Descrição

O programa GASCRO é uma aplicação do sistema de monitoramento desenvolvido pelo IEE-USP que não é executada em tempo real. Ela não roda continuamente como o ModCalc. O programa é utilizado após a análise do óleo de um transformador ou quando uma condição de alerta, vinda do sistema on-line, é atingida e indicada no SESPEC (especificamente do controle de tendências da variável monitorada que indica nível de concentração de gases dissolvidos dentro do tanque do transformador), que indicará necessidade de análise cromatográfica do óleo cujos resultados serão processados posteriormente no GASCRO.

O usuário poderá ainda executar o programa GASCRO nas seguintes condições:

- Quando o operador necessita fazer uma análise específica do transformador;
- Toda vez que um novo conjunto de dados de cromatografia estiver disponível no banco de dados da subestação.

O programa utiliza métodos padronizados de análise cromatográfica aliado a um modelo difuso de tratamento de dados que permite analisar os resultados da cromatografia feita em laboratórios e determinar desvios no processo normal de degradação do transformador, ainda que pequenos, devido exatamente a aplicação do modelo difuso no processamento. Caso uma situação crítica seja identificada, o usuário é alertado sobre a possível causa da falha incipiente dentro do transformador, dadas as situações encontrados na cromatografia dos gases, e que poderiam levar a problemas mais críticos com risco de sérios danos para o equipamento.

Para cada transformador são mostrados os resultados em um relatório completo, contendo gráficos do atual nível dos gases, das taxas de crescimento, suas tendências e comentários automaticamente gerados pela base de conhecimento do sistema especialista, bem como os diagnósticos e os futuros prognósticos.

7.2. Metas e Características

O programa foi concebido com a estrutura da forma como está apresentada na figura 5.

O programa trabalha usando dados do banco do sistema de monitoramento. Isto permite que o usuário escolha dois conjuntos de dados de cromatografia para determinar o diagnóstico, taxas de crescimento e relações entre os níveis dos gases, como mostrado na figura 6.

O programa de diagnóstico faz uso de métodos tradicionais nos algoritmos implementados [1,2]:

- Critério de diagnóstico da IEC/IEEE;
- Critério de diagnóstico de ROGERS;
- Critério de diagnóstico da LABORELEC;

- Critério de diagnóstico de PUGH

Estes algoritmos são determinísticos apontando para resultados específicos e não permitem ao usuário prever condições futuras. Entretanto, o objetivo do programa não é só apontar para a atual diagnóstico de degradação do equipamento, mas também, indicar situações de falhas incipientes.

Em função de fazer o programa capaz de detectar o desvio no processo de degradação, o algoritmo de diagnóstico implementado utilizou lógica difusa.

Para evitar descontinuidades no cálculo de tendências de crescimento dos gases devido a ações de regeneração do óleo, existe no GASCRO também um banco de fatos (ocorrências) que podem ser correlacionadas com o diagnóstico em andamento evitando inconsistências e possíveis interpretações errôneas. O processo de refinamento não é automaticamente feito pelo programa GASCRO, ele necessita de interação com o usuário para especificar quais fatos são relevantes e que deverão ser mostrados no relatório de diagnóstico.

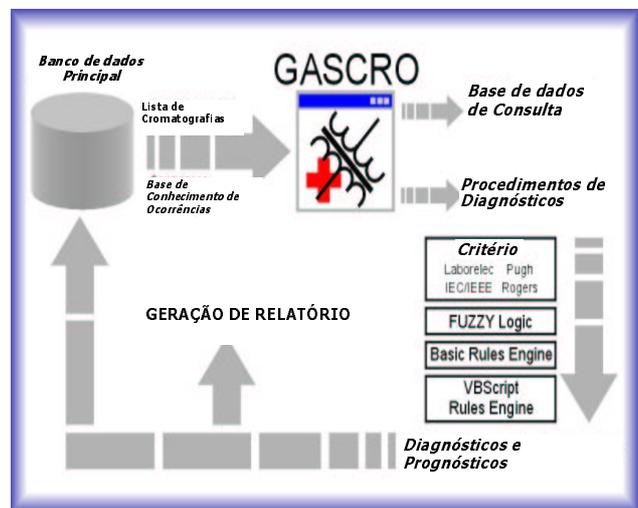


Figura. 5 - Estrutura de funcionamento do GASCRO.



Figura 6 - Uma das telas do GASCRO mostrando duas seleções de cromatografia de um determinado transformador. Cada gás é classificado por níveis pelo programa (baixo, médio, alto)

Como uma ferramenta adicional para o sistema especialista, o programa tem um conjunto específico de regras para processar os dados calculados. Parte das máquinas de inferência das regras é um módulo programável (utilizando “Visual Basic Scripting

Language”), que pode ampliar as características do programa.

O programa também fornece informações a um banco de dados específico, contendo todos os diagnósticos realizados, bem como, todos os índices que levaram a tais resultados. Este banco de dados é um vasto banco de conhecimentos que pode ser utilizado para refinar as regras do sistema. Ele também pode ajudar o usuário a correlacionar o diagnóstico e suas causas principais com o resultado de cada unidade, detectando assim casos crônicos entre as mesmas famílias (séries) de transformadores de potência.

A lógica difusa é baseada na comparação de variáveis, não apenas entre seus valores, mas entre suas distribuições de pertinências associadas.

No GASCRO, com o uso de distribuições Difusas [3,4,5,6] em todas as variáveis internas do sistema (taxas de crescimento, relações entre gases, etc.) é possível, além de identificar um simples resultado, também obter diversas situações onde as variáveis atingem áreas de transição entre estados, cada uma com sua pertinência associada. Desta maneira, é possível identificar precocemente situações de falhas incipientes dentre os processos normais de envelhecimento do equipamento. O diagnóstico com baixa pertinência pode indicar falha iminente ou uma falha em estado inicial.

Depois da análise difusa, o programa pode também classificar todas as concentrações de gases, leituras e taxas de crescimento, utilizando um conjunto básico de regras. Além de classificar todas as variáveis em níveis baixo, médio e alto, estas regras também checam outras informações ligadas aos transformadores, como por exemplo: como a presença de conexões entre o tanque do comutador de taps e o tanque do transformador pode levar a diagnósticos incorretos. Todas estas informações são utilizadas para alimentar a base de conhecimento.

O módulo programável em VBScript também considera todos os dados processados pelo procedimento de diagnóstico, para filtrar, detectar cálculos incorretos e automaticamente explicar os resultados para o usuário.

7.3. Relatório Sumário do Programa

No final do procedimento de diagnóstico, o programa exibe um sumário de todas as informações, cálculos, relações e valores utilizados. No sumário existem várias caixas de texto que permitem aos usuários fazerem seus próprios comentários sobre cada análise do programa.

7.4. Resultados do Programa

O programa foi extensivamente testado utilizando dados de cromatografia de equipamentos já analisados no passado para checar a consistência das rotinas de diagnóstico. Testes reais com transformadores monitorados estão sendo feitos para verificar a sensibilidade das distribuições difusas e verificar qual é a frequência mais apropriada para coleta de dados de cromatografia do óleo que realmente leve a identificação de situações com falhas incipientes.

O desempenho e eficácia do programa dependem da

periodicidade do seu uso pelas empresas em suas análises de cromatografia. Quanto mais freqüente seu uso, melhores são as chances do sistema detectar falhas incipientes. Desta maneira, a integração dos módulos ModCalc/SESPEC com o GASCRO é complementar dentro do escopo do sistema.

8. CONCLUSÕES

O conjunto de programas do Sistema de Monitoramento e Diagnóstico do IEE-USP, descrito neste artigo, forma uma valiosa ferramenta para uma empresa concessionária de energia elétrica.

O programa ModCalc permite gerenciar os dados em tempo real do sistema de monitoramento. Ele foi programado utilizando a metodologia de multi-agentes, onde cada agente atua como um especialista vivo que anda pela subestação, analisando a evolução de cada variável em cada equipamento, detectando tendências anormais e condições perigosas. Toda vez que estas situações são encontradas, os agentes disparam alertas para o banco de dados do sistema.

O programa SESPEC é a janela de observação principal do sistema de monitoramento. Ele concentra toda informação reunida dentro da subestação e todas as análises que foram feitas pelos agentes do ModCalc. O usuário pode facilmente ver, em tempo real, os alertas do sistema e as advertências. Ele pode também acompanhar toda a operação do sistema de monitoramento (as atividades de cada agente e o sistema de programas integrados).

O programa GASCRO é uma aplicação que analisa os dados da cromatografia do óleo de transformadores de potência. Ele usa um modelo de lógica difusa para diagnosticar condições de falhas dentro do tanque do transformador, detectando precocemente situações anormais que podem levar a condições operacionais perigosas se negligenciadas. Um diagnóstico passo a passo permite uma ótima interação entre o programa e o usuário, gerando relatórios completos sobre a condição do equipamento.

Todos os programas contribuem para um serviço mais eficiente de planejamento de manutenções, auxiliando as concessionárias a evoluir da manutenção preventiva, implementada em intervalos pré-definidos, para a preditiva. Desta maneira, a utilização dos recursos para a manutenção e a operação passa a ser mais eficazes.

Outra vantagem, como consequência destas ferramentas integradas com o Sistema de Monitoramento, é a habilidade de escalonar as intervenções em casos de diversos equipamentos com situações de alertas anormais simultâneas. O usuário, frente a um grande número de informações que indiquem intervenção, tem uma gama de informações detalhadas para poder estabelecer critérios de atendimento para manutenção de acordo com os níveis de alertas para cada equipamento com diagnóstico positivo.

Estas ferramentas, quando aplicadas nos escritórios centrais, podem aumentar a visão sobre as margens

operacionais do sistema, sua confiabilidade com os equipamentos em uso e implementar as necessidades de expansão futura, reparo e modernização.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE, “IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers”, IEEE Standards, Std C57.104-1991
- [2] ABNT, “Interpretação da Análise dos Gases de Transformadores em Serviço”, ABNT, Project NBR 7274 – JUN/99
- [3] Q. Su, C. Mi, L. L. Lai, P. Austin, “A Fuzzy Dissolved Gas Analysis Method for the Diagnosis of Multiple Incipient Faults in a Transformer”, IEEE Trans. On Power Systems, VOL 15, n. 2, May 2000
- [4] N. Fantana, L. Pettersson, “Condition-based evaluation”, Lifetime Management, ABB Review, n.4, 2000
- [5] Y. C. Huang, H. T. Yang, C. L. Huang, “Developing a new transformer diagnosis system through evolutionary fuzzy logic”, IEEE Trans. On Power Delivery, VOL 12, n. 2, April 1997
- [6] C. E. Lin; J. M. Ling; C. L. Huang “A Expert System for Power Transformer Fault Diagnosis Using Dissolved Gas Analysis” – IEEE Transactions on Power Delivery – VOL 8, n. 1, January 1993.