

# Monitoramento Remoto via GPRS de Falhas Incipientes em Múltiplos Transformadores de Potência

Mauro E. Benedet, Marco A. M. Cavaco, César A. A. Nogueira, Régis H. Coelho

**Resumo** – Um dos procedimentos mais consagrados para detecção de falhas em transformadores de potência é a análise da concentração de gases dissolvidos no óleo mineral isolante desses equipamentos. Essa análise é comumente realizada em laboratório através de cromatografia em fase gasosa. Embora apresente resultados confiáveis, a cromatografia traz alguns inconvenientes, como elevado período de amostragem e a distância do laboratório em relação às subestações. Existem sistemas de medição capazes de realizar esta análise em campo. Contudo, esses dispositivos apresentam custo elevado, não justificando sua utilização de forma dedicada em transformadores de pequeno e médio porte. Desta forma, iniciou-se um projeto para o monitoramento de múltiplos transformadores com um único sistema de medição. Uma das maiores necessidades do equipamento desenvolvido é o seu controle e monitoramento remotos. Para tanto foi empregada a tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*), baseada em telefonia móvel, possibilitando assim o desenvolvimento de um equipamento mais autônomo.

**Palavras-chave** – automação, gás dissolvido em óleo, GPRS, instrumentação, transformador de potência.

## I. INTRODUÇÃO

Transformadores de potência são equipamentos essenciais na transmissão e distribuição de energia elétrica e por isso merecem especial atenção no programa de manutenção de empresas desse setor.

Uma das partes mais importantes de um transformador de potência é o sistema de isolamento que é constituído basicamente por um líquido, geralmente óleo mineral, e uma isolação sólida, o papel isolante.

Durante o funcionamento de um transformador de potência, o óleo mineral isolante fica submetido às ações de temperatura e de tensões elétricas, sofrendo processos de decomposição química que resultam na formação de gases.

Os gases formados pela decomposição dos materiais iso-

lantes são dissolvidos total ou parcialmente no óleo, sendo diluídos e transportados por todo seu volume. Tal decomposição é mais intensa quando existem falhas no funcionamento do transformador. A diluição dos gases possibilita obter-se, através da análise de uma amostra, informações a respeito do estado de deterioração dos diversos pontos que estejam em contato com o óleo[1].

Por esse motivo, a análise de gases dissolvidos é um dos procedimentos mais consagrados para detecção de falhas em transformadores de potência. Essa análise é comumente realizada em laboratório através de cromatografia em fase gasosa.

Embora apresente resultados confiáveis, a cromatografia traz alguns inconvenientes, como elevado período de amostragem e a distância do laboratório em relação às subestações.

Existem no mercado sistemas de medição capazes de realizar a análise em campo, determinando a concentração aproximada de gases específicos dissolvidos no óleo. Contudo, esses dispositivos apresentam custo elevado, não justificando sua utilização de forma dedicada em transformadores de pequeno porte. Desta forma, iniciou-se um projeto para o monitoramento remoto de múltiplos transformadores de potência com um único sistema de medição. Foram realizados testes de viabilidade e posteriormente construído um protótipo.

Ao final do projeto CELESC-016/2005, “Otimização de um Sistema de Medição da Concentração de Gases Dissolvidos em Óleo de Transformadores para o Monitoramento Online – Fase III: Otimização do protótipo MAGO”, um equipamento capaz de realizar a análise de gases dissolvidos em óleo de até três transformadores de maneira remota foi desenvolvido. Testes para avaliação metrológica e funcional do equipamento foram realizados, validando o seu uso em campo e elucidando os benefícios provenientes da sua utilização em empresas do setor elétrico, sobretudo em relação à economia no monitoramento do estado de deterioração dos transformadores de potência.

O projeto foi desenvolvido através de uma parceria entre a Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mais especificamente o Laboratório de Metrologia e Automatização (LABMETRO).

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

Este trabalho foi apoiado pela CELESC Distribuição S.A.

M. E. Benedet e M. A. M. Cavaco trabalham na Universidade Federal de Santa Catarina (e-mails: mauroedb@yahoo.com.br; cavaco@labmetro.ufsc.br).

C. A. A. Nogueira trabalha no CEFET-RS (can@labmetro.ufsc.br)

R. H. Coelho trabalha na CELESC (regishc@celesc.com.br).

## II. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Para a análise do óleo mineral dos transformadores de potência foi desenvolvido um equipamento portátil capaz de realizar a multiplexação da amostragem de até três transformadores.

O projeto foi dividido em três etapas: estudo de viabilidade; construção de um protótipo; e aperfeiçoamento de projeto e posterior construção do produto.

Na primeira etapa foi realizada uma pesquisa de mercado com os sistemas de medição passíveis de serem utilizados. Após escolhido o sistema de medição, uma bancada foi desenvolvida simulando a multiplexação das amostras de óleo dos diferentes transformadores. Diversos testes foram efetuados com a bancada e a avaliação metrológica baseada nesses ensaios mostrou a viabilidade da proposta.

Na segunda etapa um protótipo capaz de realizar a multiplexação entre o óleo de três transformadores foi construído e testado. O protótipo foi batizado como MAGO (Múltiplo Analisador de Gás em Óleo). O controle e aquisição de dados foram realizados via intranet. Testes em campo elucidaram as qualidades e limitações do protótipo.

Este trabalho refere-se à terceira etapa do projeto. São apresentados aqui, a otimização do projeto e o desenvolvimento de um produto capaz de operar continuamente, em campo, de maneira remota, multiplexável e portátil para o monitoramento da concentração de gases dissolvidos em óleo de transformadores de potência, o MAGO II.

Um novo diagrama elétrico foi implementado e o circuito hidráulico sofreu modificações a fim de adequar o equipamento às necessidades de campo da CELESC. Novos softwares foram criados visando adicionar praticidade e funcionalidade, enquanto que o projeto mecânico foi alterado para permitir o uso contínuo do produto em subestações de energia elétrica. Na comunicação remota, a tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*) foi empregada com o intuito de desenvolver um equipamento mais autônomo.

### A. Projeto Hidráulico

Para efetuar a multiplexação das saídas de óleo dos transformadores e conduzi-lo ao sistema de medição foi implementado um sistema hidráulico composto por mangueiras e válvulas solenóides de duas e três vias, conforme ilustrado na figura 1. Com essa disposição permite-se apenas a passagem do óleo proveniente do transformador que se deseja monitorar.

As válvulas que liberam o fluxo de óleo proveniente de cada transformador foram duplicadas para isolamento hidráulico das mangueiras que conectam o protótipo aos transformadores quando a drenagem não está ativa.

O acionamento das válvulas serve para drenagem do óleo de interesse até o sistema de medição. O próprio óleo é o responsável pela “limpeza” da tubulação, carregando o óleo analisado anteriormente ao reservatório. A drenagem é cessada e a medição é iniciada quando o óleo contido no sistema de medição é considerado representativo daquele que se deseja medir.

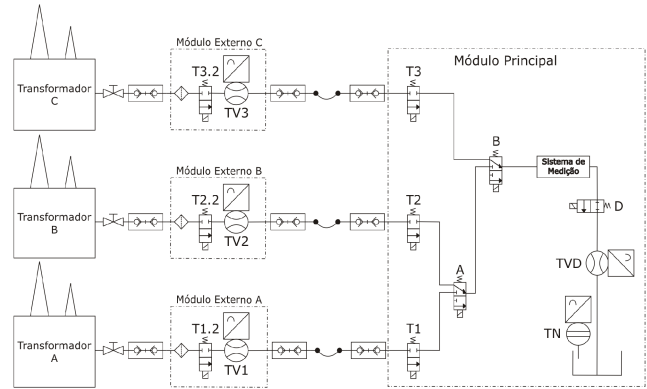


Figura 1. Diagrama hidráulico do MAGO II[2].

Filtros Y foram adicionados no início do circuito hidráulico para proteção dos equipamentos contra impurezas. Esse tipo de filtro foi escolhido por apresentar baixa resistência à passagem do fluido, resultando em uma baixa perda de carga, contudo sem prejudicar sua eficácia na filtragem. A baixa perda de carga é importante já que o fluxo de óleo se dá por gravidade, não existe qualquer tipo de bomba hidráulica que force a passagem do óleo pela tubulação do equipamento.

Transdutores de vazão foram inseridos no início e fim do circuito hidráulico. Além de servirem para detecção de vazamentos, esses transdutores são responsáveis pela medição do volume de óleo drenado para cada análise de gases dissolvidos realizada.

Para definição do material a ser utilizado na confecção da tubulação, foram realizados ensaios de determinação da compatibilidade de materiais com óleo mineral isolante, seguindo a norma NBR 14274[3]. Foram realizados testes com três tipos de materiais: Nylon, Polietileno e PTFE (Politetrafluoretileno). Para os ensaios foram utilizadas amostras com área de contato de 52 cm<sup>2</sup> imersas em 800 ml de óleo mineral isolante, sendo submetidas a uma temperatura de (100 ± 3) °C durante 164 horas. Obtiveram-se os seguintes resultados:

- Polietileno: o material foi dissolvido e portanto é incompatível com o óleo mineral isolante.
- Nylon: houve variação entre os resultados da tensão interfacial do óleo com o material e do óleo da prova em branco, acima dos limites estabelecidos na NBR 14274. Essa variação é um indicativo de problema de compatibilidade do material com o óleo mineral isolante.
- PTFE: as variações entre os resultados do óleo com PTFE e do óleo da prova em branco estão dentro dos limites estabelecidos na NBR 14274. Os resultados obtidos indicam que o óleo não foi afetado pelo material e, portanto, o PTFE (também conhecido como Teflon) foi considerado apto à utilização com óleo mineral isolante.

### B. Projeto Elétrico

O sistema elétrico desenvolvido aliado à utilização de um sofisticado CLP, programado em linguagem *LabVIEW*, é o responsável pelo controle e monitoramento das eletro-válvulas, medidor de gás dissolvido em óleo, transdutores de va-

zão, transferência de dados, indicação da medição e demais funcionalidades do equipamento.

O CLP utilizado para o controle do MAGO II é o *compact FieldPoint* modelo 2020 fabricado pela *National Instruments*. Foram empregados quatro módulos no controlador, que são:

- *cFP-DO-410*: 8 canais de saída digital;
- *cFP-AI-111*: 16 canais de entrada analógica, (0 a 20) mA;
- *cFP-RLY-421*: 8 canais de saída tipo relé;
- *cFP-AI-102*: 8 canais de entrada analógica, (0 a 20) V.

### C. Projeto Mecânico

Estruturalmente o equipamento é composto por um módulo principal e três módulos externos. O módulo principal (figura 2) pode ser subdividido em três partes: painel, reservatório e armário.

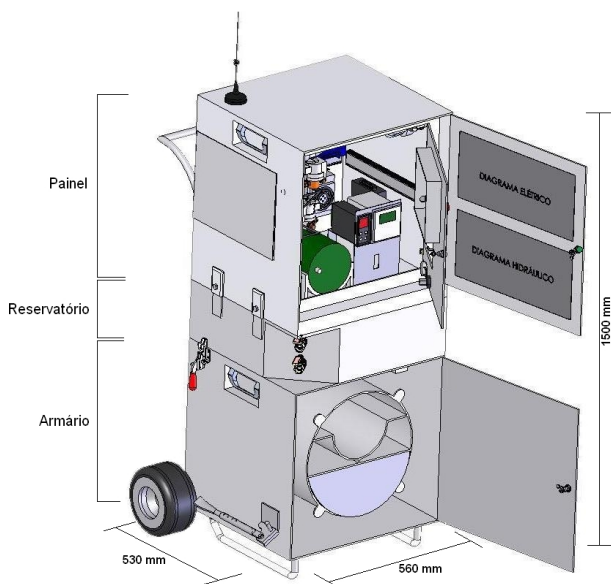


Figura 2. Projeto mecânico do módulo principal do MAGO II.

O painel acondiciona a maioria dos equipamentos do MAGO II, dentre eles o sistema de medição da concentração de gases, parte das válvulas, os dispositivos de comunicação e o controlador *compact FieldPoint*. Nesse módulo fica localizado o painel de interface, apresentado na figura 5, pelo qual o usuário pode comandar e acompanhar as medições localmente. Visando a proteção dos equipamentos foi adicionado um sistema de calefação para evitar a formação de orvalho dentro do painel. O sistema de calefação possui um termostato que, por norma da CELESC, mantém a temperatura no interior do painel em torno de 30 °C.

O reservatório serve para o armazenamento do óleo drenado, tendo uma capacidade aproximada de 34 litros. Na necessidade de armazenamento de um volume maior de óleo, outro recipiente pode ser acoplado através de uma válvula de dreno presente no reservatório. Foi projetada ainda, na parte superior do reservatório, uma tampa para manutenção.

Priorizando-se a portabilidade do equipamento e em virtude da necessidade de acréscimo de altura devido a questões ergonômicas, criou-se, na parte inferior, um armário para

acomodação das mangueiras e módulos externos. Com isso, todos os componentes necessários ao funcionamento do MAGO II são transportados em um único conjunto.

Para locomoção do equipamento dentro da subestação, o módulo principal foi acoplado a um carrinho de carga. Foram utilizadas rodas largas para facilitar o transporte através do pátio da subestação, tipicamente formado por brita.

As três partes que compõem o módulo principal podem ser separadas, facilitando o transporte e manutenção, sendo que o armário é dispensável para o funcionamento do MAGO II.

Os módulos externos são conectados diretamente na saída de óleo dos transformadores de potência através de engate-rápido, evitando a necessidade de mangueira nesse ponto. Dentro de cada módulo externo (figura 3) são alojados: um transdutor de vazão com seu mostrador, uma válvula solenóide de duas vias e um filtro Y.

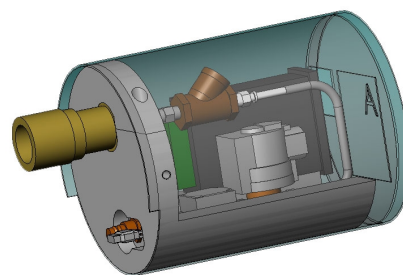


Figura 3. Projeto mecânico do módulo externo do MAGO II.

Na figura 4 pode-se observar o produto desenvolvido realizando a análise de gás dissolvido em óleo de um transformador de potência na subestação de Coqueiros, em Florianópolis.



Figura 4. MAGO II em operação na subestação de Coqueiros.

### III. COMUNICAÇÃO COM O EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

Parte fundamental no funcionamento do equipamento é a comunicação com o usuário. Foram implementadas duas formas básicas de operação, uma para o usuário presente na subestação (comunicação local) e outra para o usuário que deseja realizar uma medição a distância (comunicação remota).

#### A. Comunicação Local

Trata-se de uma interface física para operação do protótipo na própria subestação. A comunicação local é realizada através do painel do MAGO. Através de botoeiras o usuário transmite ao CLP o comando desejado. O CLP efetua os comandos recebidos e sinaliza ao usuário as válvulas acionadas, o modo de operação ativo, a medição em andamento e alarmes de vazamento e nível de reservatório.

A interface de comando local desenvolvida para o MAGO II pode ser visualizada na figura 5.



Figura 5. Painel de interface local do MAGO II.

Um dos requisitos exigidos do MAGO II é a possibilidade de comando e monitoramento remotos. Para tanto foram desenvolvidas duas formas de comunicação remota, uma conectando o equipamento diretamente à Internet através de um cabo de rede e outra utilizando a rede de telefonia móvel.

#### B. Comunicação Remota via Internet

O acesso ao MAGO II via Internet é realizado através de um cabo de rede conectado diretamente no controlador.

A transferência de dados entre o MAGO II e a sala de operações da subestação, onde se localiza o ponto de acesso à rede de computadores da CELESC, é realizada via fibra óptica com auxílio de conversores de sinal. O uso de fibra óptica torna a transferência de dados imune a interferências eletro-magnéticas.

Ao CLP é atribuído um endereço IP fixo dentro da rede

onde está instalado. Uma página em HTML, hospedada no próprio controlador, é responsável pela interface com o software embarcado. Dessa forma, o usuário pode operar o MAGO II de qualquer computador que tenha acesso à mesma rede. Caso o administrador da rede de computadores da concessionária permita acesso externo ao IP conferido ao MAGO II, o controle poderá ser realizado de qualquer computador conectado à Internet.

Para acesso à interface do software, visualizada na página HTML, é necessária a instalação do plug-in LabVIEW Run Time Engine no computador do usuário, disponibilizado gratuitamente pela *National Instruments*.

#### C. Comunicação Remota via GPRS

Embora traga uma série de facilidades, a comunicação via Internet traz o inconveniente de ser dependente dos recursos disponíveis na subestação, ou seja, está condicionada à existência de acesso à rede de computadores no local. Na grande maioria das subestações da CELESC, cerca de 70 %, este acesso é inexistente. Além disso, esse tipo de comunicação depende do provimento de um IP, por parte da administração da rede de computadores da concessionária, para uso exclusivo do MAGO.

Para contornar esses problemas foi desenvolvida uma comunicação com o MAGO II através da tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*).

O GPRS é um serviço implementado sobre a estrutura GSM (*Global System for Mobile Communication*). As redes GSM, diferentemente das tecnologias anteriores de telefonia móvel, trabalham com o sinal e os canais de voz de maneira digital, facilitando a transferência de dados[4].

O método utilizado pelo sistema GSM para o gerenciamento dos recursos é uma combinação de duas técnicas, a TDMA (*Time Division Multiple Access*) e a FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Os 25 MHz disponíveis ao GSM são divididos em canais com 200 kHz de largura de banda, denominados ARFCN (Número Absoluto de Canal de Radiofrequência). Cada ARFCN é dividido em 8 janelas temporais (*timeslots*). Cada unidade móvel utiliza o ARFCN por um *timeslot* e, em seguida, aguarda a sua vez de usá-lo novamente (figura 6)[5].

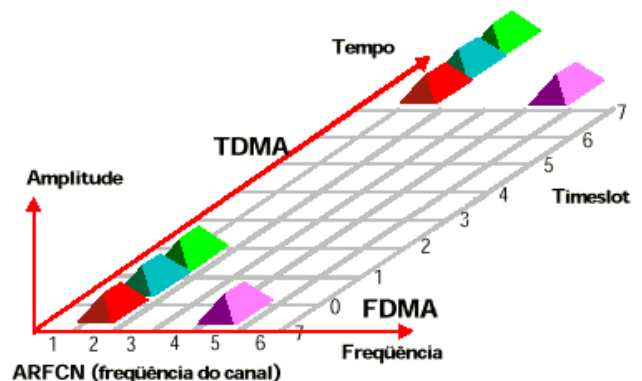


Figura 6. Combinação dos métodos TDMA e FDMA.

O GPRS é um serviço oferecido pelas operadoras de telefonia móvel, não baseado em voz, que incrementa a rede GSM através da inclusão do método de chaveamento de pacotes para transferência de dados. Por este método a informação a ser transmitida é dividida em envelopes de dados, denominados pacotes, podendo ser enviados por distintos caminhos de acordo com o status atual da rede. Os pacotes possuem o mesmo tamanho, correspondente a uma janela de tempo da rede GSM[6][7].

Por ser considerada uma tecnologia de transição entre a segunda e a terceira geração de padrões e tecnologias de telefonia móvel (2G e 3G), o GPRS é enquadrado no grupo de tecnologias denominado 2,5G.

Diferentemente do método de comutação de circuitos, empregado pelas tecnologias anteriores, onde a conexão é realizada ponto a ponto e os recursos são alocados de maneira exclusiva, na comutação por pacotes os recursos são compartilhados e alocados somente no momento da transferência de dados. Dessa maneira, pode-se considerar que os usuários estão sempre conectados, recebendo o recurso somente no momento do envio e recebimento de dados[5][7][8].

Com essa tecnologia taxas que antes giravam em torno de 12 KiB/s agora podem atingir (em condições ideais) 170 KiB/s. Na prática esta taxa fica abaixo de 40 KiB/s. Outra diferença marcante é a forma de cobrança, nas redes via comutação de pacotes ela é feita sobre a quantidade de dados enviados, enquanto na comutação de circuitos a cobrança é realizada sobre o tempo de uso.

O GPRS fica acoplado à Internet através de Gateway WAP (*Wireless Application Protocol*), padrão internacional para aplicações que utilizam comunicação sem fio.

Para implantação dessa tecnologia no MAGO II optou-se por um modem GPRS que possui uma interface serial RS-232, permitindo assim a comunicação com o CLP.

Devido à característica “sempre conectado” da rede GPRS, as operadoras têm que lidar com uma limitação no número de endereços eletrônicos (IPs) disponíveis. A saída encontrada pelas operadoras foi conceder os endereços com uma característica dinâmica. Com os IPs dinâmicos os dispositivos perdem seus endereços quando permanecem ociosos durante um determinado tempo, obtendo-os novamente de maneira aleatória através de DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).

Essa política adotada pelas operadoras incrementa uma significativa dificuldade nas aplicações que utilizam essa tecnologia, já que a priori é impossível localizar um dispositivo móvel na rede. Conseqüentemente, a iniciativa de conexão deve partir do dispositivo remoto, apontando sempre para um local fixo. Isso inviabilizaria o acompanhamento do MAGO II de diversos locais, restringindo o local de supervisão a um único ponto.

A solução encontrada foi desenvolver um servidor com endereço eletrônico estático, com o qual o modem GPRS sempre tenta estabelecer conexão. Dessa maneira, depois de realizada a conexão, a localização do MAGO II não é mais desconhecida, ao menos até a próxima renovação do seu IP, quando o processo tem que ser realizado novamente.

A inclusão de um servidor centralizado propiciou uma to-

pologia modular ao sistema de comunicação via GPRS, que desacoplou a interface do sistema, possibilitando assim uma maior gama de supervisores de operação (figura 7).

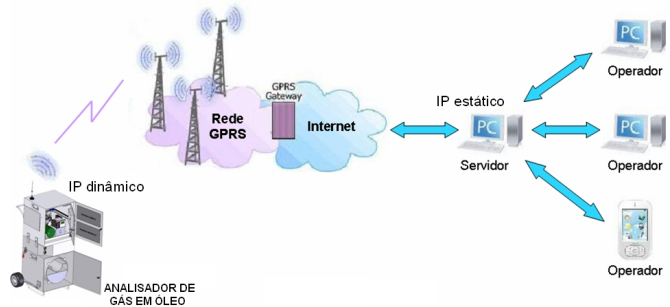


Figura 7. Topologia do sistema de comunicação via GPRS.

Internamente, o servidor também foi desenvolvido com uma arquitetura modular, tornando a comunicação com o MAGO II e com o operador independentes entre si, como pode ser visto na figura 8.

Durante o procedimento de medição o servidor recebe os resultados parciais da medição e atualiza na sua base de dados interna. Deste modo, mesmo que a medição não chegue ao fim, os dados referentes à medição ficam devidamente armazenados. Com essa topologia o usuário não precisa ficar conectado durante todo o processo de medição. Os dados armazenados no servidor são repassados ao usuário no momento em que este se conecta ao servidor.

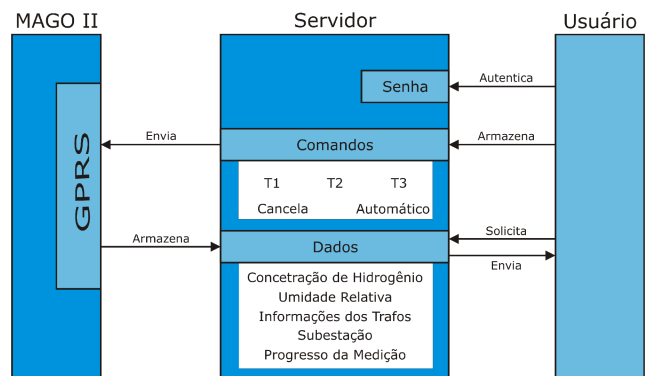


Figura 8. Comunicação entre MAGO, Servidor e Usuário.

O servidor foi desenvolvido sobre o paradigma de orientação a objetos, utilizando linguagem de programação Java, com possibilidade de operar sobre qualquer sistema operacional que possua compatibilidade com a máquina virtual Java.

Foi utilizado como meio de comunicação entre os pontos, os recursos de *sockets* baseado no serviço TCP como protocolo para transferência de dados. O TCP, serviço orientado à conexão, fornece um mecanismo de transporte confiável baseado na troca de *acknowledgments* com reenvio em caso de perdas.

O servidor possui funcionamento baseado em programação concorrente, utilizando os recursos de *MultiThreading*. Os dois clientes na comunicação, MAGO e usuário, acessam o servidor por portas exclusivas entre si, sendo cada conexão administrada por uma *Thread* específica.

Na conexão com o dispositivo remoto, o tráfego de infor-

mações nos dois sentidos pode ocorrer de maneira concorrente, uma vez que compete ao MAGO decidir o momento desejado para envio de informações. Para que isso seja possível existem duas *Threads* adicionais responsáveis uma para o envio e outra para a recepção de informações.

Como comentado anteriormente, em caso de inatividade no fluxo de informações (durante aproximadamente 2 minutos) a operadora “derruba” propositadamente a conexão. Antecipando-se a este fato, o servidor possui um mecanismo de *timeout* na recepção que finaliza a conexão e as *Threads* envolvidas e em seguida aguarda nova conexão do MAGO.

No processo de interação com o usuário não há a necessidade de envio e recepção simultânea de dados, uma vez que a interface é configurada para solicitar os dados, sendo estes imediatamente repassados ao usuário pelo servidor. Isto significa que o servidor não envia dados para o usuário de maneira autônoma, ele apenas responde às requisições.

Uma classe fundamental no servidor, denominada tabela de armazenamento, é a responsável pelo armazenamento dos dados ligados ao processo de medição. Compete a ela realizar toda a manipulação dos dados circulantes entre as *Threads* de fluxo de informações. O armazenamento é realizado de duas maneiras: dinamicamente através de variáveis alocadas em memória volátil e estaticamente através da escrita periódica em um arquivo salvo em disco rígido. Esse mecanismo busca proteger os dados armazenados no servidor em casos de falha no equipamento onde o mesmo está instalado.

#### IV. AVALIAÇÃO DA COMUNICAÇÃO VIA GPRS

Para a utilização da comunicação via GPRS no MAGO II é necessária a introdução de um cartão SIM (*Subscriber Identity Module*) no modem GPRS.

Para a realização dos testes de comunicação foi utilizado um cartão SIM da operadora TIM Sul S/A. Porém, nada impede a utilização de cartões de outras operadoras desde que estas forneçam o serviço GPRS, sendo necessárias pequenas modificações na configuração do modem. Essa flexibilidade é importante para que se permita a utilização de diferentes operadoras de acordo com a intensidade de sinal de cada uma no local onde o MAGO II será utilizado.

Como visto anteriormente, a cobrança é realizada por quantidade de dados transferidos. No caso da operadora utilizada durante os testes, o custo foi de R\$ 15,73 por megabyte transferido, em um plano pré-pago.

O custo de um ciclo envolvendo a configuração do equipamento e uma medição com duração de 6 horas girou em torno de R\$ 5,00. Esse valor pode sofrer variações devido a diversos fatores, como falhas na transferência de pacotes e a taxa de atualização de dados utilizada. A taxa de atualização pode ser configurada via software, sendo que durante os testes os dados do servidor eram atualizados pelo MAGO a cada 10 minutos.

Vale lembrar que o custo da medição com o emprego da comunicação via GPRS, embora não tenha apresentado resultados preocupantes, pode ser consideravelmente reduzido com a contratação de planos pós-pagos de telefonia móvel.

Não foram observados, nos testes realizados em campo, prejuízos na transferência de dados entre o MAGO II e o servidor devido ao campo eletro-magnético da subestação.

Com base nas afirmações apresentadas, pode-se dizer que a comunicação via GPRS mostrou ser uma eficaz alternativa na comunicação remota do MAGO II, tornando o equipamento independente dos recursos disponíveis na subestação. Além disso, o emprego de um servidor permitiu que a visualização dos dados de medição e os comandos de acionamento fossem realizados sem a necessidade de o MAGO II estar ligado.

#### V. SOFTWARE DE COMANDO

Quando a solicitação de acesso via Internet é realizada, o software de acesso do MAGO II dispara o navegador direcionando-o para um endereço no formato:

`http://IP do CLP/nome da aplicação.htm`

Através deste endereço o usuário tem acesso direto ao software embarcado no CLP.

No painel principal da interface do software embarcado (figura 9), desenvolvido em LabVIEW, o usuário tem a possibilidade de:

- Realizar a medição manualmente da concentração de gases dissolvidos e da umidade no óleo dos transformadores conectados ao MAGO II;
- Programar medições a serem realizadas automaticamente;
- Visualizar a atuação das válvulas solenóides, o modo de operação corrente, alarmes e tempo restante da medição e da drenagem;
- Acompanhar as indicações do sistema de medição da concentração de gases e umidade, dos transdutores de vazão e do nível de óleo no reservatório.

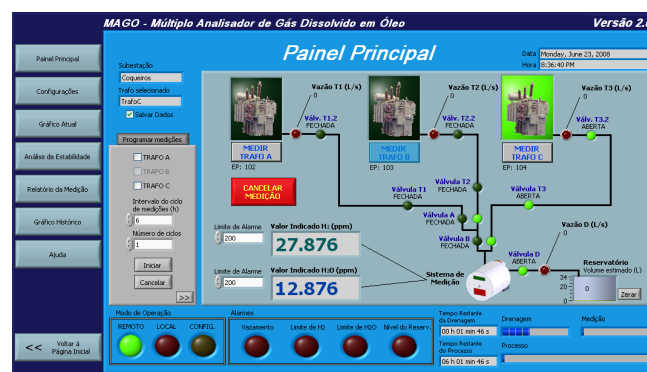


Figura 9. Painel principal do software de comando do MAGO II.

Além do painel principal, o usuário pode acessar, através de um menu, outras funcionalidades do software, como por exemplo:

- Obter informações dos transformadores conectados ao MAGO II e da subestação onde ele está instalado;
- Alterar configurações do software;
- Visualizar gráficos da medição atual da concentração de hidrogênio e umidade no óleo;
- Visualizar relatório da última medição;
- Enviar o relatório da medição via e-mail (a configuração padrão é o envio automático após o término da medição);

- Visualizar o histórico de medições de cada transformador que já tenha sido monitorado pelo MAGO II, especificando o intervalo de tempo de interesse;
- Visualizar página de ajuda de operação do software.

## VI. CONCLUSÕES

A utilização do MAGO II aumenta a confiabilidade do sistema elétrico. O seu uso ajuda a prevenir a ocorrência de falhas críticas dos transformadores de potência graças ao monitoramento mais eficaz das condições de operação dos mesmos. Assim, tem-se como beneficiados com a utilização deste equipamento a companhia de distribuição de energia elétrica e, de forma indireta, o consumidor pela melhoria na credibilidade do serviço contratado.

O uso do MAGO II, além de eliminar gastos provenientes do recolhimento e transporte do óleo a ser analisado, aumenta a confiabilidade na representatividade das amostras. A retirada da amostra de forma automatizada evita erros de procedimento por parte do operador. Além disso, a agilidade na medição após a retirada do óleo diminui os riscos de alterações consideráveis na concentração de gases dissolvidos da amostra.

O uso de transdutores de vazão para determinação do volume drenado propiciou uma redução considerável no volume de óleo necessário para cada amostragem. O volume de óleo utilizado para uma medição através do MAGO II é de aproximadamente 452 mililitros, enquanto que o método tradicional, a cromatografia em fase gasosa, utiliza aproximadamente 2 litros.

Além disso, os intervalos de tempo entre uma análise e outra são reduzidos significativamente com o uso do MAGO II, quando comparados ao tempo necessário para amostragem e análise no método cromatográfico. O tempo necessário para cada análise é dependente do tempo de resposta do sistema de medição utilizado, no caso do GMM (sistema de medição utilizado no MAGO II) o tempo de resposta observado foi de aproximadamente 6 h[9].

A portabilidade obtida na concepção do MAGO II permite adaptá-lo facilmente em outros transformadores e subestações que não foram originalmente concebidos para este monitoramento. A questão da portabilidade ainda possibilita o monitoramento de transformadores críticos independentemente do valor de aquisição dos mesmos, inclusive aqueles de menor porte onde não se justificaria o investimento de um sistema de monitoramento dedicado.

O emprego do MAGO nas subestações não substitui a cromatografia, pelo contrário, trabalha junto a esta permitindo a coleta periódica laboratorial. Desta forma o seu uso maximiza a eficiência dos ensaios cromatográficos utilizando-se do melhor dos dois processos: a qualidade dos resultados obtidos com o método laboratorial e a rapidez, multiplexação das amostras e baixo custo dos resultados obtidos com o MAGO II.

O MAGO II é um equipamento desenvolvido para a multiplexação da retirada das amostras, porém o seu sistema de medição da concentração de gases dissolvidos empregado não é definitivo. A estrutura modular do projeto permite que

o sistema de medição seja facilmente substituído por outros modelos. Com o advento de sistemas de medição mais sofisticados, e principalmente de menor custo, que detectem e diferenciem uma maior gama de gases dissolvidos no óleo, o MAGO II poderá realizar diagnósticos de falhas mediante algumas mudanças de software.

A comunicação via GPRS mostrou-se uma eficaz alternativa para o acesso e controle remotos do MAGO II. A transferência de dados entre usuário, servidor e o MAGO II atendeu aos requisitos exigidos pelo projeto, validando esse tipo de comunicação. A limitação dessa tecnologia reside na dependência da cobertura de telefonia celular na área onde o MAGO II será instalado. Atualmente a área de cobertura da rede GSM, considerando todas as operadoras, abrange a quase totalidade do estado de Santa Catarina.

Embora o GPRS tenha atingido os resultados esperados, o recente ingresso das redes 3G, que apresenta uma maior velocidade na transferência de dados, no mercado nacional abre a possibilidade de futura agregação dessa tecnologia ao MAGO II. A princípio, a arquitetura proposta pelo projeto é flexível a outros sistemas de comunicação via telefonia celular sem a necessidade de grandes modificações, no entanto ainda não foram realizados estudos nesse sentido. Vale lembrar que atualmente a rede 3G ainda oferece baixa área de cobertura no estado, sendo inviável, por hora, a sua utilização no MAGO II.

Como perspectiva de trabalhos futuros, sugere-se a realização de um número maior de ensaios da multiplexação do sistema de medição GMM utilizando a estrutura do MAGO II. Para o desempenho desses ensaios recomenda-se a instalação do MAGO II em uma subestação onde os transformadores apresentem uma maior concentração de hidrogênio para avaliar o comportamento do GMM nessas condições. Outro cenário importante para a avaliação da multiplexação é o monitoramento de transformadores com maiores variações entre si na concentração de hidrogênio dissolvido no óleo mineral isolante, já que os transformadores da subestação de coqueiros apresentaram pequenas variações entre si e baixa concentração de hidrogênio.

Outra sugestão é a agregação de novos sistemas de medição para o monitoramento de diferentes grandezas igualmente importantes na avaliação dos transformadores de potência, como corrente elétrica nos enrolamentos e temperatura. Além disso, modificações como a miniaturização do equipamento visando aumentar ainda mais a sua portabilidade e a associação de sistemas de regeneração do óleo aumentando o campo de aplicação do MAGO II devem ser consideradas.

Por fim, pode-se dizer que o MAGO II atendeu aos requisitos exigidos pelo projeto. O equipamento desenvolvido mostrou-se apto a realizar suas funções em campo, sendo uma ferramenta importante no processo de monitoramento das condições de operação dos transformadores de potência.

## VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao departamento técnico da subestação de Coqueiros e do laboratório de análises químicas da CELESC, aos bolsistas de iniciação científica André S. No-

ronha e Lucas C. Pires pela contribuição no desenvolvimento do projeto e ao Laboratório de Metrologia e Automação (LABMETRO) da Universidade Federal de Santa Catarina pela infra-estrutura disponibilizada.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Milasch. “Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante”. São Paulo, Edgard Blücher, 1984.
- [2] M. E. Benedet. “Otimização de um Analisador de Gás Dissolvido em Óleo de Múltiplos Transformadores de Potência”. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. “NBR 14274: Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo mineral isolante”. Rio de Janeiro, 1999.
- [4] S. M. Redl, M. K. Weber, M. W. Oliphant. “An Introduction to GSM.” Artech House, ISBN 978-0-89006-785-7, March, 1995.
- [5] R. J. Bates. “GPRS: General Packet Radio Service”. McGraw-Hill Professional, 1<sup>st</sup> edition, ISBN 0-07-138188-0, USA, November, 2002.
- [6] P. McGuiggan. “GPRS in Practice: A Companion to the Specifications”. Wiley, ISBN 0-47-009507-5, England, September, 2004.
- [7] J. Hoffman. “GPRS Demystified”. McGraw-Hill Professional, 1st edition, ISBN 0-07-138553-3, USA, September, 2002.
- [8] L. Harte, B. Strange. “Introduction to GPRS and EDGE: Technology, Operation and Services”. Althos Publishing, ISBN 1-93-281306-3, NC, USA, December, 2004.
- [9] P. M. Cardoso. “Adaptação de um Sistema de Medição de Gases Dissolvidos em Óleo Mineral Isolante para Monitoração de Múltiplos Transformadores de Potência”. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.