



**GRUPO V
PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS DE POTÊNCIA (GPC)**

**SISTEMA DE MONITORAÇÃO DE DISTÚRBIOS
E DA DINÂMICA DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

Mauro Pacheco Ferreira *

Fábio Petrassem de Sousa

João Marcos Castro Soares

Rodrigo Mussatto

Tiago César Bussata

Daniel Maurício Kamers

Ângelo Mibielli

REIVAX Automação e Controle

RESUMO

O Sistema de Monitoração de Distúrbios e da Dinâmica de Sistemas Elétricos de Potência (SMX) foi desenvolvido visando o atendimento de aplicações nas áreas de geração e transmissão de energia elétrica. São comentadas as estratégias e tecnologias envolvidas, e apresentadas as características da arquitetura e componentes de hardware e software do sistema. Exemplos de aplicações são descritos e ilustrados.

Consiste em um conjunto de equipamentos (unidades do sistema) projetados para desempenhar funções conforme as necessidades de aplicação, com possibilidade de interconexão (rede de comunicação). A configuração dos equipamentos (construção das unidades do sistema) e suas interconexões (construção da rede de comunicação) são realizadas através de projeto de aplicação, tomando como referência uma arquitetura modular pré-definida de desenvolvimento, para a integração de componentes de hardware e software.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoração de distúrbios - Aquisição de dados - Análise da dinâmica de sistemas de potência - Redes de monitoração e controle.

2.1 Especificações

Os principais requisitos de projeto (visão de alto nível) são apresentados conforme as necessidades das aplicações no sistema elétrico e consistem em: aquisição e geração de sinais analógicos e digitais; cálculo das funções de controle e grandezas associadas; monitoração de sinais adquiridos e calculados; detecção de eventos e perturbações; sincronismo; registros em arquivos de dados; comunicação local e remota entre unidades; conectividade com sistemas comerciais e industriais; supervisão e comando; programação de configuração e edição de parâmetros; análise de registros; base de dados de registros.

1.0 - INTRODUÇÃO

A aquisição e análise de dados transitórios em tempo real relativos a condições de perturbação ou de regime permanente do sistema elétrico de potência evoluiu de equipamentos isolados para a utilização de sistemas formados por equipamentos distribuídos interconectados em rede [3]. Esta arquitetura estimula o desenvolvimento de equipamentos de alta modularidade em hardware e software para o atendimento a um amplo conjunto de aplicações, principalmente com os fins de monitoração dinâmica, controle, supervisão e análise do sistema elétrico. Sob este enfoque, o Sistema de Monitoração de Distúrbios e da Dinâmica de Sistemas Elétricos de Potência (SMX) foi desenvolvido, abordando funcionalidades dos sistemas de controle e aquisição de dados atualmente disponíveis nas plantas.

2.2 Projeto

Na concepção e desenvolvimento deste sistema, algumas estratégias e tecnologias foram consideradas:

- Utilização de componentes de hardware para processamento e periféricos de larga aceitação e distribuição no mercado;
- Desenvolvimento de componentes de hardware específicos para a expansibilidade de conexão com o sistema físico, compatíveis com padrões industriais,

2.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA

utilizando ferramentas de desenvolvimento, simulação e compilação de lógica programável;

- Conectividade através de redes e protocolos padronizados na indústria;
- Utilização de sistemas de software comerciais gráficos de uso geral, seguindo os padrões de mercado;
- Desenvolvimento de software em ambiente multitarefa e tempo real para sistemas embarcados, com utilização de ferramentas CASE (*Computer-Aided Software Engineering*), linguagens e compiladores com suporte a orientação a objetos [1];
- Adequação com a norma IEC 1131-3, que define uma padronização para a programação de controladores lógicos programáveis [4];
- Abordagem de princípios de engenharia de sistemas e de software [7], e sistemas de qualidade para projeto e desenvolvimento em equipe.

2.3 Arquitetura

As unidades principais da arquitetura do sistema e suas funcionalidades são descritas sob o foco geral de aplicação. A arquitetura é apresentada na Figura 9 e descrita a seguir:

- Unidade de Aquisição e Registro. Projetada para instalação na planta, é responsável pelo condicionamento de sinais, aquisição de dados, cálculo e registro das grandezas elétricas de interesse em monitoração. Permite ajustes através de IHM (interface homem-máquina) local e programação por Unidades Portáteis, Unidades Concentradoras ou por Unidades de Supervisão e Análise. Realiza transmissão de dados automática ou por solicitação às outras unidades do sistema.
- Unidade de Aquisição, Registro e Controle. Similar a Unidade de Aquisição e Registro, implementa adicionalmente a interface de conexão física para comando e controle, atuando conforme funções lógicas e de controle programadas.
- Unidade de Programação. Projetada como unidade portátil, implementa interfaces para a programação e ajuste das Unidades de Aquisição, Registro e Controle. Também possibilita a implementação de funcionalidades das Unidades Concentradoras e Unidades de Supervisão e Análise.
- Unidade Concentradora. Projetada para instalação em salas de controle das plantas elétricas ou em pontos de concentração de informações do sistema interligado em rede de comunicação. Recebe, armazena e gerencia dados e registros enviados pelas Unidades de Aquisição, Registro e Controle distribuídas. Também possibilita a implementação de funcionalidades das Unidades de Programação e Unidades de Supervisão e Análise.
- Unidade de Supervisão e Análise. Projetada para instalação remota em centros de controle de operação e estudos do sistema elétrico. Com interconexão em

rede, recebe os dados de registros das Unidades Concentradoras e disponibiliza interfaces gráficas para análise de sinais e supervisão do sistema. Também possibilita a implementação de funcionalidades das Unidades de Programação e Unidades Concentradoras.

- Reguladores. São equipamentos com funções específicas de controle, na forma de implementações especiais das Unidades de Aquisição, Registro e Controle.

2.4 Componentes de hardware

Os principais componentes de hardware para integração das unidades do sistema são apresentados.

2.4.1 Módulo de aquisição, registro e controle

O Módulo de Aquisição, Registro e Controle é um componente baseado em microcomputadores industriais e periféricos comerciais ou desenvolvidos especificamente. É projetado para instalação em painéis, compondo aplicações de registradores digitais de perturbação, sistemas de monitoração de oscilações, qualímetros, sistemas de aquisição de dados, controladores, entre outros. Apresenta uma estrutura de acondicionamento das placas de circuito eletrônico e dispositivos periféricos descritos a seguir:

- Unidade de processamento. CPU comercial de padrão industrial para barramento ISA ou PC104, utilizando microprocessador 32 bits, Pentium ou 486, com unidade de armazenamento de estado sólido, interface de vídeo opcional, teclado, portas de comunicação serial e paralela.
- Interface homem-máquina (IHM) local. Implementada através de LEDs de sinalização e botões de comando ou com interface comercial de teclado e *display* utilizando comunicação serial.
- Interface de entradas e saídas. Cartões eletrônicos de desenvolvimento específico, seguindo o padrão de barramento PC/104 [6] ou ISA, possibilitando expansão através de utilização conjunta. Citamos:
 - Placa MX12, contendo até 16 entradas (14 bits) e 8 saídas (13 bits) analógicas, e entradas/saídas digitais, sendo 3 ou 6 rápidas (orientadas a eventos) e até 32 convencionais (orientadas a estados);
 - Placa AD16, com até 16 entradas analógicas (16 bits) e 24 entradas/saídas digitais, e interface para sincronização de amostragem com periféricos;
 - Placa SA16, com até 16 saídas analógicas (13 bits) e 24 entradas/saídas digitais;
 - Placa DIO64, com até 64 entradas/saídas digitais;
 - Placa ADA16, com 16 entradas (16 bits) e 8 saídas (12 bits) analógicas, 8 entradas e 8 saídas digitais.
- Interface de comunicação. RS 232, RS 485 ou Ethernet, associada a interfaces de comunicação da unidade de processamento ou como periférico independente. São utilizados componentes comerciais

como modems telefônicos, rádio-modems, placas de rede, etc.

- Sistema de sincronismo. São utilizados componentes comerciais como GPS (Global Positioning System) ou relógios de precisão, para sincronismo com outras unidades do sistema.
- Fonte de alimentação. Especificada conforme a necessidade de aplicação para suportar as características disponíveis na planta.

Algumas formas de construção do Módulo de Aquisição, Registro e Controle são apresentadas:

- Padrão PC/104. Baseado em barramento PC/104, possibilita uma estrutura compacta na aplicação, conforme Figura 1.

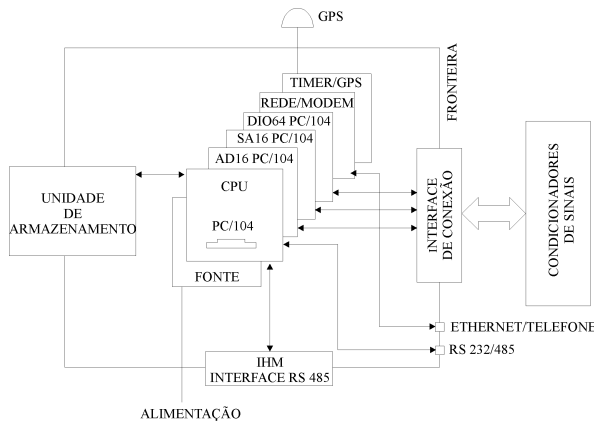


FIGURA 1

- Padrão ISA-PC/104 (*back plane* passivo). Baseado em barramento padrão ISA, largamente utilizado no mercado, em conjunto com barramento PC/104. Possibilita uma estrutura bastante flexível na aplicação, conforme Figura 2.

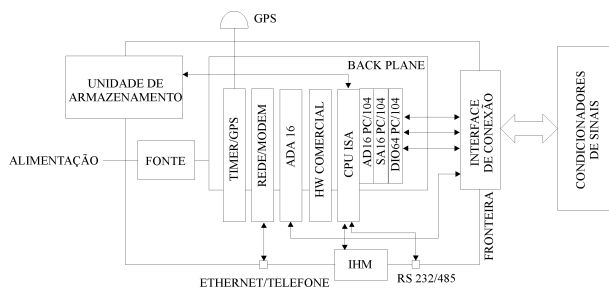


FIGURA 2

- Barramento proprietário MX. Baseado em barramento proprietário, em conjunto com barramento PC/104. Possibilita uma estrutura de baixo custo na aplicação, conforme Figura 3.

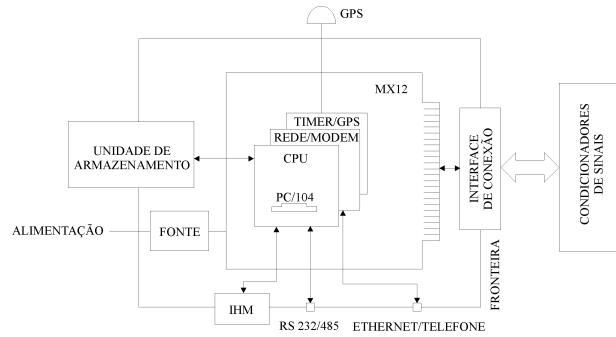


FIGURA 3

2.4.2 Microcomputadores e rede de comunicação

Microcomputadores *desktop* ou *notebook* tipo PC compatível, baseado em microprocessador Pentium ou superior, com interface gráfica de alta resolução, grande capacidade de armazenamento de dados e periféricos de comunicação e de uso geral. A rede de comunicação compreende o meio físico e os equipamentos e periféricos de conexão para comunicação entre as unidades do sistema. Pode ser implementada em diversas topologias. Como especificação base, utiliza-se arquitetura Ethernet com componentes óticos.

2.5 Componentes de software

Os principais componentes de software para integração das unidades do sistema são apresentados a seguir.

2.5.1 Sistema Embarcado

O Sistema Embarcado é o componente de software residente nas unidades de processamento (CPU) dos Módulos de Aquisição, Registro e Controle. É responsável pelo interfaceamento com o Ambiente de Programação e execução das configurações e modelos de cálculo definidos pelo usuário, comunicação via rede entre unidades do sistema, e pelo controle dos dispositivos periféricos associados, tais como placas de aquisição, portas de comunicação, IHM, sistema de sincronismo, etc. É construído sobre um sistema multitarefa, preemptivo, de tempo real.

2.5.2 Ambiente de programação

O Ambiente de Programação é formado por um conjunto de aplicativos padrão WINDOWS, PC compatível, utilizados para programação, simulação e ajuste de configurações do Sistema Embarcado, conforme descrito a seguir:

- Sistema de Edição de Configuração. Permite definir e compilar a configuração que será executada pelo Sistema Embarcado. Principais características: programação de modelos de cálculo adequada à norma

IEC1131-3 [3], com suporte de tarefas cíclicas e configurações em multitarefa; configuração de interface de entrada e saída; identificação das unidades do sistema; configuração de protocolos de comunicação; configuração da IHM (escolha das variáveis disponíveis para leitura/escrita); configuração do registrador de sinais (tempo de registro, lista de variáveis para disparo e armazenamento); configuração para padrão de armazenamento COMTRADE [5]; configuração da transmissão dos registros (automático, por solicitação ou temporizado).

- Sistema de Simulação. Permite simular no Ambiente de Programação a configuração que será executada pelo Sistema Embarcado. Principais características: simulação em tempo real; interface com dispositivos virtuais de entrada e saída.
- Sistema de Edição de Parâmetros *Online*. Permite editar os parâmetros durante a execução da configuração através da rede de comunicação. Principais características: interface com o Sistema Embarcado e com o Sistema de Simulação; edição dos parâmetros selecionados no Sistema de Edição de Configurações.
- Sistema de Visualização de Sinais *Online*. Permite visualizar variáveis da configuração programada. Principais características: interface com o Sistema Embarcado e Sistema de Simulação; escolha de variáveis, atributos e modos de apresentação para visualização; gravação e leitura das configurações de visualização; gravação dos sinais em arquivos de registro.

2.5.3 Sistema de gerenciamento de registros

O Sistema de Gerenciamento de Registros é formado por um conjunto de aplicativos padrão WINDOWS, PC compatível, utilizados para transmissão, recebimento e gerenciamento de registros realizados pelo software do Sistema Embarcado:

- Sistema de Recebimento de Registros. Recebe os registros do Sistema Embarcado ou do Sistema de Transmissão de registros. Características: recebimento de registros enviados automaticamente; solicitação de envio de registros; *scripts* para recebimento de registros por invocação ou tempo programado, seleção das unidades consultadas e parâmetros para execução; alimentação de base de dados.
- Sistema Concentrador de Registros. Sistema para gerenciamento e armazenamento de registros. Características: armazenamento dos registros recebidos; gerenciamento dos registros com interface para pesquisa; recebimento automático de registros.
- Sistema de Transmissão de Registros. Sistema para transmissão de registros via rede de comunicação. Principais características: configuração da transmissão dos registros e dos dispositivos de recebimento disponíveis; envio automático de registros na presença

de arquivos na fila de transmissão; envio de registro por solicitação do Sistema de Recebimento de Registros.

2.5.4 Sistema de análise de sinais

O Sistema de Análise de Sinais é um aplicativo padrão WINDOWS, PC compatível, utilizado na visualização e análise dos registros realizados. Apresenta funcionalidades com recursos para visualização e manipulação dos dados, como por exemplo:

- Janelas de traçado gráfico, com formatação de eixos, definição de limites, número de divisões, tipo de grade, unidades e cores, *zoom* e *scroll*;
- Modificação de base de tempo e referências de sinais;
- Documentação por comentários em formas de texto formatado associados aos sinais visualizados;
- Geração de figuras e ilustrações para execução de trabalhos em conjunto com editores de texto.
- Edição de tabela de pontos com consulta, alteração, inserção e exclusão de valores;
- Operações matemáticas e algoritmos específicos para manipulação e análise de sinais;
- Análise de vários registros simultaneamente, com sinais provenientes de distintas unidades do sistema.

2.5.5 Supervisão

Aplicação de software comercial, padrão WINDOWS, PC compatível, implementando sistemas supervisórios em interação com as unidades do sistema.

3.0 - APLICAÇÕES DO SISTEMA

Sob o contexto de aplicação da arquitetura e componentes apresentados, são comentadas três aplicações do Sistema de Monitoração de Distúrbios e da Dinâmica de Sistemas Elétricos de Potência.

3.1 Monitoração de oscilações interárea em escala nacional [2]

A principal finalidade desta aplicação é de monitorar o nível de amortecimento do sistema elétrico, nos modos de oscilações inter-áreas. As medidas de potência ativa, potência reativa, tensão e frequência das linhas de transmissão são as grandezas de interesse para monitoração. São adquiridas de transdutores instalados na planta ou calculadas por software a partir das medições de corrente e tensão disponíveis. Os registros do comportamento dinâmico do sistema elétrico são feitos a partir de Unidades Locais de Monitoração (ULM) instaladas nos principais pontos do sistema de transmissão de energia, para operação desassistida e programação local ou remota a partir de centros de controle e estudo. Os dados adquiridos são transferidos para Unidades Centrais de Análise (UCA), instaladas

nos centros de controle e estudos. A comunicação entre unidades é realizada através de modems telefônicos. Uma visão geral da arquitetura do sistema pode ser observada na Figura 4.

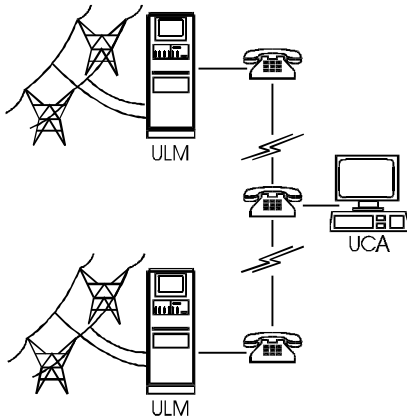


FIGURA 4

Um registro realizado em ensaio do sistema elétrico é apresentado na Figura 5.

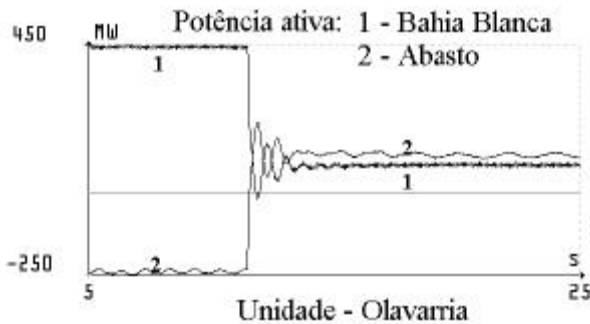


FIGURA 5

3.2 Controle de velocidade de um grupo gerador de energia elétrica

O objetivo desta aplicação é o controle de velocidade/carga da turbina de um grupo gerador de energia elétrica. Envolve a aquisição de dados (posição dos acionamentos hidráulicos, velocidade e potência ativa, estados de entradas e saídas lógicas de controle e proteção da turbina, comandos de painel), e geração de referência de tensão para a servoválvula de controle. O regulador de velocidade implementa a lógica de partida e parada do grupo gerador, calcula a função de controle e atua no sistema através de configuração definida pelo usuário. A programação é implementada através de blocos funcionais disponíveis (funções lógicas, aritméticas, flip-flops, filtros, não-lineares, entre outros). A configuração é feita através de porta serial, e carregada em disco de estado sólido. Blocos de sistema

permitem implementar configurações de *watchdog* e detecção e sinalização de falhas. Estão disponíveis recursos de visualização e ajuste dos valores de sinais e parâmetros através de IHM, e a realização de registros de sinais. Também é possível habilitar e operar os modos de teste do regulador e aplicar degraus para avaliar a resposta do sistema. Na Figura 6 temos um registro de ensaio de rejeição de 10MW de carga ativa no gerador.

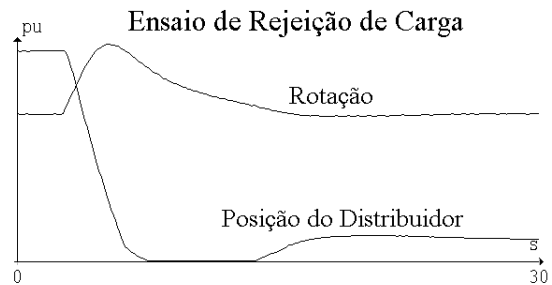


FIGURA 6

3.3 Registradores dispostos em rede numa subestação interligados com sala de controle local e centro de operação remoto

Esta aplicação objetiva a supervisão contínua de variáveis do sistema elétrico, tais como tensões, correntes, frequência, potência ativa, reativa e fator de potência, e registro de perturbações relativas a atuação de proteção, resposta dinâmica de geradores, oscilações de potência e limites de operação do sistema. Envolve a instalação de Unidades de Aquisição e Registro na planta de uma subestação de transmissão, interconectadas em rede a uma Unidade Concentradora na sala de controle da planta, para o envio automático de arquivos de registro. Em conexão remota com uma Unidade de Análise, disponibiliza os registros do sistema em um centro de operação. A Figura 7 ilustra a aplicação.

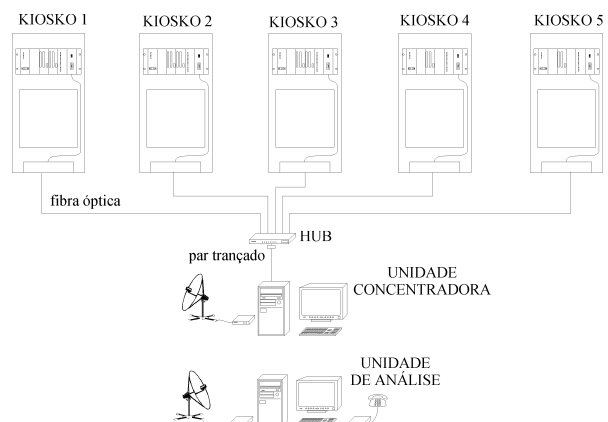


FIGURA 7

As Unidades de Aquisição e Registro são montadas em

rack padrão 19”, com condicionamento de sinais através de TPs e SCs (sensores Hall de corrente), Módulo de Aquisição baseado no padrão ISA/PC104, com CPU Pentium 233 MHz, 8 MB de memória RAM, disco de estado sólido com capacidade de 12MB, placa de rede Ethernet 10Mbps e placa de sincronismo baseada em GPS. A interface homem-máquina é um painel sinóptico com LEDs de sinalização e botões de comando. A comunicação é feita por rede Ethernet em fibra óptica e cabos de par trançado, em arquitetura estrela com Hub. Na Figura 8 apresentamos um registro de monitoração de linhas de 132 kV com intervalo de aquisição de 500µs.

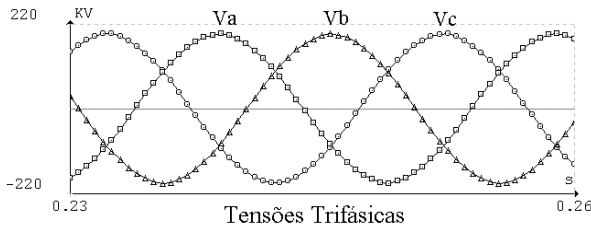


FIGURA 8

4.0 - CONCLUSÕES

O Sistema de Monitoração de Distúrbios e da Dinâmica de Sistemas Elétricos de Potência (SMX) possibilita registros e análise relativos às condições de operação do sistema elétrico, envolvendo as condições operativas antes, durante e após perturbações. Abrange perturbações transitórias (curto circuito ou falta), de longa duração (oscilação de potência, rejeição de carga) ou indicativas de dinâmica e desempenho (grandezas intrínsecas ao sistema de regulação de

geradores, estado operativo da proteção, valores de corrente e tensão, análise espectral, etc.). Sua abrangência é consequência da arquitetura modular com ampla flexibilidade de programação, que facilita a implementação em diversas áreas de aplicação, e permite o desenvolvimento gradual do sistema associado aos benefícios da evolução tecnológica.

5.0 - BIBLIOGRAFIA

- [1] Booch, G. et al. *UML – Unified Modeling Language*. Versão 1.1, www.rational.com/uml, 1997
- [2] FERREIRA, M. P., et al. *Um Sistema de Monitoração de Oscilações: Aplicação no Sistema Argentino*. XIV SNPTE Seminário Nacional de Produção e Distribuição de Energia Elétrica: Belém-PA, Brasil, 1997.
- [3] HAUER, J. et al. *Information Functions and Architecture for Networked Monitoring of Wide Area Power Systems Dynamics: Experience With Evolving Western System Dynamic Information Network*. Proceedings of VI Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Brazil: May, 1998.
- [4] *IEC1131 International Standard – Programmable Controllers*. IEC - International Electrotechnical Commission. 1st. ed., 1993.
- [5] *IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange - COMTRADE*. IEEE Power Engineering Society, October, 1991.
- [6] *PC/104 Specifications*. PC/104 Consortium, www.pc104.org/specs/specs.html, 1999.
- [7] PRESSMAN, Roger S.. *Engenharia de Software*. São Paulo: Makron Books, 1995.

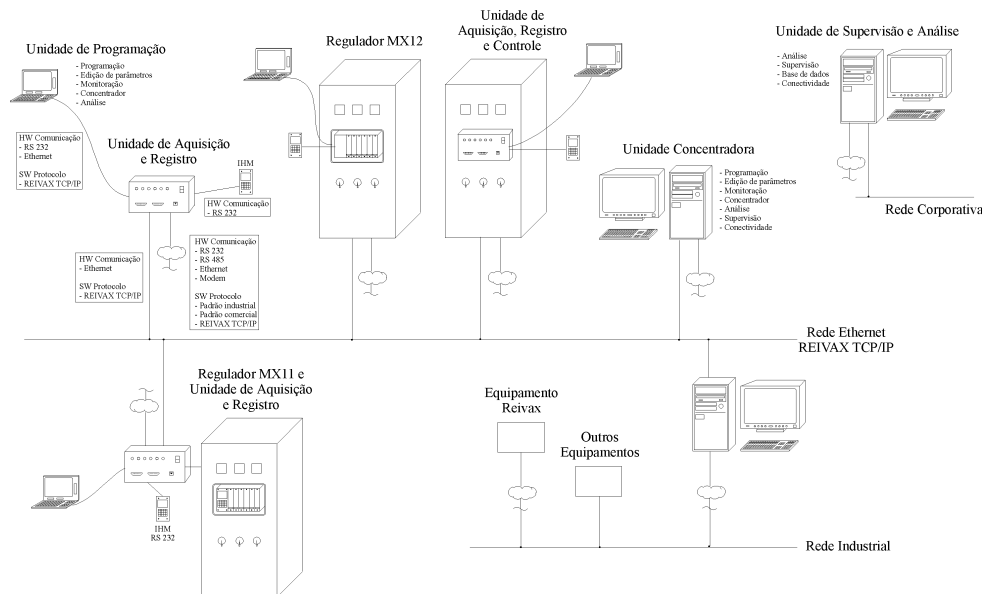


FIGURA 9