

# AUTOMAÇÃO DA SUBESTAÇÃO PRINCIPAL DE UM COMPLEXO DE MINERAÇÃO<sup>1</sup>

Allan de Oliveira Souto.<sup>2</sup>  
Marcos de Oliveira Fonseca.<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho se refere ao projeto de modernização de uma subestação principal que alimenta um complexo de mineração. A resolução de problemas e a melhoria operacional através de soluções como digitalização e sistemas de controle e supervisão serão destacados neste artigo, além da detecção da fonte e da causa de falhas em tempo real. O objetivo é descrever o processo em questão, assim como seus problemas e necessidades operacionais. As características da solução de automação e proteção adotadas, visando atender às necessidades técnicas e operacionais da subestação, serão apresentadas. Os principais requisitos da solução utilizados para otimização da performance do sistema elétrico serão detalhados, assim como a monitoração de grandezas elétricas e a supervisão do *status* dos dispositivos de manobra e proteção. A detecção e o rastreamento da fonte de falhas surgirá como resultado da modernização implementada.

**Palavras-chave:** Subestação; Modernização; Proteção; Automação.

## MAIN SUBSTATION OF MINING COMPLEX AUTOMATION

### Abstract

This work concerns the modernization project of a main substation that supplies energy to a mining complex. The problems resolution and operational improvement using solutions as digital relays and control and supervisory systems will be detailed in this paper, beyond the detection of source and cause faults in real time. The target is to describe the process as well as its problems and operational necessities. The features of the automation and protection solution developed to resolve the technical and operational necessities of the main substation will be presented. The main requirements of a solution used to improve the electrical system performance will be discussed, as well as the detailed measurements monitoring and the supervision of protection device status. The source faults detection and tracking will appear as a result of the implemented modernization.

**Key words:** Substation; Modernization; Automation; Falts detection.

<sup>1</sup> Trabalho técnico apresentado ao X Seminário de Automação de Processos, 4 a 6 de outubro de 2006, Belo Horizonte – MG.

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricista, Departamento de Automação Industrial da ATAN Sistemas, Belo Horizonte – MG, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Eletrônico, M.Sc., Diretor de P&D da ATAN Sistemas, Belo Horizonte – MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A intensificação da automação de processos vem implicando em profundos impactos nos processos produtivos em diversos segmentos industriais e em toda a sua cadeia produtiva. Nas subestações que alimentam esses processos produtivos não é diferente, onde equipamentos de medição e proteção eletromecânicos obsoletos estão sendo substituídos por equipamentos mais modernos e microprocessados. Sendo assim, subestações de energia responsáveis pela alimentação elétrica de todo um parque industrial passam a ser automatizadas e operadas remotamente de uma maneira inimaginável a poucos anos atrás.

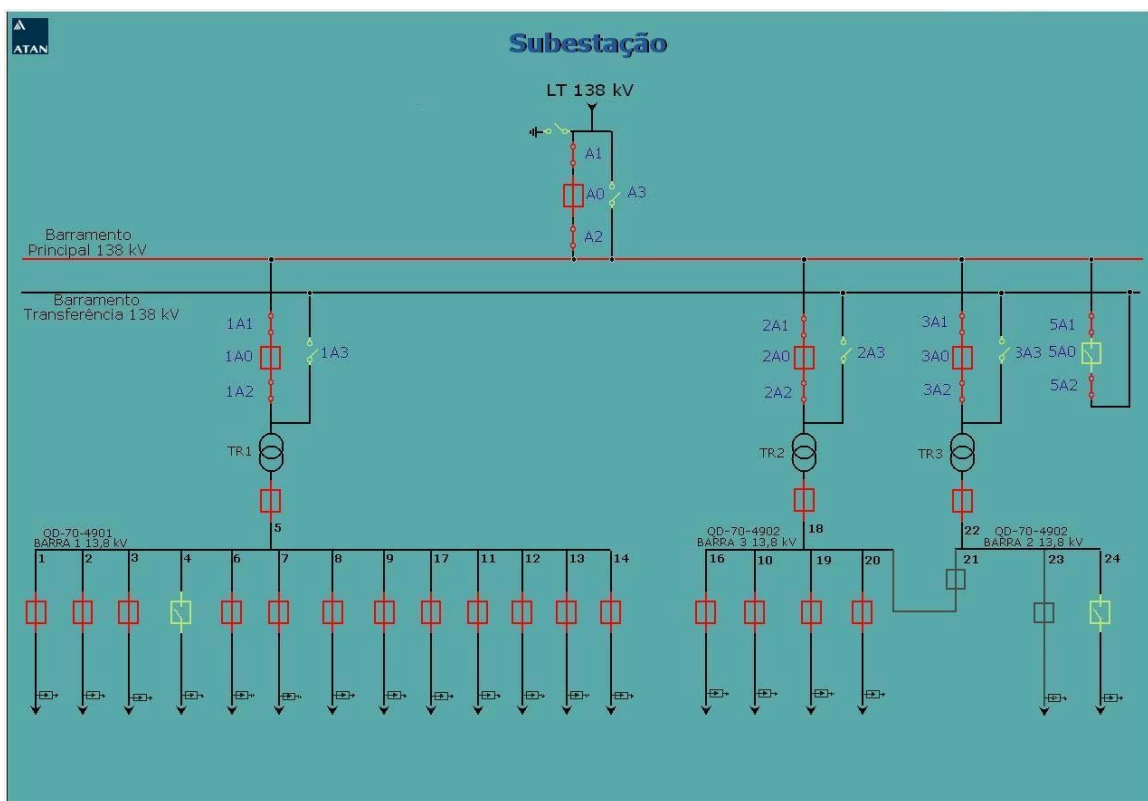
A tecnologia eletromecânica estava bem estabelecida e sempre teve uma reputação de durabilidade e confiabilidade, porém vislumbrou-se que com a aplicação de sistemas digitais haveria uma maior flexibilidade de aplicação, maior compactação dos equipamentos, uma melhor performance dos sistemas e a exploração de um novo nicho pelos fabricantes desses sistemas. Ao passar dos tempos, investimentos maciços vêm sendo realizados para o aperfeiçoamento de sistemas digitais de proteção, de modo que hoje esta tecnologia já conquistou definitivamente o seu espaço nas SE's industriais e é aplicada em larga escala.

A aplicação desta tecnologia de proteção digital porém é muitas vezes tratada como um elemento a parte do sistema de potência em si, uma vez que todo o seu potencial, não apenas como sistema de proteção mas também como ferramenta para análise da energia e monitoração de dispositivos, não é aproveitado adequadamente para prover todos os benefícios possíveis a um sistema elétrico.

Assim o presente trabalho visa apresentar o processo de modernização e automação de uma subestação principal que alimenta um complexo de mineração de grande porte, os desafios enfrentados e os benefícios obtidos.

O sistema de proteção e controle anteriormente implantado na SE principal era composto de relés eletromecânicos independentes para cada função de proteção específica, assim não havia redundância de proteção no circuito. O intertravamento, interligação e controle para todas as funções de proteção, era composto por circuitos elétricos sem a troca de informações entre dispositivos, ou qualquer monitoração de grandezas elétricas ou rastreamento de faltas.

A modernização da subestação implicou na melhoria da performance do sistema elétrico como um todo através da substituição dos equipamentos obsoletos, como os relés eletromecânicos para relés multifunção microprocessados. A monitoração de grandezas elétrica detalhadas foi possibilitada com a instalação de um sistema de supervisão e controle, viabilizando a supervisão em tempo real do *status* de cada dispositivo e da detecção da fonte e da causa de falhas.



**Figura 1.** Diagrama unifilar geral da subestação principal de um complexo de mineração

## 2 ARQUITETURA DO SISTEMA

A modernização da SE Principal do complexo de mineração foi concebida levando em consideração tecnologias consagradas no mercado de automação industrial. A utilização de ferramentas já empregadas na automação do setor produtivo, viabiliza uma rápida reposição de dispositivos assim como uma manutenção mais ágil e eficaz.

As tecnologias levadas em consideração neste projeto foram:

- Relés multifunção microprocessados;
- Multimetro de energia;
- Controlador Lógico Programável;
- Antena e receptor GPS para sincronização dos dispositivos de proteção;
- Redes de campo Modbus RTU, padrão físico (RS-232 e RS-485);
- Rede de sincronização dos dispositivos de proteção padrão IRIG-B e
- Software supervisor de mercado;

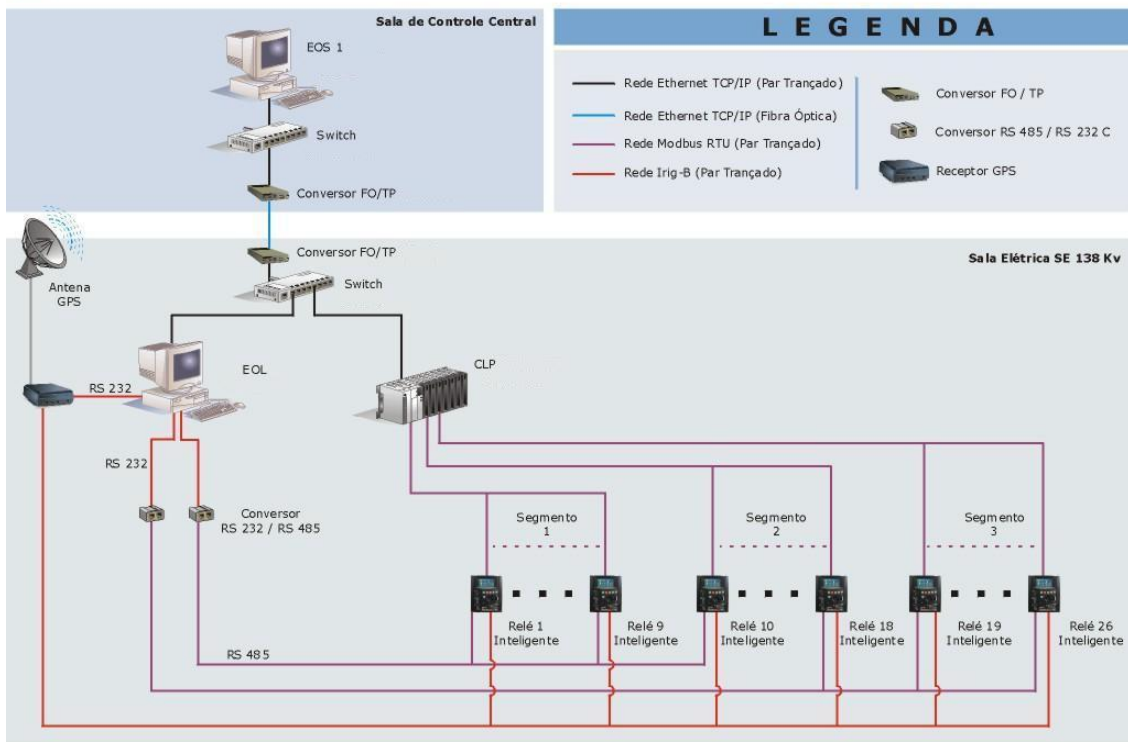


Fig. 63 (Rev.:003)

**Figura 2.** Arquitetura do sistema de automação da SE Principal

A digitalização da SE foi concebida por 25 relés digitais multifunção e 1 multimetro de energia, todos interligados em rede. Cada um dos 26 dispositivos se encontram conectados a uma rede de comando e aquisição de dados, uma rede de parametrização e uma rede de sincronização. Foi utilizado o padrão de comunicação Modbus RTU para a rede de comando e aquisição e para a rede de parametrização dos relés. A sincronização de cada dispositivo se deu via rede padrão IRIG-B conectada a um receptor e a uma antena adquirindo hora exata através do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

De forma a viabilizar a operação e a monitoração remota de todos os dispositivos elétricos da SE, foi concebido um sistema de automação baseado em um controlador lógico programável, interligado com os relés multifunção via rede de comando e aquisição, e duas estações de operação.

A seguir encontra-se a descrição dos principais componentes que constituem o sistema de automação e proteção da SE principal.

## 2.1 Relés Multifunção

Em subestações com automação integrada, os principais elementos de supervisão e controle passam a ser os relés multifunção digitais, que além da proteção, também desempenham as funções antes executadas pelas unidades de aquisição e controle (UAC's).

Podemos citar alguns dentre os vários benefícios provenientes da substituição dos relés eletromecânicos pelos relés multifunção microprocessados, como:

- padronização de equipamentos;
- novas funções de proteção;
- maior flexibilidade na aplicação;

- facilidades de comunicação e integração de dados;
- simplificação da manutenção e
- novas possibilidades de aquisição de dados operacionais.

Porém para que esses benefícios sejam extraídos do sistema de proteção implantado é preciso analisar e especificar uma gama muito maior de itens e um número maior de ajustes de parametrização durante a concepção do projeto.

Do ponto de vista da manutenção, os relés digitais possuem recursos como ajuste e aferição local, isto é, diretamente em interfaces nos painéis locais ou traseiros, programas especiais e recursos de auto-monitoramento que reduzem drasticamente o tempo gasto nestas operações, além disto é eliminada a necessidade de calibração como nos relés eletromecânicos.

Do ponto de vista da operação da SE como um todo, as novas possibilidades de aquisições de sinais, registro de eventos, oscilografias e até localização de faltas permitem a correta identificação do tipo de falta e da sua origem e localização, acelerando a implantação de medidas que possam viabilizar um rápido restabelecimento do sistema. Relés de proteção digitais trazem benefícios significativos em todos os aspectos dos sistemas de potência. Porém eles requerem maior sofisticação das instalações e principalmente uma qualificação diferenciada dos profissionais envolvidos nas várias etapas do projeto até a manutenção destes sistemas.

Para que fosse aproveitado todo potencial de integração de dados e diagnósticos provenientes do sistema elétrico, foi concebido na SE em questão uma infraestrutura de supervisão remota capaz de manobrar e adquirir o *status* dos principais dispositivos, além da análise em tempo real de grandezas elétricas e alarmes gerados pelos dispositivos de proteção.

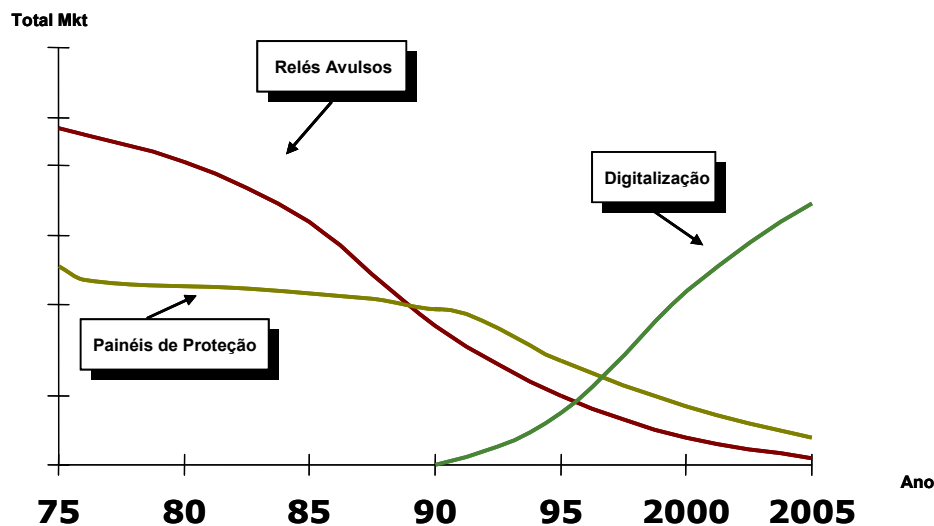


Figura 3. Histórico da digitalização de subestações no Brasil<sup>(1)</sup>

Foram utilizados os seguintes relés multifunção no projeto em questão:

- 1 relé para gerenciamento da alimentação (138kV) com atuação no disjuntor A0;
- 3 relés para gerenciamento de transformadores (TR1, TR2 e TR3) com atuação nos disjuntores 1A0, 2A0 e 3A0 e
- 21 relés para gerenciamento de cubículos de distribuição (13,8kV) cada um com atuação no respectivo disjuntor.

## 2.2 Multimedidor de Energia

Um multimedidor de energia foi utilizado para aquisição de grandezas elétricas no vão de alimentação da subestação principal pela concessionária de energia (vão de 138kV). Este tipo de equipamento é capaz de realizar diversas medições em um circuito elétrico e baseiam-se em circuitos eletrônicos compostos de conversores A/D que convertem os sinais de tensão e corrente em sinais digitais e microprocessadores que realizam os cálculos matemáticos para a medição de cada grandeza elétrica, sendo estas grandezas do tipo instantânea (tensão, corrente, frequência e potência) ou acumulativas (demanda e energia elétrica).

## 2.3 Parametrização

A parametrização dos relés de proteção pode ser feita tanto via painel frontal quanto via software específico para cada modelo de relé. Para que esta parametrização pudesse ser feita de forma centralizada e através de uma estação de engenharia única, concebeu-se uma rede de comunicação somente para este propósito.

O padrão de comunicação utilizado foi o Modbus RTU, protocolo de comunicação amplamente utilizado em sistemas de automação industrial e compatível com a maioria dos relés multifunção do mercado. Por ter suas especificações e normas em domínio público, o Modbus se tornou um protocolo utilizado por milhares de equipamentos existentes e uma das soluções de rede mais baratas a serem utilizadas em automação industrial. Utilizou-se o meio físico RS-485 para interligação dos 26 dispositivos em rede. Na variação RTU (*Remote Terminal Unit*) do Modbus, os dados são transmitidos em formato binário de oito bits, permitindo a compactação dos dados em pequenos pacotes.

## 2.4 Comando e Aquisição de Dados

A rede de comando e aquisição de dados é composta por um controlador lógico programável, pelos 25 relés de proteção e pelo multimedidor de energia. O padrão de comunicação utilizado foi o Modbus em duas de suas variações, RTU e Modbus Plus, esta última versão possui vários recursos adicionais de roteamento, diagnóstico, endereçamento e consistência de dados.

O CLP possui duas funções importantes na arquitetura de automação da SE em questão. Uma delas é a implementação das lógicas de comando dos principais dispositivos da SE, como chaves seccionadoras motorizadas e disjuntores, onde todo o intertravamento elétrico entre estes dispositivos também foi reproduzido em suas lógicas de comando. A outra função é a de nó mestre na rede Modbus de comando e aquisição de dados, onde os nós escravos são os relés de proteção. Desta forma, a cada ciclo de comunicação, o CLP lê o *status* e os diagnósticos dos dispositivos elétricos e escreve comandos de abertura e fechamento destes dispositivos para cada um dos relés. Como o sistema de controle de acesso é do tipo mestre-escravo, nenhum dos nós escravos inicia a comunicação a não ser para responder as solicitações do mestre.

Com o propósito de segmentar a rede de comando e aquisição de dados, foi utilizado um roteador Modbus. Desta forma os 26 nós da rede foram subdivididos fisicamente em três subredes, garantindo assim maior segurança e confiabilidade dos dados trafegados (ver figura 2). Para que o caminho lógico fosse estabelecido

entre o nó Modbus Master (CLP) e cada nó Modbus Slave (relés), distribuídos ao longo de cada subrede, foi implementado a tabela de roteamento a seguir através do roteador Modbus.

**Tabela 1.** Tabela de roteamento Modbus da rede de comando e aquisição de dados

Modbus Plus		Modbus RTU		Caminho de roteamento (CLP p/ Relés)
CLP (Nó 1)	Roteador Modbus (Nó 2)	Subrede 1 (Porta 1)	Nó 10 - relé do disjuntor AD	2 - 1 - 10
			Nó 11 - relé do disjuntor 1AD (TR1)	2 - 1 - 11
			Nó 12 - relé do disjuntor 2AD (TR2)	2 - 1 - 12
			Nó 13 - relé do disjuntor 3AD (TR3)	2 - 1 - 13
			Nó 14 - relé do cubículo 1	2 - 1 - 14
			Nó 15 - relé do cubículo 2	2 - 1 - 15
			Nó 16 - relé do cubículo 3	2 - 1 - 16
			Nó 17 - relé do cubículo 4	2 - 1 - 17
			Nó 18 - relé do cubículo 5	2 - 1 - 18
		Subrede 2 (Porta 2)	Nó 20 - relé do cubículo 6	2 - 2 - 20
			Nó 21 - relé do cubículo 7	2 - 2 - 21
			Nó 22 - relé do cubículo 8	2 - 2 - 22
			Nó 23 - relé do cubículo 9	2 - 2 - 23
			Nó 24 - relé do cubículo 10	2 - 2 - 24
			Nó 25 - relé do cubículo 11	2 - 2 - 25
			Nó 26 - relé do cubículo 12	2 - 2 - 26
			Nó 27 - relé do cubículo 13	2 - 2 - 27
			Nó 28 - relé do cubículo 14	2 - 2 - 28
		Subrede 3 (Porta 3)	Nó 30 - relé do cubículo 16	2 - 3 - 30
			Nó 31 - relé do cubículo 17	2 - 3 - 31
			Nó 32 - relé do cubículo 18	2 - 3 - 32
			Nó 33 - relé do cubículo 19	2 - 3 - 33
			Nó 34 - relé do cubículo 20	2 - 3 - 34
			Nó 35 - relé do cubículo 22	2 - 3 - 35
			Nó 36 - relé do cubículo 24	2 - 3 - 36

São funções do sistema de controle desenvolvido:

- Aquisição dos dados provenientes dos relés multifunção;
- Disponibilização de tais dados para o sistema de supervisão;
- Manobra de chaves seccionadoras motorizadas e disjuntores através de comandos provenientes do supervisório;
- Reprodução da lógica de intertravamentos elétricos na execução de manobras na subestação e
- Monitoração de grandezas elétricas de todos os *bays* (entrada, transformadores, *tie*, e cubículos de distribuição).

## 2.5 Sincronismo

O sistema de sincronização de tempo dos dispositivos de proteção é constituído por um receptor interligado a uma antena GPS (*Global Positioning System*). Através deste sistema é possível manter a mesma base de tempo nos relés multifunção com precisão de 1 ms. O objetivo da sincronização é melhorar a rastreabilidade na ocorrência de faltas e *trips* no sistema elétrico. Com todos os dispositivos de proteção na mesma base de tempo, consegue-se saber a sequência de atuação de cada dispositivo localizando de forma rápida e eficiente o local e o possível motivo da falta elétrica.

Foi utilizado o padrão de sinal IRIG-B (*Inter Range Instrumentation Group*). Este padrão consiste em uma família de sinais constituídos de códigos temporais que permitem sincronizar equipamentos compatíveis em uma mesma base de tempo. Estes sinais carregam informações de *time stamp* a cada segundo com precisão de 1 milissegundo. Foi utilizado o formato *B000*, que dita as seguintes características para o sinal em questão:

- Taxa de transmissão de 100 pulsos por segundo;
- Nível de tensão DC padrão TTL codificado por largura de pulso e
- Sinal não modulado.

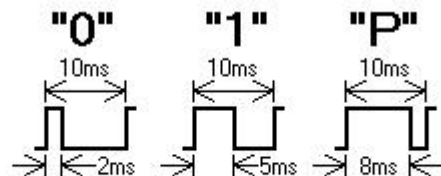


Figure 2.

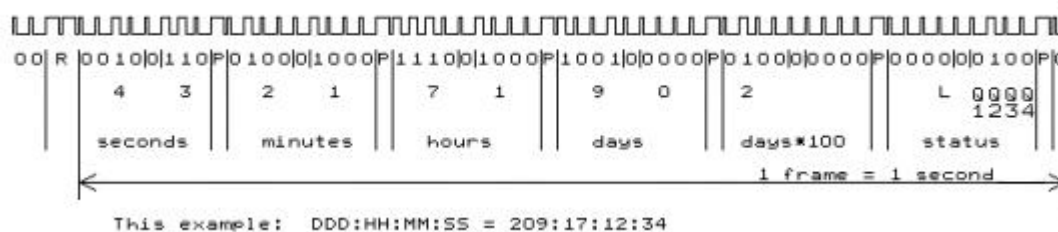


Figura 4- Exemplo do sinal IRIG-B gerado pelo receptor GPS

### 3 SISTEMA DE SUPERVISÃO

O sistema de supervisão é constituído de duas estações de operação interligadas com o CLP via rede Ethernet TCP/IP. Sendo uma estação de operação local (EOL), localizada na sala elétrica da subestação, e outra estação de operação e supervisão remota (EOS), localizada na sala de controle do complexo de mineração.

A plataforma de supervisão adotada foi a mesma utilizada na operação da planta industrial, eliminando a necessidade de treinamento adicional para a equipe de manutenção. Através das telas sinóticas é possível operar e monitorar os principais dispositivos da SE principal, contando com funcionalidades comuns a qualquer sistema de supervisão e controle.

Podemos destacar as seguintes funções para o sistema de supervisão desenvolvido:

- Apresentação do *status* da subestação através de telas sinóticas representadas por diagramas unifilares;
- Monitoração dos defeitos, estados e intertravamentos de cada dispositivo da SE;
- Monitoração de grandezas elétricas como tensão, corrente, potência e energia;
- Monitoração de alarmes e eventos;
- Análise de grandezas elétricas através de gráficos de tendência e
- Controle de acesso identificado por nível e privilégio para a operação do sistema.



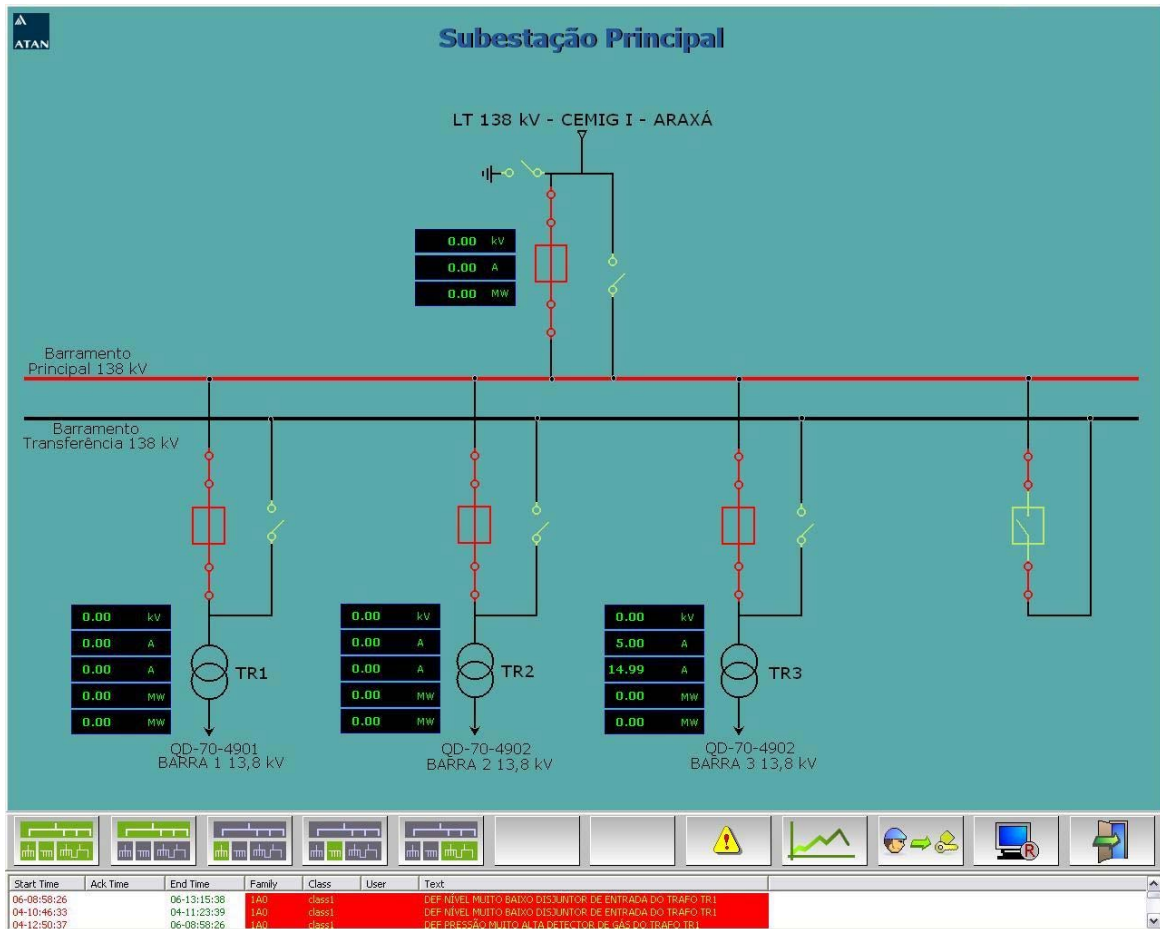


Figura 5. Tela sinótica representando a parte de alta tensão

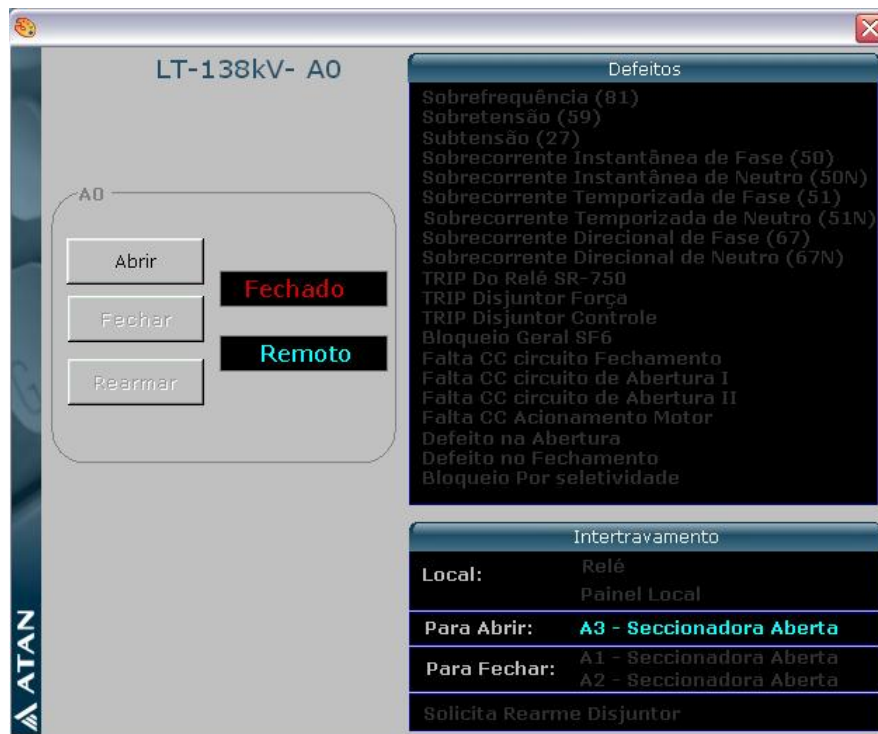


Figura 6. Janela de operação do disjuntor de entrada da SE

## 4 CONCLUSÕES

A modernização de uma subestação principal traz benefícios significativos em todos os aspectos do sistema de potência, não só para um complexo de mineração como para qualquer outra planta produtiva. Porém há uma sofisticação nas instalações, inerente a este processo, que requer principalmente uma qualificação diferenciada dos profissionais envolvidos nas várias etapas do projeto, desde a concepção do projeto básico até a manutenção do sistema implantado. A utilização de plataformas e tecnologias encontradas no sistema de automação do processo produtivo, personalizado para aplicações em sistema elétrico, garantiu uma manutenção rápida e eficaz além da disponibilidade de peças sobressalentes para uma possível reposição. Dentre os vários benefícios da digitalização e a concepção de um sistema de automação e controle para a SE principal, podemos citar o rastreamento e o diagnóstico rápido de falhas e a monitoração de variáveis importantes para a eficiência do sistema elétrico como um todo.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 HOFFMANN, B. “**Digitalização de Subestações**”, Inepar Equipamentos e Sistemas.
- 2 Padrão de comunicação Modbus. Disponível em: [www.modicon.com/techpubs/toc7.html](http://www.modicon.com/techpubs/toc7.html). Acessado em: 25 Maio de 2006.
- 3 IRIG-B Time Code Formats. Disponível em: <http://www.meinberg.de/english/info/irig.htm>. Acessado em: 30 Maio de 2006.