

# SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DO MINERODUTO DO SISTEMA MINAS-RIO DA ANGLO FERROUS BRAZIL<sup>1</sup>

*Pablo Parreiras Drumond Ferreira<sup>2</sup>  
Flávio Márcio de Lima<sup>3</sup>  
Mário Lopes da Fonseca<sup>4</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho visa descrever o fornecimento de serviços de automação, compreendendo especificação de equipamentos e softwares e desenvolvimento dos aplicativos para o sistema de automação do mineroduto Minas-Rio. Quando estiver concluído, o mineroduto terá 525 quilômetros e capacidade de escoamento de 26,5 milhões de toneladas de polpa de minério de ferro por ano, percorrendo 32 municípios dos dois Estados. O sistema de automação adotado permite a visualização e possibilita a operação de todo o Mineroduto através de qualquer uma das diversas estações de operação distribuídas nas salas de controle existentes ao longo do trecho e com tempo de resposta menor que um 1 segundo. O automatismo das seqüências operacionais do processo reduz a necessidade de interferência do operador. A disponibilidade de todos os dados de processo no sistema facilita o controle pela operação e permite a detecção de falhas, além do armazenamento do histórico do funcionamento do Mineroduto.

**Palavras-chave:** Mineroduto; Multiplexadores; Redundância.

## **AUTOMATION SYSTEM OF THE IRON ORE SLURRY PIPELINE OF THE MINAS-RIO SYSTEM OF ANGLO FERROUS BRAZIL**

## **Abstract**

This article describes the supply of the automation services, comprehending software and equipment specification for the automation of the Minas-Rio System. When completed, the pipeline will be 525 km and flow capacity of 26.5 million tons of iron ore slurry per year, covering 32 counties in both states. The automation system adopted allows process viewing and enables the operation of the entire Pipeline through any of the many operating stations distributed in the control rooms exist along the line and with response time less than a 1 second. The automation of the operational sequences reduces the need for operator intervention. The availability of all data in process control system facilitates the operation and allows the detection of flaws, and storage of historical operation data of the Pipeline.

**Key words:** Iron ore slurry pipeline; Multiplexer; Redundancy.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 14º Seminário de Automação de Processos, 6 a 8 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.*

<sup>2</sup> *Engenharia de Controle e Automação pela Escola de Minas – UFOP. Engenheiro de automação na IHM Engenharia.*

<sup>3</sup> *Engenharia Elétrica – PUC-MG. Consultor sênior para sistemas de automação na IHM Engenharia.*

<sup>4</sup> *Engenharia Elétrica – PUC-M. Consultor sênior para sistemas de automação na IHM Engenharia.*

## 1 INTRODUÇÃO

O primeiro registro da utilização de dutos foi para o transporte de água doce, na Assíria em 691 a.C. Os Romanos aperfeiçoaram a engenharia para o transporte de água, e os aquedutos se multiplicaram e tornaram-se mais complexos.<sup>(1)</sup> Com o passar dos séculos outros materiais passaram a ser transportados através de dutos, dentre eles o minério.

Dentre as opções para o transporte de minério, podem ser incluídos o teleférico, caminhões, correia transportadora, mineroduto, ferrovia e transporte fluvial e transoceânico. Existe um enorme número de variáveis envolvidas no processo de decisão pelo melhor modo de transporte: a distância a ser vencida, o tipo de minério manuseado, a granulometria do material a ser transferido, a taxa horária desejada, a topografia da região, a umidade do material, os custos de manutenção do sistema, os custos de energia, os impactos ambientais e sociais, dentre outros.<sup>(2)</sup> A Anglo Ferrous Brazil (AFB) optou pelo transporte por mineroduto para o sistema Minas-Rio, interligando suas unidades, localizadas em Alvorada de Minas - MG e São João da Barra - RJ. Quando finalizado, o mineroduto terá uma extensão de 525 Km (Figura 1).



Figura 1. Mineroduto do sistema Minas-Rio da Anglo Ferrous Brazil.

## 2 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de controle e supervisão a ser implantado no projeto propicia recursos amplos para a operação e supervisão do processo de forma a minimizar os erros operacionais, controlar o processo e propiciar o acompanhamento da produção. O sistema de controle do mineroduto é composto por:

- quatro CLPs da família Rockwell ControlLogix localizados em EB1, EB2, EV1 e Terminal, que controlarão os equipamentos do mineroduto exceto as bombas principais e as unidades hidráulicas;
- 18 CLPs da família S7-300 da Siemens que controlarão as bombas principais, sendo um CLP dedicado para cada bomba. Estes CLPs

- possuirão interface com os CLPs ControlLogix através da rede Profibus DP;
- cinco CLPs embarcados que controlarão as unidades hidráulicas. Estes CLPs possuirão interface com os CLPs ControlLogix através de entradas e saídas discretas e analógicas;
- dez CLPs da família Rockwell CompactLogix, sendo um em cada ponto de monitoramento de pressão - PMS - que objetivam obter dados de pressão e temperatura da polpa neste ponto;
- sete CLPs da família Rockwell CompactLogix, sendo um em cada ponto de proteção catódica – PC - com a finalidade de supervisionar os retificadores;

O sistema de supervisão é baseado no Factory Talk da Rockwell. O sistema de supervisão é composto por:

- dois conjuntos de servidores de dados redundantes (um em EB1 e um em EB2);
- dois servidores de domínio a serem instalados em EB1 e EB2;
- (seis) estações de operação (duas em EB1, duas em EB2, uma em EV1 e uma no terminal (sala de controle da Filtragem));
- duas estações de engenharia para desenvolvimento e manutenção do sistema. Estas estações serão instaladas em EB1 e em EB2.

A comunicação de dados ao longo do mineroduto segue padrão Ethernet, através de um par de fibras ópticas ligadas em anel. Será utilizado o sistema multiplexador de dados Jungle MUX da GE-Fanuc com capacidade de 622 Mbps. Neste sistema poderão trafegar dados de supervisão, controle, comunicação de voz e imagem, informações corporativas, segurança patrimonial etc.

### 3 ÁREAS DO PROCESSO

#### 3.1 EB1 – Estação de Bombas EB1

A Estação de Bombas EB1 está localizada em Conceição do Mato Dentro, a 695 metros de altura em relação ao nível médio do mar. Recebe a polpa vinda da usina de concentração através de um pequeno mineroduto. A polpa é armazenada em quatro tanques e homogeneizada para posterior bombeamento. Para controle desta área será usado um CLP ControlLogix da Rockwell, sem redundância de CPU. Os I/O serão da mesma família, distribuídos no painel do CLP e em onze remotas instaladas no campo. Os RTDs (Pt100) de proteção de motores serão ligados diretamente aos painéis de proteção dos mesmos, e suas temperaturas monitoradas através da rede Devicenet. Os demais RTDs deverão ser conectados a cartões específicos para este tipo de sinal. Os disjuntores serão comandados por I/O discretos.

Está previsto as seguintes redes de comunicação de dados:

- *Ethernet 1*: comunicação de dados entre CLPs e o sistema de supervisão / estações de engenharia;
- *Ethernet 2*: comunicação de dados entre CLPs da Rockwell;
- *Controlnet 1*: comunicação com remotas de campo;
- *Controlnet 2*: comunicação com remotas de campo;
- *Devicenet 1*: motores de acionamento de equipamentos principais (tags sem final R, exceto auxiliares das bombas GEHO);

- *Devicenet 2*: motores de acionamento de equipamentos reservas (tags com final R, exceto auxiliares das bombas GEHO);
- *Devicenet 3*: mmotores auxiliares e inversor de frequência das 4 bombas GEHO ímpares.
- *Devicenet 4*: motores auxiliares e inversor de frequência das 4 bombas GEHO pares;
- *Modbus TCP*: comunicação com os relés de proteção e multimedição;
- *Profibus 1*: comunicação com os controladores Siemens S7-300 das bombas GEHO ímpares, para troca de estados, intertravamentos e comandos;
- *Profibus 2*: comunicação com os controladores Siemens S7-300 das bombas GEHO pares, para troca de estados, intertravamentos e comandos.

A estação de bombas 1 é o principal ponto de controle de todo o mineroduto. Através das estações de operação será possível monitorar o estado dos equipamentos e variáveis de processo (pressão, densidade, nível, etc.) de todas as estações do mineroduto (EB1, EB2, EV1, Terminal, PMS e PCs), além de comandar todos os equipamentos da planta, exceto EB2. Para comandar os equipamentos da planta de EB2, será necessário a utilização de uma senha específica que permita nível de acesso para tal. Haverá troca de dados do CLP de EB1 com o CLP de EB2 via rede Ethernet dedicada a intertravamentos, de maneira a garantir uma operação segura do mineroduto. A Figura 2 ilustra a configuração do sistema em EB1.



Sala de Controle

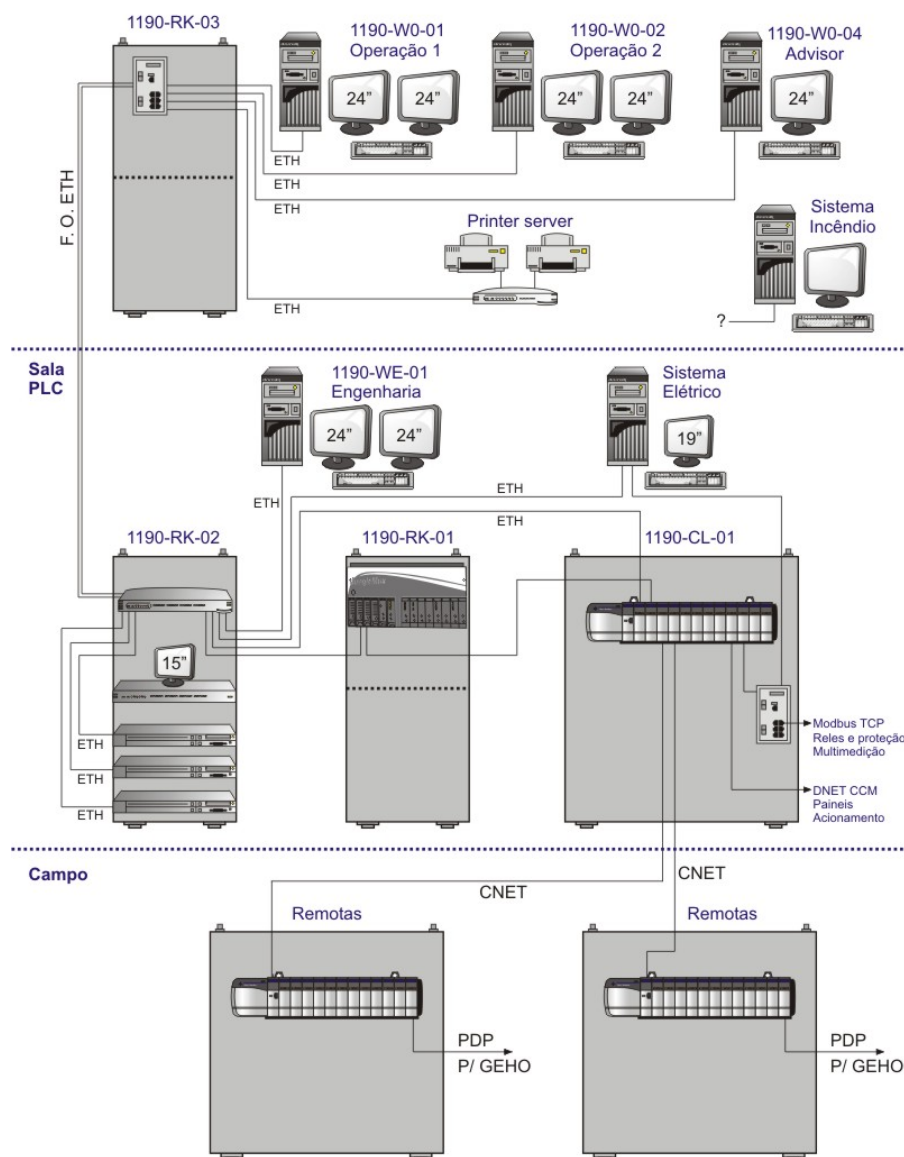


Figura 2. Configuração EB1.

### 3.2EB2 - Estação de Bombas EB2

A Estação de Bombas EB2 está localizada em Santo Antônio do Grama, no km 239,6 do mineroduto. Está a 559 metros de altura em relação ao nível médio do mar. Recebe a polpa vinda da estação de bombeamento EB1 e bombeia o material para o terminal. Pode também armazenar o material recebido em um tanque para posterior bombeamento.

Para controle desta área será usado um CLP Controllogix da Rockwell, sem redundância de CPU. Os I/O serão da mesma família, distribuídos no painel do CLP e em onze remotas instaladas no campo.

Os RTDs (Pt100) de proteção de motores deverão ser ligados diretamente aos painéis de proteção dos mesmos sempre que possível e suas temperaturas monitoradas através da rede Devicenet. Os demais RTDs deverão ser conectados a cartões específicos para este tipo de sinal. Os disjuntores serão comandados por I/O discretos.

Está previsto as seguintes redes de comunicação de dados:

- *Ethernet 1*: comunicação de dados com sistemas supervisórios e estação de engenharia;
- *Ethernet 2*: comunicação de dados entre CLPs da Rockwell;
- *Controlnet 1*: Comunicação com remotas de campo;
- *Controlnet 2*: comunicação com remotas de campo;
- *Devicenet 1*: motores de acionamento de equipamentos principais (tags sem final R, exceto auxiliares das bombas GEHO);
- *Devicenet 2*: motores de acionamento de equipamentos reservas (tags com final R, exceto auxiliares das bombas GEHO);
- *Devicenet 3*: motores auxiliares e inversor de frequência das 4 bombas GEHO ímpares;
- *Devicenet 4*: otores auxiliares e inversor de frequência das 4 bombas GEHO pares;
- *Modbus TCP 1*: Comunicação com os relés de proteção e multimedição;
- *Profibus 1*: comunicação com os controladores Siemens S7-300 das bombas GEHO ímpares, para troca de estados, intertravamentos e comandos;
- *Profibus 2*: comunicação com os controladores Siemens S7-300 das bombas GEHO pares, para troca de estados, intertravamentos e comandos;

Através das estações de operação será possível monitorar o estado dos equipamentos e variáveis de processo (pressão, densidade, nível etc.) de todas as estações do mineroduto (EB1, EB2, EV1, Terminal, PMS e PCs) , além de comandar todos os equipamentos da planta, exceto EB1. Para comandar os equipamentos da planta de EB1, será necessário a utilização de uma senha específica que permita nível de acesso para tal.

Haverá troca de dados do CLP de EB2 com os CLPs de EB1, EV1 e Terminal, via rede Ethernet dedicada a intertravamentos, para garantir uma operação segura do mineroduto. A Figura 3 ilustra a configuração do sistema em EB2.

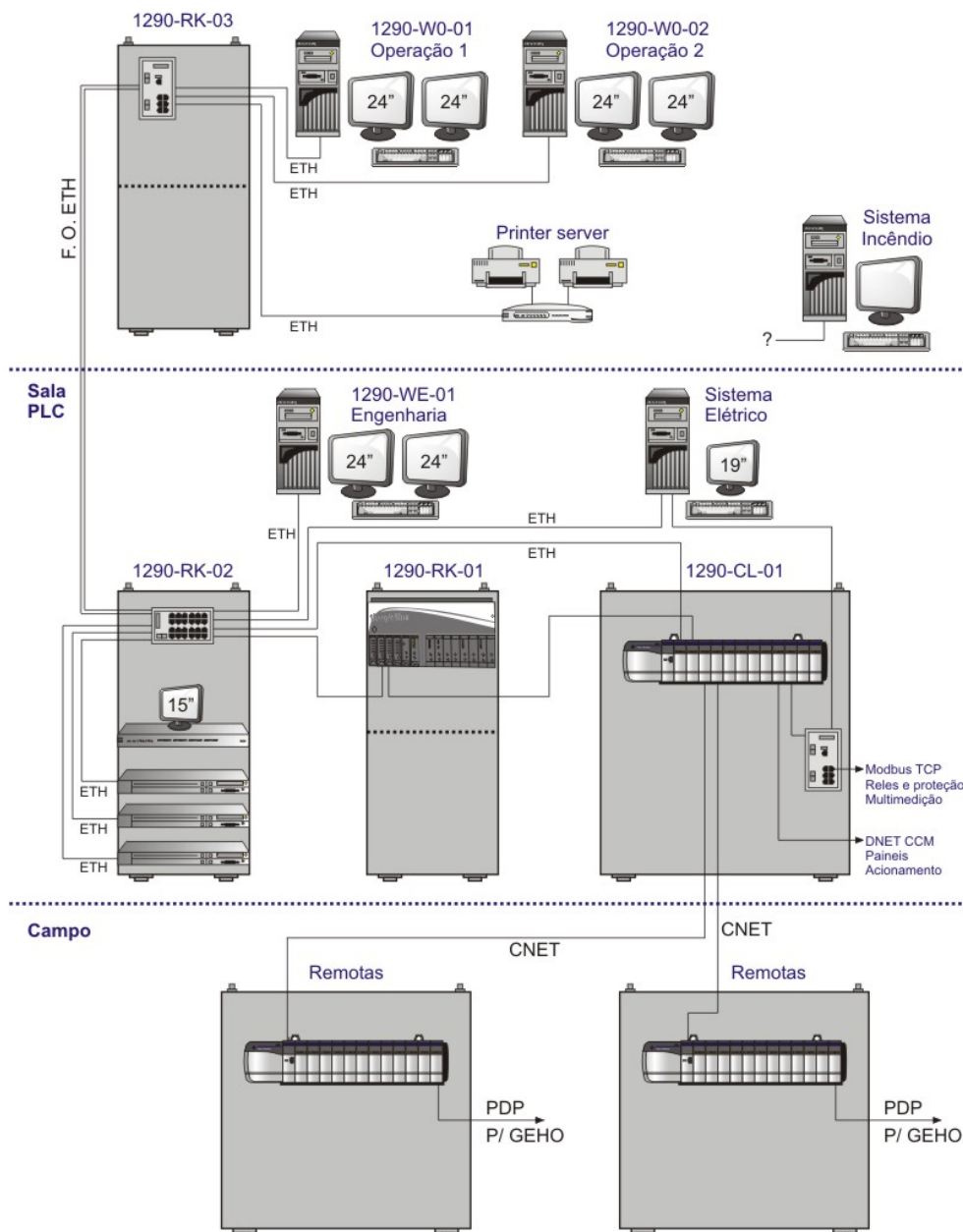


Figura 3. Sala de Controle - Configuração EB2.

### 3.3 EV1 - Estação de Válvulas

A Estação de Válvulas EV1 está localizada em Tombos, no km 250 do mineroduto. Está a 381 metros de altura em relação ao nível médio do mar. Sua função é controlar a pressão ao longo do segundo trecho do mineroduto e quebrar a coluna de polpa no caso de uma parada da planta. A operação desta área será feita prioritariamente através das estações de operação de EB1 e/ou EB2. Através da estação de operação será possível monitorar o estado dos equipamentos e variáveis de processo (pressão, densidade, nível etc.) de todas as estações do mineroduto (EB1, EB2, EV1, Terminal, PMS e PCs), além de comandar os equipamentos de EV1. Com senha adequada, será possível comandar os equipamentos de qualquer outra área do mineroduto.

Estamos prevendo as seguintes redes de comunicação de dados:

- Ethernet 1: comunicação de dados com sistemas supervisórios e estação de engenharia;
- *Ethernet 2*: comunicação de dados entre CLPs da Rockwell;
- *Modbus TCP 1*: comunicação com os relés de proteção e multimedição;

A Figura 4 ilustra a configuração do sistema em EV1.

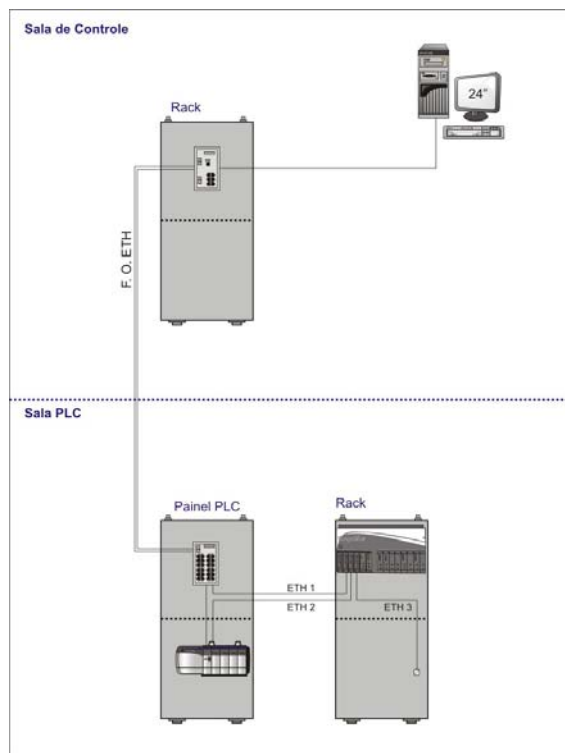


Figura 4. Configuração EV1.

### 3.4 TS – Terminal de Recebimento de Polpa

O Terminal de recebimento de popa está localizado em São João da Barra, no km 525 do mineroduto. Está a 10 metros de altura em relação ao nível médio do mar. Recebe a polpa bombeada através do mineroduto e encaminha aos tanques de recebimento, espessador ou pond. A operação desta área será feita prioritariamente através das estações de operação de EB1 e/ou EB2. Para monitoração e comando local da área, será instalado na sala de comando da Filtragem uma estação de operação. Para monitoração e comando do sistema elétrico desta área será utilizado o mesmo sistema de supervisão do sistema elétrico da Filtragem. Através da estação de operação será possível monitorar o estado dos equipamentos e variáveis de processo (pressão, densidade, nível, etc.) de todas as estações do mineroduto (EB1, EB2, EV1, Terminal, PMS e PCs), além de comandar os equipamentos do terminal. Com senha adequada, será possível comandar os equipamentos de qualquer outra área do mineroduto. Está previsto as seguintes redes de comunicação de dados:

- *Ethernet 1*: comunicação de dados com sistemas supervisórios e estação de engenharia;
- *Ethernet 2*: comunicação de dados entre CLPs da Rockwell;
- *ControlNet 1*: comunicação com remotas de campo;
- *DeviceNet 1*: motores de acionamento de equipamentos;



- *Modbus TCP1*: comunicação com os relés de proteção e multimedição;

A Figura 5 ilustra a configuração do sistema em TS.

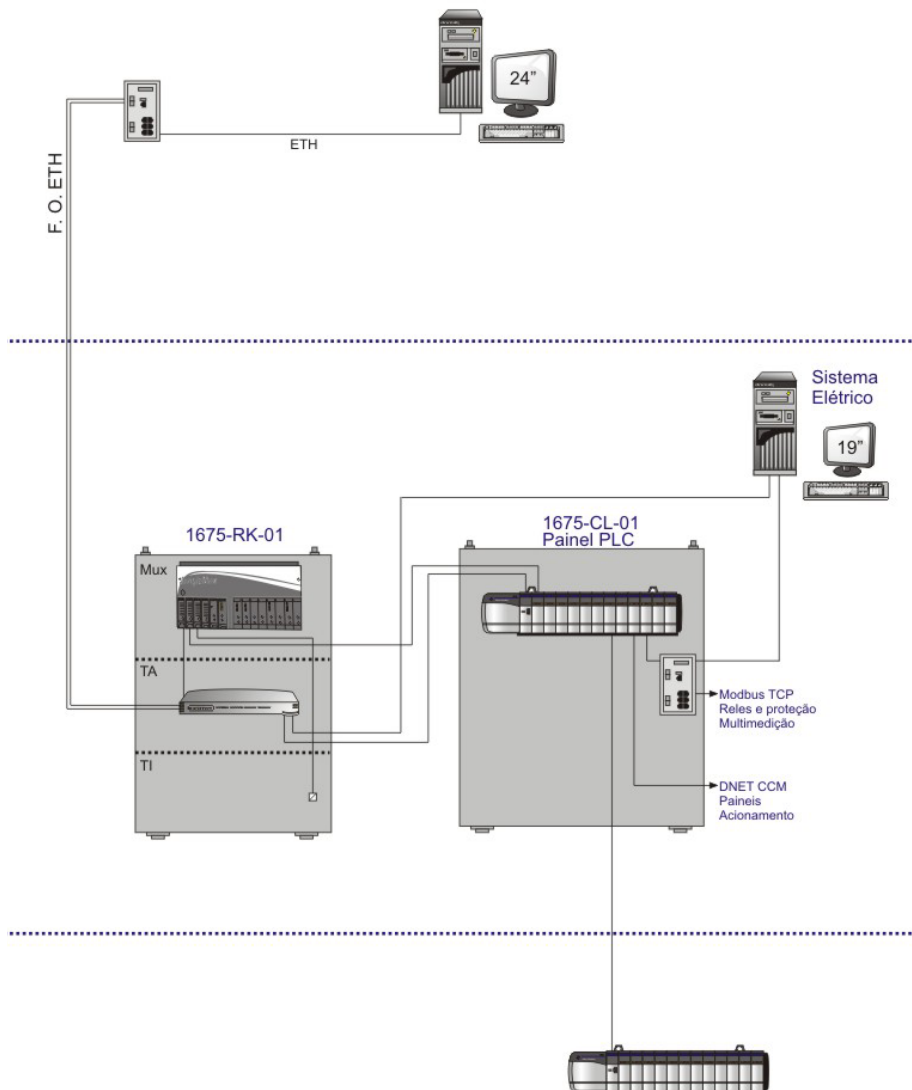


Figura 5. Desenho Configuração TS.

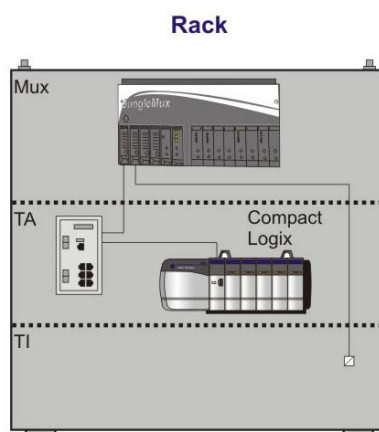
### 3.5 PMS – Pontos de Monitoração de Pressão

Os Pontos de monitoração de pressa (PMS) estão localizados ao longo do mineroduto (Tabela 1).

**Tabela 1.** Localidades dos pontos de monitoração de pressão

PMS	KM	LOCALIDADE
1	33,304	Conceição do Mato Dentro
2	75,964	Itambé do Mato Dentro
3	105,983	Santa Maria de Itabira
4	178,510	São Domingos do Prata
5	271,925	Sericita
6	288,641	Divino
7	313,257	Carangola
8	323,252	Carangola
9	415,581	Itaperuna
10	481,082	Campos dos Goytacazes

OS PMS tem por objetivo monitorar pressão e a temperatura da polpa em pontos estratégicos do mineroduto e monitorar também a falta de tensão no ponto, a invasão da casa e os alarmes do multiplexador. Em cada PMS está previsto a instalação de um CLP CompactLogix com cartões de entradas discretas e analógicas. A Figura 6 ilustra a configuração do PMS.



**Figura 6.** Desenho Configuração PMS.

### 3.6 PC - Proteções Catódicas

As Proteções catódicas (PC) estão localizados ao longo do mineroduto (Tabela 2).

**Tabela 2.** Localidades dos pontos de monitoração de pressão

PC	KM	LOCALIDADE	ALTITUDE (m)
1	10,839	Conceição do Mato Dentro	
2	83,153	Itambé do Mato Dentro	
3	164,093	São Domingos do Prata	
4	248,427	Jequeri	
5	345,209	Tombos	
6	406,275	Ipateruna	
7	458,476	Campos dos Goytacazes	

As Proteções catódicas tem por objetivo monitor as tensões e correntes aplicadas ao mineroduto para proteção contra corrosão. Em cada PC está previsto a instalação de um CLP CompactLogix com cartões de entradas discretas e analógicas. A Figura 7 ilustra a configuração do PC.

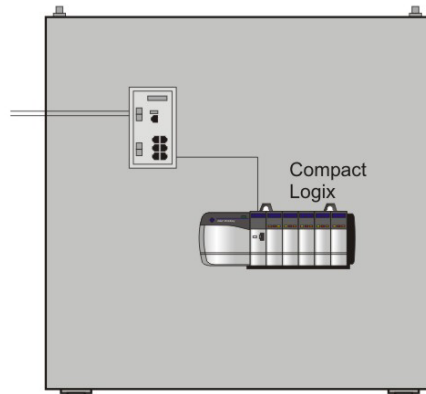


Figura 7. Painel OLC - Desenho Configuração PC.

#### 4 SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE

Estão previstos os seguintes sinóticos:

- *Estação de bombas EB1*: apresenta os equipamentos principais (tanques e agitadores, bombas de carga, bombas GEHO, válvulas de polpa e de água), os fluxos principais e os dados de processo da área.
- *Estação de bombas EB1 – Auxiliar*: apresenta os equipamentos auxiliares da área (bombas de água de selagem, de água de diluição, de lavagem, sistema de refrigeração dos motores e redutores, sistemas hidráulicos, sistema de ar comprimido) e os dados de processo associados.
- *Estação de bombas EB2*: apresenta os equipamentos principais da área (tanque e agitador, bombas de carga, bombas GEHO, válvulas de polpa e de água) os fluxos principais e os dados de processo da área.
- *Estação de bombas EB2 – Auxiliar*: apresenta os equipamentos auxiliares da área (bombas de água de selagem, de lavagem, sistema de refrigeração dos motores e redutores, sistemas hidráulicos, sistema de ar comprimido) e os dados de processo associados.
- *Estação de válvula EV1*: apresenta os equipamentos da área (válvulas, sistema hidráulico, sistema de ar comprimido) e os dados de processo associados.
- *Terminal*: Apresenta os equipamentos da área (tanques, bombas, válvulas, sistema hidráulico, sistema de ar comprimido) e os dados de processo associados.
- *Geral*: apresenta uma visão macro do mineroduto, exibindo informações de EB1 (níveis dos tanques e estado dos agitadores, estado das bombas GEHO, vazão, densidade e pressão de descarga), EB2 (nível do tanque e estado do agitador, estado das bombas GEHO, estados das válvulas de entrada do loop e de interligação das seções do mineroduto, pressão, densidade e vazão na entrada da estação, pressão de descarga da estação), EV1 (estado das válvulas, pressões de entrada e saída da estação), Terminal (nível dos tanques e estado dos agitadores, estado das válvulas, pressão, vazão e densidade na entrada da estação). Exibirá também os dados de processo e estado dos PMS e PCs.

- *Pressões*: apresenta uma visão macro do mineroduto e a curvas de histórico das pressões nos diversos pontos do mineroduto (saída de EB1, entrada e saída de EB2, entrada e saída de EV1 e entrada do terminal) e dos PMS.
- *Detalhes da bomba GEHO*: apresenta o estado de cada um dos motores da bomba bem como os valores das variáveis analógicas associadas à bomba. Existirá uma para cada bomba GEHO, que será acessada a partir do sinótico de EB1 ou EB2, pressionando sobre o ícone representativo de cada uma delas.
- *Configuração do sistema*: apresenta a configuração geral do sistema de automação onde são representados todos os equipamentos de automação e comunicação de dados (controladores, micros, switch, roteadores, multiplexadores, etc) e sua condição atual (normal / alarme / falha).
- *Sistema elétrico*: apresenta o layout dos CCMs e onde são representadas as principais grandezas do processo (tensão, corrente, potência), estados dos disjuntores e seccionadoras etc.

## 5 CRONOGRAMA

O Projeto foi desenvolvido em um prazo total de seis meses e meio, conforme detalhado a seguir:

- 1 mês - Elaboração e aprovação da Especificação Funcional do Sistema de Controle - 2 profissionais;
- 1 mês - Desenvolvimento da biblioteca e testes - 3 profissionais;
- 4 meses - Desenvolvimento dos aplicativos de controle e supervisão - 15 profissionais;
- 2 semanas - Testes de plataforma - 3 profissionais.

## 6 CONCLUSÃO

Este projeto tem como desafio garantir a estabilidade e confiabilidade do sistema de automação do Mineroduto Minas-Rio, considerando as longas distâncias envolvidas além das dificuldades de acesso. Tem-se como objetivo, desde a concepção do projeto, o desenvolvimento de uma solução com tempos de resposta reduzidos, automatismo das sequências de operacionais, disponibilidade dos dados do sistema em tempo real e histórico, possibilidade de operação e manutenção do sistema em diversos pontos ao longo do trecho. Sempre com este foco, a arquitetura foi concebida utilizando-se de tecnologia de ponta disponível no mercado.

## REFERÊNCIAS

- 1 ABRIL. Planeta sustentável. Disponível em: <[http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo\\_265339.shtml](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo_265339.shtml)>. Acesso em: 20 abr. 2008.
- 2 REIS, R. L. G. A difícil tarefa de escolher o melhor sistema de transportes. Revista Brasil Mineral, v. 25, n.271, p.66-69, Abr. 2008.
- 3 ABRACO. Disponível em: <<http://www.abraco.org.br/protECAO.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2008.