Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais

Alessandro Lanzillotta

UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA ETHERNET COMO REDE DE AUTOMAÇÃO

Rio de Janeiro

2013

Alessandro Lanzillotta

UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA ETHERNET COMO REDE DE AUTOMAÇÃO

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Moacyr Henrique da Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

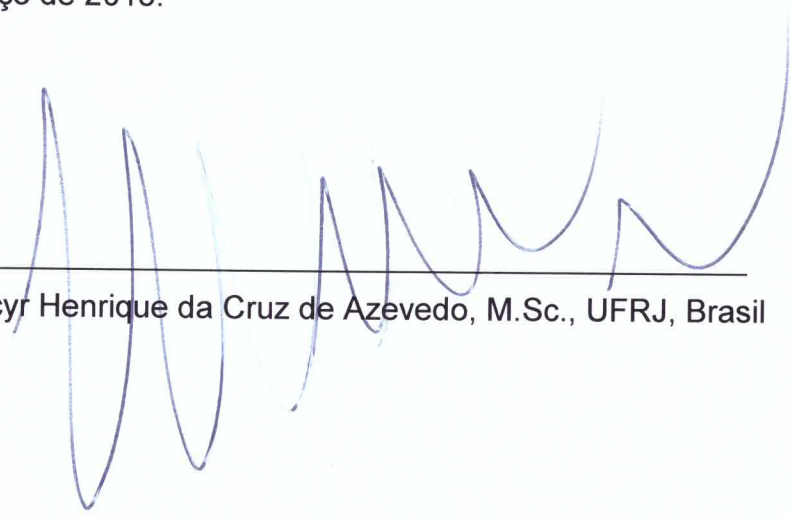
2013

Alessandro Lanzillotta

UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA ETHERNET COMO REDE DE AUTOMAÇÃO

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em março de 2013.



Moacyr Henrique da Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por permitir que este objetivo pudesse ser alcançado.

Gostaria de agradecer aos familiares pela ajuda e incentivo. A minha esposa pela dedicação e paciência.

As minhas filhas Alessandra e Carolina compreendendo minha ausência.

À empresa Petrobras pela oportunidade.

Aos Gerentes Petrobras da RBG/INFRA Rene de Abreu e do RBG/INFRA/AUTO Diorgenes Penteado.

RESUMO

LANZILLOTTA, Alessandro. **UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA ETHERNET COMO REDE DE AUTOMAÇÃO**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet). Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Este trabalho discute a aplicação da tecnologia Ethernet em sistemas de automação para controle de processo e proteção elétrica. Foi utilizado como referência a rede de automação do Centro de Pesquisa do Petrobras. Será apresentada uma comparação da utilização da rede Ethernet de escritório e rede Ethernet Industrial. Para ajudar a entender serão descritos conceitos de automação como fluxograma de Processo e Engenharia, sensores, Controlador Lógico Programável. Além, disso será apresentado a topologia utilizada e o protocolo *MODBUS/TCP*.

ABSTRACT

LANZILLOTTA, Alessandro. **UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA ETHERNET COMO REDE DE AUTOMAÇÃO**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet). Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

This paper discusses the application of Ethernet technology into automation systems for process control and electrical protection. Was used as the reference network Automation Research Center of Petrobras. You will see a comparison of the use of Ethernet office network and Industrial Ethernet. To help understand the concept is described as flowchart Automation and Process Engineering, sensors, programmable logic controller. In addition, it will be presented the topology used and Modbus / TCP.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABD	Conversor de Meio
ASW	Switch de Automação
AFW	Firewall de Automação
BPDU	Bridge Protocol Data Units
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez
CF	Conversor de frequência
CIPD	Centro Integrado de Processamento de dados
CIC	Centro Integrado de Controle
CLP	Controlador Lógico Programável
CSMA-CD	Carrier Sense Multiple Access - Collision Detect
IEEE	Institute of Electric and Electronic Engineers
EGD	Ethernet Global Data
EIA	Electronic Industries Alliance
FIFO	Frist in, First out
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IHM	Interface Humano Maquina
ISA	The International Society of Automation
MAC	Media Access Control
MBAP	Modbus Apllication Protocol
NTP	Network Time Protocol
OSI	Open System Intercommunication
OUI	Organizational Unique Identifier
PDU	Protocol Data Unit
QoS	Quality of Service
RI	Rele Inteligente
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SNMP	Simple Network Management Protocol
STP	Spanning Tree Protocol
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol
TA	Tecnologia de Automação
TI	Tecnologia de Informação
TIA	Telecommunications Industry Association
TCP	Transmission Control Protocol
UTR	Unidade Terminal Remota
UR	Unidade de Refrigeração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

O CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello) tem objetivo de atender às demandas tecnológicas que impulsionam os projetos da área de energia da Petrobras. Está situado na Cidade Universitária da UFRJ, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro.

O Cenpes atual é formado pelo Cenpes (antigo) com aproximadamente 100 laboratórios e pela Ampliação o CENPES (novo) aproximadamente 305.000 m^2 com 250 laboratórios.

Nesta área encontra-se também construído o Centro Integrado de Processamento de Dados (CIPD) da Petrobras, ocupando aproximadamente 27.000 m^2. Possui um sistema com 99,98 % de confiabilidade operacional. O CIPD foi projetado para atender a expansão da Petrobras na área da Tecnologia da Informação.

Um complexo desse porte, com atividades especializadas, exigiu um sistema de infraestrutura seguro e com garantias de continuidade operacional.

O projeto da Central de Utilidades, denominado “coração do complexo”, é responsável pelo fornecimento seguro de todas as utilidades, como energia elétrica, água gelada e quente para sistemas de ar condicionado, ar comprimido, vácuo e estação de tratamento e reuso de águas.

Para um funcionamento seguro e eficiente de todas as utilidades do complexo foi utilizado um sistema de automação, que utiliza uma arquitetura versátil para interligar os subsistemas com objetivo de monitorar, supervisionar e controlar todos os processos.

Para este sistema de automação foram criadas redes de automação com a tecnologia LAN de comutação de pacotes, utilizando-se rede Ethernet padrão 802.3,

segregada fisicamente da rede corporativa. Esta rede interliga os vários dispositivos dos sistemas de automação. Esta monografia discute aspectos sobre a rede baseada nos seguintes pontos:

1. Comparação entre rede de escritório (Tecnologia de Informação) e rede industrial (Tecnologia de Automação);
2. Dispositivos de automação;
3. Rede Ethernet;
4. Topologia da Rede de Automação;
5. Determinismo;
6. Protocolos de comunicação;
7. Rede de Automação do CENPES.

As primeiras automações possuíam um sistema centralizado em um dispositivo chamado Controlador Logico Programável (CLP), isto é, todos os dispositivos de campo eram fisicamente conectados a este Controlador Programável. Esta primeira tecnologia dificultava muito a montagem, concentrando um grande volume de cabos em um único ponto.

Diante das inovações no hardware e no software os Controladores Programáveis tornaram-se mais flexíveis e com maior capacidade de processamento, com aumento da capacidade de memória, permitindo entradas e saídas remotas, isto é, descentralização da interligação dos dispositivos de campo.

No principio as Unidades Terminais Remotas(UTR), responsáveis pela aquisição de dados do campo, eram interligadas através de redes de comunicação proprietárias, utilizando protocolos proprietários, não permitindo a interoperabilidade entre fabricantes. Estas redes utilizam meios físicos RS-232, RS-422 e RS-485.

Hoje existe uma tendência em padronizar meios físicos e protocolos de comunicação para os Controladores Programáveis de modo a permitir que equipamentos de um fabricante interajam com equipamentos de outro fabricante.

Assim, a tecnologia Ethernet surgiu como o padrão de rede ao nível do sistema porque tem aceitação universal, a sua utilização continua a crescer, tem enorme popularidade da tecnologia, baixo custo de implementação, alta velocidade e alto desempenho, atualização tecnológica constante, facilidade de interconectividade, acesso remoto e facilidade no gerenciamento da rede e dos dispositivos de automação.

Atualmente, os principais fabricantes de dispositivos de automação utilizam a tecnologia Ethernet.

2 COMPARAÇÃO DA REDE ETHERNET DE ESCRITÓRIO COM A REDE ETHERNET INDUSTRIAL

Atualmente, a tecnologia Ethernet é a mais difundida para comunicação entre computadores. Seguindo esta tendência os projetistas de redes de automação, buscando a padronização e redução de custos, estão adotando esta tecnologia para redes de automação industriais e prediais.

Mesmo baseando na mesma tecnologia, há diferenças entre a rede de escritório (Tecnologia de Informação) e rede de automação (Tecnologia de Automação).

Estas diferenças estão mostradas a seguir:

2.1 INSTALAÇÃO

A maioria das instalações dos dispositivos (*switches*, roteadores) da rede de TI é realizada em racks de 19 polegadas em ambientes refrigerados com temperatura controlada em salas satélites. O acesso aos componentes são normalmente locais e de fácil acesso.

A instalação dos dispositivos de rede de TA é realizada em dois ambientes:

Em racks de 19 polegadas em ambientes refrigerados onde são instalados os servidores, *switches* e GPS para sincronismo do dispositivo da rede de automação, normalmente próximo às salas no Centro de Controle.

Também em painéis não refrigerados no campo, junto ao processo. Os *switches, DIO´s* e *firewall* são instalados em trilho tipo DIN TS-35. Os *switches* utilizados no campo não usam ventiladores, cuja especificação técnica é 0 a 70ºC. Os painéis utilizados para montagem possuem grau de proteção IP65.

O grau de proteção (IP) é apresentado na norma NBR IEC 60529 - "Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (códigos IP).

O Grau de Proteção tem o seguinte significado:

- 6 - Totalmente protegido contra poeira
- 5 - Protegido contra jatos d'água

Figura 1 - Switch e GPS instalado em rack

Figura 2 - *Switch* instalado em painel no campo

O acesso aos dispositivos pode ser remoto e local.

2.2 CABEAMENTO

As redes do sistema de TI utilizam cabeamento estruturado integrando sistema de voz, vídeo e dados. Neste cabeamento utilizam *patch panels* para minimizar a configuração e reconfiguração do sistema. Utilizam como meio físico fibra ótica e par trançado UTP(*Unshielded Twisted Pair*).

Nas redes de automação não é utilizado cabeamento estruturado, os dispositivos (fixos) são interligados diretamente na porta dos *switches*. Utiliza como meio físico fibra ótica entre *switches* ligados em topologia física anel e também interligando os reles de Proteção Elétrica às portas dos *switches*; par trançado UTP (*Unshielded Twisted Pair*); e cabos blindados STP (S*hielded Twisted Pair*) em painéis onde possuem interferência eletromagnética como Central de Controle de Motores.

2.3 DESEMPENHO

As redes nos sistema de TI são de alto *throughput* (elevado rendimento), mas pode suportar atraso e *jittler*.

Nos sistemas de automação a relação ao tempo é critica. Não é essencial alto *throughput*. Não são aceitáveis *jittler* e atrasos, que podem provocar erros no processo. Na automação são necessárias respostas determinísticas.

2.4 DISPONIBILIDADE

É o tempo em que a rede está funcionando e pronto para uso. A disponibilidade está relacionada à redundância, maneira como atuar na falha e tempo de recuperação da rede.

No sistema de TI é aceitável a inicialização do sistema dependendo do requisito do sistema operacional.

Na automação, os controles dos processos são contínuos, uma interrupção da rede pode provocar danos no processo. Por exemplo, a perda de *switch* ou uma porta de *switch* que está interligada a uma unidade terminal remoto não terá aquisição de dados de variáveis como, por exemplo, pressão, temperatura, perdendo controle do processo.

As paradas no sistema devem ser planejadas e programadas com antecedência e todo controle devem ser operado localmente. É essencial a realização de testes de pré-implantação para garantir a alta disponibilidade.

Para o sistema com alta disponibilidade devem ser utilizados dispositivos redundantes para manter a continuidade operacional.

2.5 GESTÃO DE RISCO

Em um sistema típico de TI, a confidencialidade dos dados (somente o remetente e o destinatário entendem o conteúdo dos dados transmitidos) e a integridade (assegurar o conteúdo dos dados) são tipicamente as principais preocupações.

Nos sistemas de automação as principais preocupações são a segurança humana, que é primordial, além dos danos ao meio ambiente e a questão financeira com perda da produção.

2.6 PACOTES

Em um sistema típico de TI, os pacotes de dados são grandes. Grandes pacotes de dados como imagem vídeo e som.

Perfil do tamanho dos pacotes.

- Pacotes Pequenos
  - Tamanho de 64 a 150 bytes
  - Média: 100 bytes
  - Percentual: 50%
- Pacotes Médios
  - Tamanho de 300 a 600 bytes
  - Média: 500 bytes
  - Percentual: 10%

- Pacotes Médios
  - Tamanho de 1000 a 1536 bytes
  - Média: 1500 bytes
  - Percentual: 40%

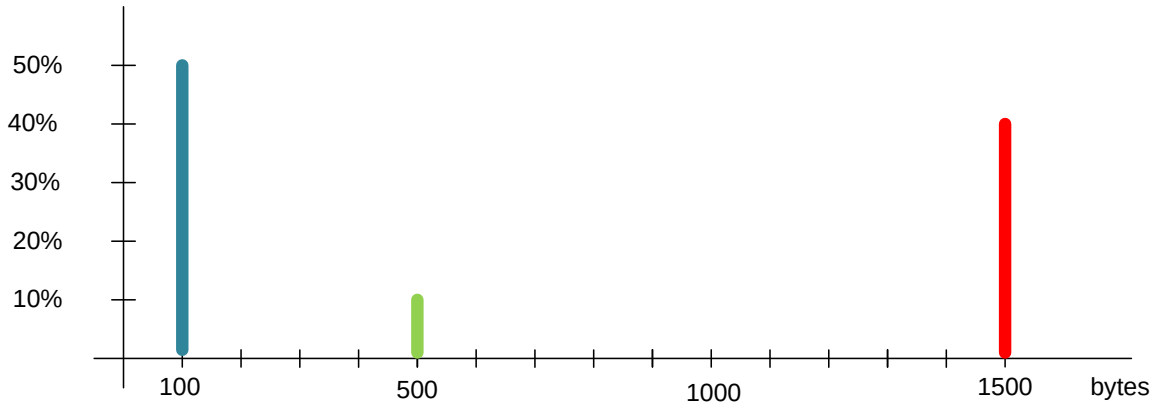


Figura 3 - Distribuição do Tamanho dos Pacotes [16]

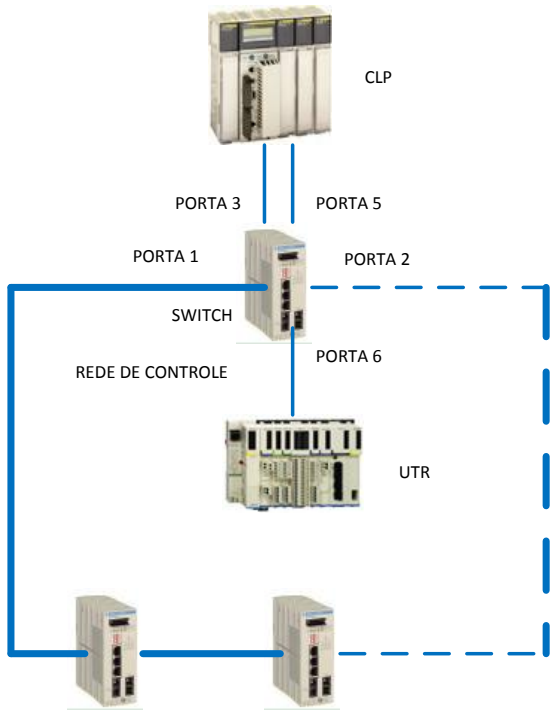


Figura 4 - Topologia de um Sistema de Automação

A figura 4 mostra a topologia utilizada em um sistema de automação. Neste sistema típico de TA, os pacotes de dados são pequenos. Os pacotes de dados são medidas e valores. A figura 5 mostra um diagrama dos pacotes nas portas do *switch*. Nas portas 3 e 5 está ligado o Controlador Lógico Programável (CLP), na porta 6 uma Unidade Terminal Remota (UTR), as portas 1 e 2 fazem parte do anel da rede de controle. Estes dados foram retirados através da pagina WEB do switch.

Statistics Table

Module	Port	Transmitted Packets	Transmitted Unicast Packets	Transmitted Non Unicast Packets	Received Packets	Received Octets	Received Fragments	Detected CRC errors	Detected Collisions	Detected Late Collisions
1	1	-420623654	3145428534	728915108	2528750154	1624813597	0	0	0	0
1	2	1844900886	1115994507	728906379	3941975482	2829749584	1	1	0	0
1	3	1749954639	1740466074	9488565	2681436023	722396794	0	0	0	0
1	4	475622774	466134298	9488476	37707291	2427320974	0	0	0	0
1	5	-1705833324	2579645322	9488650	269403373	1877424742	0	0	0	0
1	6	731597290	722108326	9488964	145988997	3026647118	0	0	0	0
1	7	509548297	500062786	9485511	70794812	505956086	0	0	0	0
1	8	361600	360734	866	687086	62774067	0	0	0	0

Detected Collisions	Detected Late Collisions	Packets 64 bytes	Packets 65 to 127 bytes	Packets 128 to 255 bytes	Packets 256 to 511 bytes	Packets 512 to 1023 bytes	Packets 1024 to 1518 bytes
0	0	250363647	29662846	225736146	238520308	4516644	4312
0	0	127444323	3731642778	259601353	299895426	1110332	863
0	0	110030502	3163335675	533244848	614733262	557634	178
0	0	13288827	437377989	33706026	13487191	5004952	5410
0	0	297812155	2544435923	2441183	3801651	557634	174
0	0	10888920	708875660	74049651	73725169	557641	290
0	0	36117975	505692127	8961407	19533734	551494	863
0	0	281347	642767	95246	19307	6073	0

Figura 5 - Distribuição do Tamanho dos Pacotes de Automação

2.7 TOPOLOGIA

Sistema de TI utiliza topologia redundante em árvore com reconfiguração (se automatizado) de recuperação dentro de 1 minuto.

Sistema de TA utiliza topologia lógica em barra e topologia física em anel com necessidade de recuperação após falhas da rede dentro de 1 segundo.

2.8 COMUNICAÇÃO TEMPO REAL

Em sistema de TI, definido pelo usuário, varia em cerca de minutos.

Em sistema de TA, na rede de controle, dependendo da função pode ser necessários até 20 ms.

2.9 ANTIVÍRUS

Em um sistema típico de TI é utilizado em nível de segurança, mesmo prejudicando o desempenho.

Em um sistema de TA deve ser testado em ambiente de laboratório para não prejudicar o desempenho da rede.

2.10 PROGRAMAS

Em um sistema de TI as atualizações são simples, com a disponibilidade de ferramentas automatizadas de implantação.

Em um sistema de TA as mudanças de *software* têm de ser cuidadosamente feitas, geralmente por fabricantes de *software*, por causa dos algoritmos de controle especializados e que talvez requeiram modificação de *hardware* e *software* envolvidos. Estes devem ser testados em ambiente de teste antes de serem utilizados na rede de produção.

2.11 INFORMAÇÃO

Na rede de TI, a troca de informações é realizada entre um operador humano e o equipamento.

Na rede de Automação, a troca de informações é realizada, na maioria das vezes, entre equipamentos.

2.12 VIDA ÚTIL DOS DISPOSITIVOS

No sistema de TI, a vida útil é da ordem de 3 a 5 anos, devido à rápida evolução da tecnologia.

No sistema de Automação, a vida útil é de ordem de 15 a 20 anos, devido às tecnologias serem desenvolvidas para aplicação específica.

3 INTRODUÇÃO A AUTOMAÇÃO

Este capítulo destina-se a apresentar conceitos que ajudarão a entender os sistemas de automação interligados na rede de automação com tecnologia Ethernet.

3.1 CONCEITO DE AUTOMAÇÃO

A definição de automação é a inserção de inteligência para otimização dos processos repetitivos, isto é, capacidade de executar monitoração de variáveis e executar controles automáticos, minimizando a necessidade de interferência humana.

O sistema de automação proporciona mais velocidade de operação, redução de erros, redução de custo, controles mais precisos e maior facilidade no gerenciamento do processo.

Os sistemas de automação substituem controles onde os processos são prejudiciais com risco ao ser humano.

Pode se dividir a automação em três tipos: Industrial, Predial e de Laboratórios.

A interação do sistema de automação com a operação é feita através de uma Interface Humano Máquina (IHM), que pode ser um equipamento dedicado ou uma estação de operação interligada a servidores.

Estas automações são realizadas por Controladores Lógico-Programáveis (CLP).

3.2 PROCESSO INDUSTRIAL E PREDIAL

Um processo industrial é formado por vários equipamentos para transformação de matéria prima em um produto determinado. Para representar o processo utilizamos o Fluxograma de Processo.

O Fluxograma de Processo é a representação gráfica simplificada e padronizada do processo. Este desenho contém as variáveis e as malhas de controle do processo. A simbologia adotada nesses documentos é regulada pela norma ISA 5.1. Este documento é elaborado pelo projetista de processo.

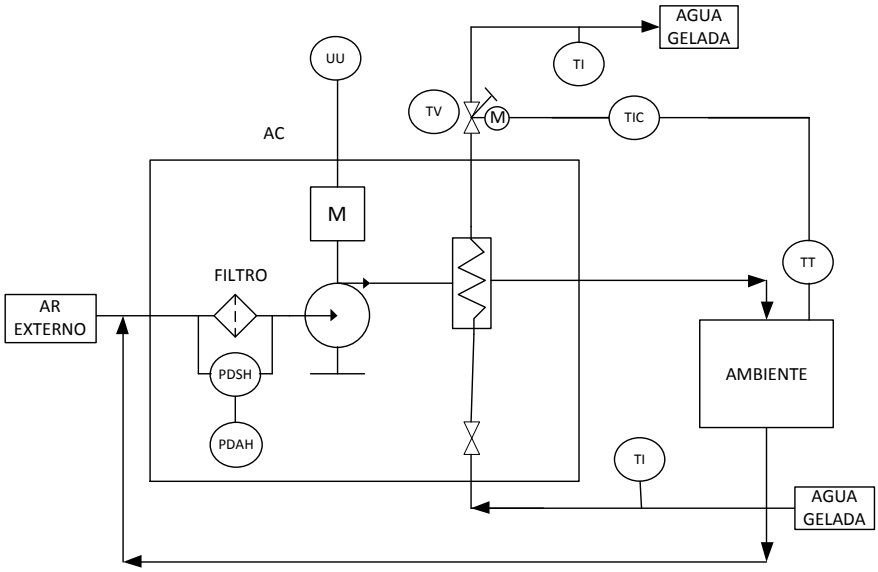


Figura 6 - Fluxograma de Processo

A figura 6 mostra um exemplo de fluxograma de processo de um sistema de ar condicionado central. O projetista insere as variáveis e os controles necessários para o processo. Na figura temos as variáveis para monitoração:

PDSH – Diferencial de Pressão - filtro sujo

TI – Indicador de temperatura da água gelada

TT – Transmissor de temperatura do ambiente

Na figura temos os seguintes controles:

TIC- Controle de temperatura

TV – Controle de água gelada

O projetista de automação analisa o Fluxograma de Processo e gera o Fluxograma de Engenharia, que é a representação gráfica contendo as malhas de controle, indicações, alarmes e proteções (intertravamentos). A simbologia deste documento também regida pela norma ISA 5.1.

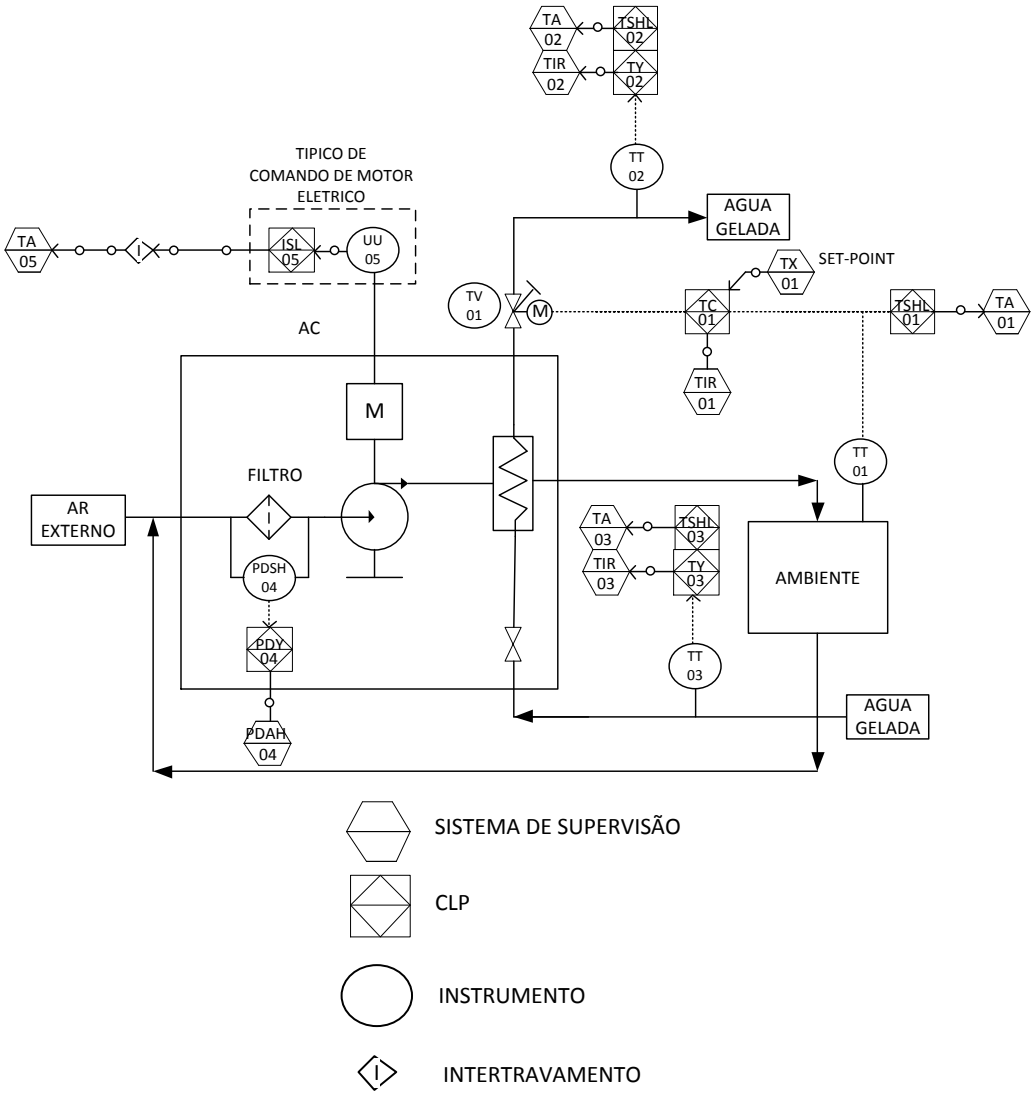


Figura 7 - Fluxograma de Engenharia

Neste item descreve-se o simples processo de um sistema de ar condicionado central e sua relação com o sistema de controle. Um ar condicionado é formado por um ventilador, válvula de controle, sensor de temperatura e uma serpentina. Sua função é condicionar temperatura de ambientes.

Seu funcionamento consiste em medir a temperatura do ambiente atendido pelo condicionador através de sensor de temperatura (TT-01) instalado no ambiente. Este sensor está interligado a uma entrada analógica de uma Unidade Terminal Remota (UTR) próxima. O valor de temperatura é enviando a um CLP que processa o sinal. O CLP compara esse sinal com o ponto de ajuste desejado (*set-point*). Se a temperatura do retorno estiver acima do valor desejado, o CLP envia um comando para válvula de controle (TV-01) de água gelada abrir proporcionalmente até atingir o valor desejado. Este sinal é enviando à saída analógica da remota onde a válvula está ligada através da rede de controle.

Os sensores de temperatura de água gelada (TT-02 e TT-03) são destinados somente à monitoração. Estes sensores estão interligados a uma entrada analógica de uma remota próxima.

O motor de ventilador é instalado no painel da Central de Controle dos Motores (CCM). Cada motor está interligado a um relé inteligente, que é comandado para ligar/desligar através de programação horária, configurada no CLP. Estes comandos são enviados e recebidos através da rede de controle com o protocolo *MODBUS/TCP* em meio Ethernet.

3.3 COMPONENTES DE AUTOMAÇÃO

3.3.1 Instrumentação

Os instrumentos medem variáveis do processo e transmitem estes sinais para Unidades Terminais Remotas (UTR) e Controladores Lógicos Programáveis (CLP). Os instrumentos eletrônicos geram dois tipos de sinais analógicos: 4 a 20 mA e 2 a 10 V, ou sinais discretos como contato fechado e aberto.

Um processo possui vários tipos de instrumentos, tais como medidores de temperatura, umidade, pressão, vazão e nível.

Figura 8 - Sensor de Temperatura e Umidade

Também existem os elementos finais de controle do processo, como saídas analógicas de 4 a 20 mA ou 2 a 10 V, que comandam as válvulas de controle, ou saídas discretas que comandam o sistema de iluminação.

3.3.2 Controlador Lógico Programável

É um computador com as mesmas características do computador pessoal com sistema operacional dedicado. Todos CLP´s são computadores, mas nem todos os computadores são CLP´s. A diferença está no modo de programação, operação e nas instalações. Os CLP´s foram projetados para funcionar em ambientes industriais, com ruídos elétricos, interferências eletromagnéticas, vibrações mecânicas, temperatura na faixa de 0 a 60º C e umidade de 5 a 95%.

Em relação à manutenção há softwares dedicados para diagnóstico de falha e troca de módulos a quente, isto é sem desligar CLP.

Toda inteligência do processo está no CLP. Ele executa a lógica, sequenciamento, temporização, contagem e operações aritméticas. O controlador Lógico Programável é responsável pelo controle das malhas do processo.

A estrutura básica do CLP pode ser dividida em três partes: entrada, processamento e saída.

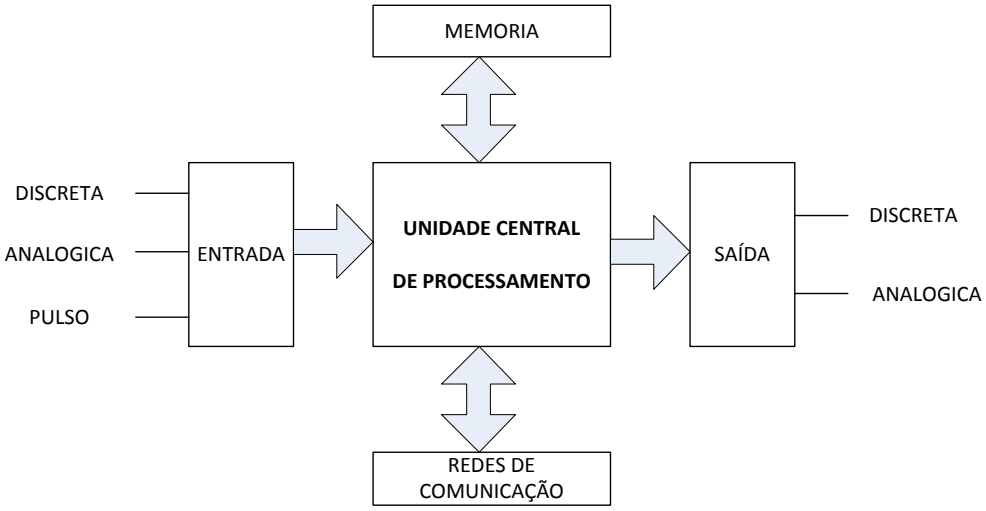


Figura 9 – Estrutura básica do CLP

O CLP possui uma varredura de processamento, isto é os sinais dos sensores na entrada do controlador são lidos a cada varredura e transferidos para a memória. Estes dados são processados e os resultados são enviados para a memória de saída e então aplicados aos terminais de saída.

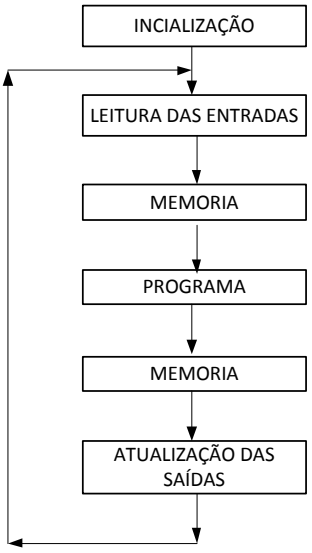


Figura 10 - Varredura de Processamento

O CLP possui três tipos de memória:

1. Memória não volátil: onde fica instalado o sistema operacional que é responsável pelo gerenciamento do CLP. Cada fabricante tem seu o seu sistema operacional.
2. Memória do usuário: Armazena o programa do usuário.
3. Memória de dados: Armazena os dados do processo, isto é, status da imagem das entradas e saídas.

O CLP pode receber sinais de entrada e enviar sinais de saída através de cartões dedicados, instalados no próprio rack do CLP, centralizando o controle e a aquisição das variáveis de campo. Pode também utilizar um sistema distribuído, facilitando a montagem, através de Unidade Terminal Remota (UTR).

O CLP possui portas de comunicação utilizando tecnologia Ethernet e trabalha com vários protocolos encapsulados em TCP/IP dependendo do fabricante. As características deste tipo de cartão são:

- Varredura de entradas e saídas utilizando rede Ethernet com protocolo *MODBUS/TCP*;
- Dispositivo automático de reconfiguração na substituição do dispositivo com defeito;
- Diagnóstico do sistema via Web;
- Serviço de gerenciamento através do protocolo *SNMP*;
- Sincronização temporal via *NTP*;
- Serviço de notificação de eventos via *SMTP (e-mail)*.

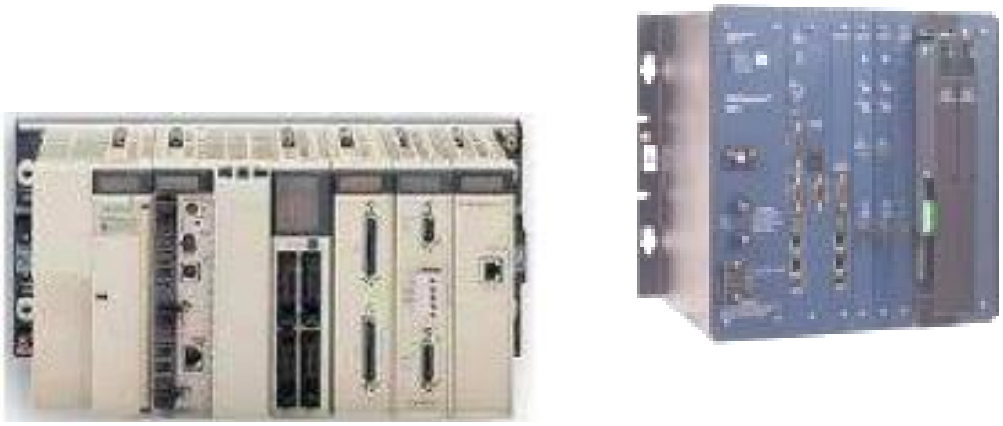


Figura 11 – Controlador Lógico Programável

3.3.3 Unidade Terminal Remota

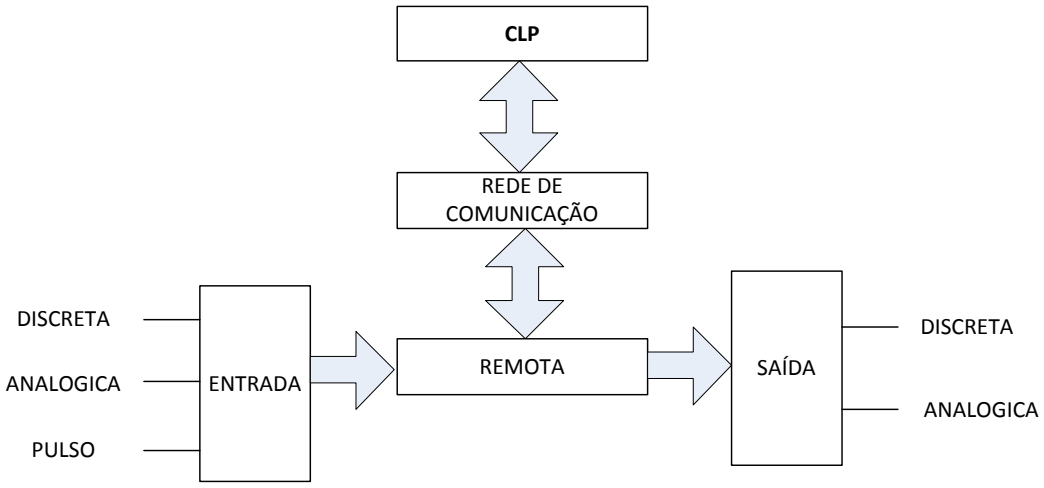


Figura 12 – Estrutura Básica de uma Remota

São dispositivos que não possuem inteligência, são responsáveis pela aquisição de dados dos processos, como pressão, temperatura, vazão, nível e outras variáveis. São instaladas em painéis no campo, próximo ao processo. As remotas são modulares, possuindo cartões do tipo entrada e saída analógica, e entrada e saída discreta.

Os cartões de entrada analógica são interligados os sensores de campo, como sensores de temperatura, pressão, vazão. As entradas são configuradas em

sinal de 4 a 20 mA, sendo o valor de 4 mA o inicio da escala e 20 mA o fundo de escala. Este sinal passa por conversor analógico digital, normalmente com resolução de 12 bits. Estes valores são armazenados na memória da CPU.

Os cartões de saída analógica são interligados os dispositivo de saída, como válvulas de controle. As saídas são configuradas em sinal de 4 a 20 mA e 2 a 10 V, sendo o valor de 4 mA ou 2V o inicio da escala e 20 mA ou 10V o fundo de escala. Estes sinais passam por um conversor digital analógico, normalmente com resolução de 10 bits. Estes valores são armazenados na memória da CPU.

Os cartões de entrada discreta são interligados a sensores do tipo discreto (0/1), como chave de pressão (pressostato), instrumento de medição de pressão que abre e fecha um contato conforme pressão ajustada e contato seco.

Os cartões de saída discreta são ligados a dispositivos discretos como comando para iluminação e alarme.

A UTR possui porta de comunicação utilizando tecnologia Ethernet e trabalha com vários protocolos encapsulados em TCP/IP dependendo do fabricante. As características deste tipo de cartão são:

- Conector RJ-45;
- Ethernet 10/100 Mbps;
- Ethernet II e formato do quadro IEEE 802.3;
- Diagnóstico do sistema via Web;
- Protocolo de comunicação *MODBUS/TCP*;
- Suporta dezesseis conexões simultâneas;
- Serviço de gerenciamento via protocolo *SNMP*;
- Sincronização temporal via *NTP*;

- Serviço de notificação de eventos via *SMTP (e-mail).*

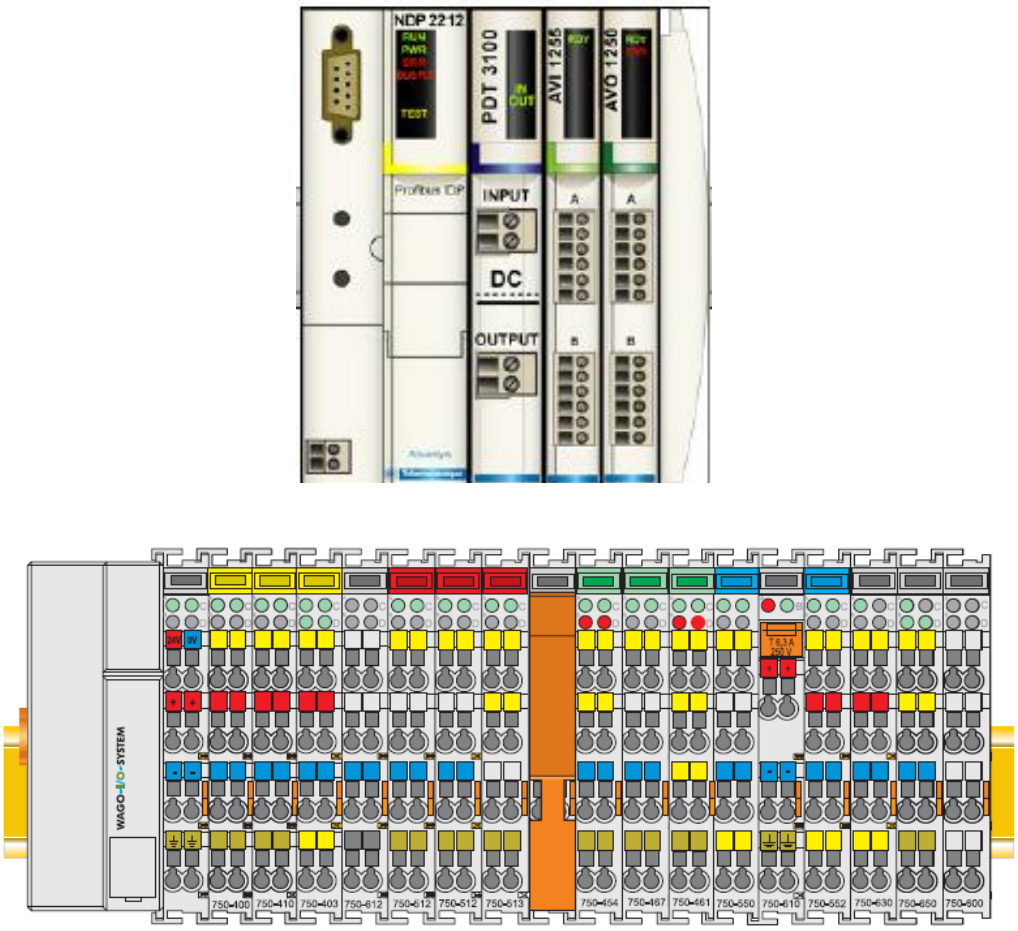


Figura 13 - Remota

3.3.4 Relé Inteligente

O relé inteligente tem a função de gerenciar e proteger motores. É instalado no Centro de Controle de Motores Inteligentes (CCM) e utilizado em cargas motóricas como compressores, ventiladores e exaustores. Ele fornece medição de corrente, tensão, potência e fator de potência. Ele tem a função de proteger eletricamente o motor sobre corrente, subcorrente, tensão e potência.

O CLP se comunica com os relés através de uma rede de controle com tecnologia Ethernet e protocolo *Modbus/TCP*.

O Relé Inteligente possui porta de comunicação utilizando tecnologia Ethernet e trabalha com vários protocolos encapsulado em TCP, dependendo do fabricante. As características deste tipo de cartão são:

- Conector RJ-45;
- Ethernet 10/100 Mbps;
- Ethernet II e formato do quadro IEEE 802.3;
- Diagnóstico do sistema via Web;
- Protocolo de comunicação *MODBUS/TCP*;
- Suporta diversas conexões simultâneas;
- Serviço de gerenciamento via o protocolo *SNMP*;
- Sincronização temporal via *NTP*.

Figura 14 – Relé Inteligente

3.3.5 Switch

São dispositivos responsáveis pela comutação de pacotes da rede baseado no protocolo padrão Ethernet.

A comutação dos pacotes é realizada na camada de enlace (camada 2) e é baseada no endereço de *hardware* (*MAC-Media Acess Control*). A utilização do MAC torna o *switch* rápido. Utilizam chips especiais "*ASICs*" para formar e manter as tabelas de filtragem.

Os endereços MAC são formados por 48 *bits* (6 *bytes*) de comprimento e são expressos com doze dígitos hexadecimais.

Os três primeiros bytes identificam o fabricante, chamado de OUI (*Organizational Unique Identifier*) e são administrados pela IEEE (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos) e os três *bytes* restantes são administrados pelo fabricante.

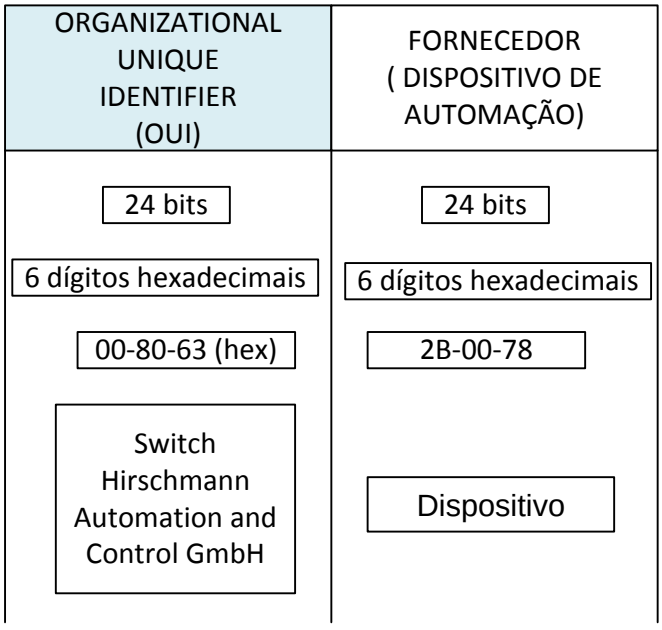


Figura 15 – Endereço MAC

A camada de Enlace é responsável pelo encapsulamento dos dados em quadros.

Os *switches* da rede de automação são projetados para os requisitos especiais de automação industrial. Eles estão de acordo com as normas da indústria, proporcionam elevada confiabilidade operacional, mesmo em condições extremas. Estão em conformidade com o padrão IEEE 802.3 e 802.3u. Eles não utilizam ventilador, possuem fonte redundante e instalação em trilho DIN.

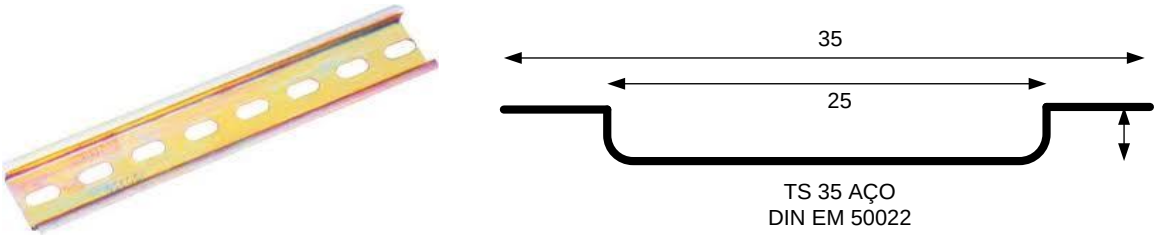


Figura 16 – Trilho DIN-TS 35

Funções do switch:

- Gerenciamento: *WEB BROWSER*, *SNMP* e localmente;
- Redundância: estrutura em anel redundante, protocolo *Rapid Spanning Tree (RSTP)* e protocolo *HIPER-Ring*;
- Segurança: Proteção contra acesso não autorizado, bloqueio de mensagens não autorizadas (*MAC* ou *IP based*);
- Sincronização de tempo;
- Controle de carga de rede;
- Diagnóstico (*hardware* auto-teste);
- *Reset*;
- Prioridade;
- *Command Line Interface (CLI).*

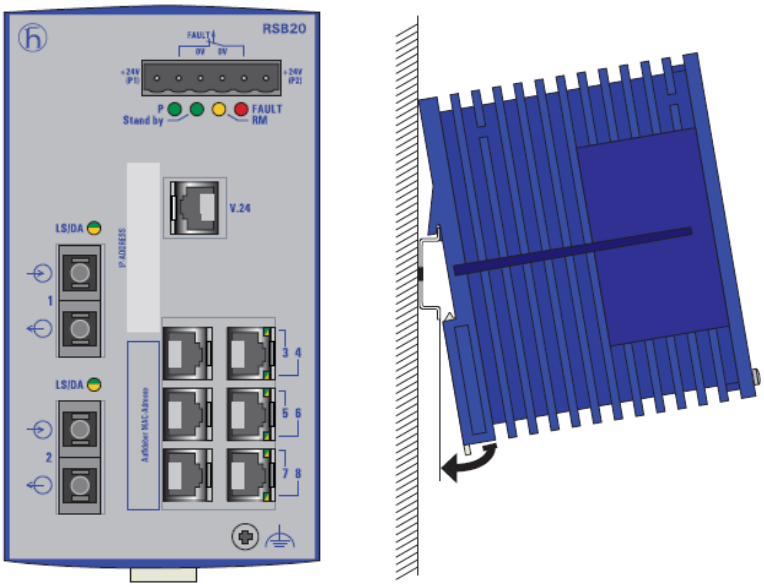


Figura 17 – Swtich

3.3.6 Sistema de Supervisão

O sistema de supervisão, também chamado *SCADA (Supervisory Control and Data Aquisition),* tem a função de coletar os dados do processo e permite modificar os pontos de ajustes (como temperatura) através de uma interface gráfica.

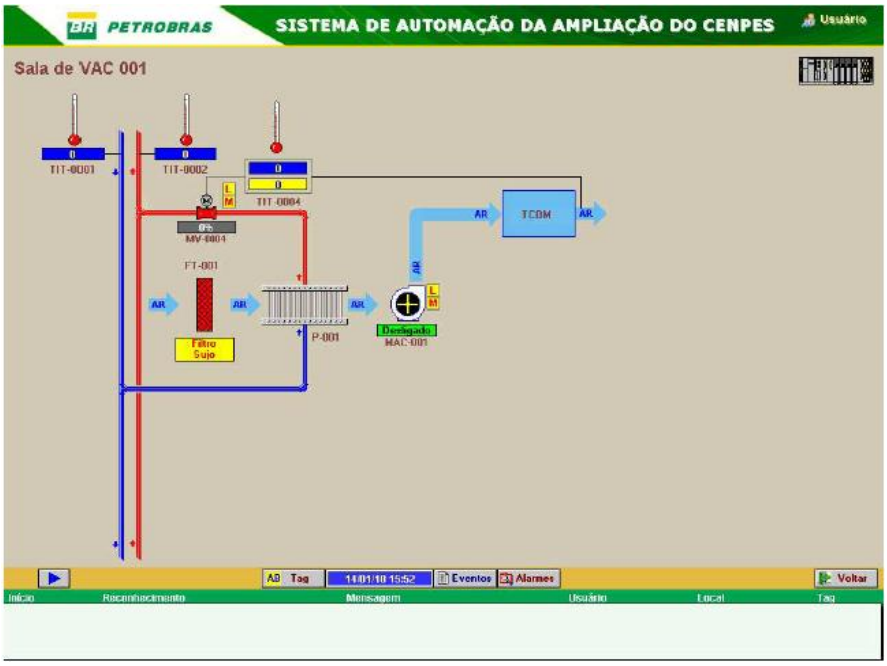


Figura 18A – Sistema de Supervisão – Ar Condicionado

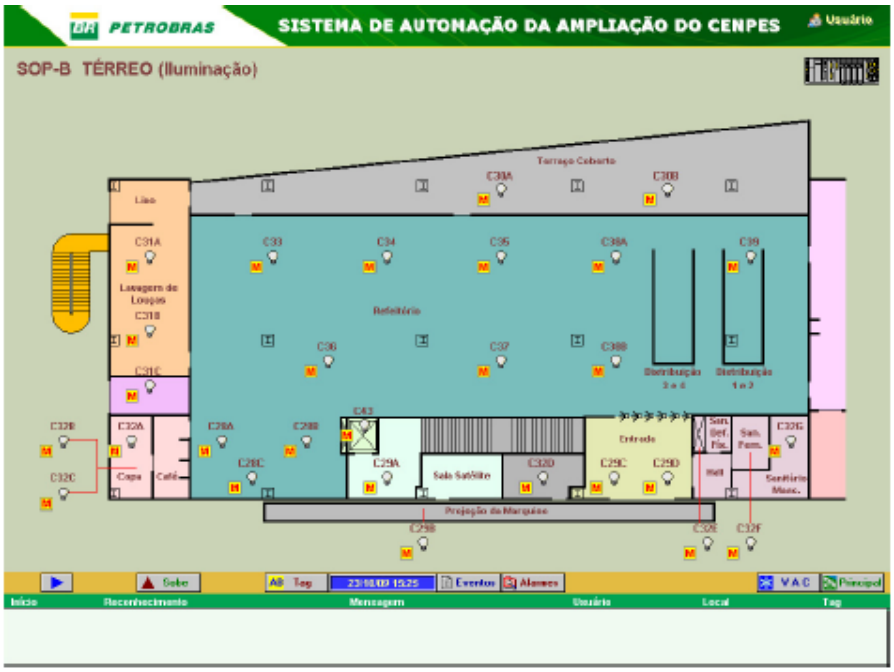


Figura 18B – Sistema de Supervisão - Iluminação

O sistema de supervisão utilizado é executado em servidor com redundância e utiliza o sistema operacional Windows 7. As informações são coletadas dos CLP's via rede Ethernet, utilizando protocolo *MODBUS/TCP*.

3.4 PREMISSAS BÁSICAS DA REDE DA AUTOMAÇÃO

Os critérios para escolha da tecnologia da rede de automação foram os seguintes:

- A rede de automação utiliza protocolos de comunicação abertos, permitindo a integração e a convergência de vários fornecedores e facilitando o trabalho de manutenção;
- Arquitetura versátil para interligar os subsistemas existentes;
- Desempenho industrial: velocidade, largura de banda, confiabilidade e tempo de operação garantido;
- Facilita o gerenciamento da rede e dos dispositivos de automação;
- Permite a utilização de tecnologias diferentes na mesma rede;

- Compatibilidade com sistemas existentes;
- Estrutura distribuída;
- Escalável para ajustar ao tamanho da instalação. (solução expansível);
- Segurança;
- Enorme popularidade da tecnologia;
- Baixo custo de implementação (preços globais - demanda crescente);
- Atualização tecnológica constante;
- Facilidade de interconectividade e acesso remoto;
- Os principais fabricantes de CLP suportam sistemas de barramento de campos específicos, mas todos suportam Ethernet;
- Conectividade a partir de sistemas empresariais em nível de campo.

4 REDE ETHERNET

Esta tecnologia surgiu em 1973 na *Xerox Corporation*, cujo objetivo foi à padronização das redes entre equipamentos de vários fabricantes. A Ethernet é uma tecnologia para interconexão de redes locais (LAN), baseada em envio de pacotes. A tecnologia consiste basicamente de três funções: meio físico, quadro Ethernet e controle de acesso ao meio. Ela define o modo como os dados serão transmitidos na rede [1]. As funções de comunicação mínimas e essenciais de uma rede local correspondem à camada 1 (física) e camada 2 (enlace) do modelo de referencia (OSI).

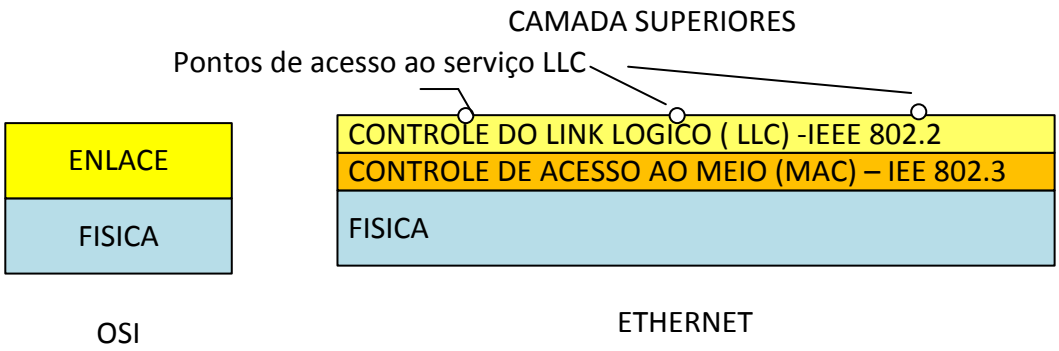


Figura 19 – Camadas Ethernet

4.1 CAMADA FISICA

É responsável pela transferência de bits entre dispositivos, através do meio de transmissão. Sua função é garantir que cada bit enviado de um lado seja recebido do outro lado sem alteração do seu valor. A camada Física define as características mecânicas e elétricas para transmissão de dados, funcionais e procedurais na rede.

Características mecânicas:

- Tipo de conectores;
- Pinos;

- Tipo de cabos (UTP, STP, Fibra Ótica).

Características elétricas:

- Valores de tensão definem o bit 0 e 1;
- Codificação dos sinais (modo de representação dos bits);
- Duração dos bits em segundo (tempo entre mudanças desses valores);
- Circuito de sincronização;
- Modo de transmissão (*half* ou *full duplex*).

Funcionais:

- O significado dos sinais transmitidos nas interfaces do nível físico;

Procedurais:

- Combinações e sequencias de sinais para transmissão de bits.

4.2 CAMADA DE ENLACE

É responsável em transformar os dados brutos da camada física em dados livres de erros de transmissão e encaminhar para camada de rede (camada 3) e também, no outro sentido, receber pacotes e enviá-los para camada física (camada 1). A camada de enlace possui duas subcamadas chamadas de Controle de Acesso ao Meio (MAC) e Controle do *Link* Logico (LLC) ilustrado na figura 19.

Para executar a tarefa de transformar os dados brutos da camada física, os dados são divididos em um conjunto de *bits* chamado Quadro (*Frame*) e em seguida são transmitidos sequencialmente. Se os dados (pacote) forem maiores que o tamanho do quadro, ele é dividido em vários quadros.

Cada quadro é formado por um campo de cabeçalho, carga útil (dados) e final (FCS), mostrado na figura 20.

Figura 20 – Definição do Quadro Ethernet

Cabeçalho: informações que serão utilizadas nas camadas de enlace entre os dispositivos. Contém endereços de destino e de origem do pacote.

Carga útil: contém os dados que serão transportados.

Final: Durante a transmissão de dados podem ocorrer perdas, devido falhas de sincronização, ruídos eletromagnéticos. A tecnologia Ethernet faz a verificação de erro através campo final do quadro.

4.2.1 LLC (Controle do Link Lógico)

É responsável por fornecer serviços da camada de enlace (sem conexão com e sem reconhecimento, e com conexão) para camada de rede independente da tecnologia. Este protocolo foi desenvolvido pelo IEEE 802.2.

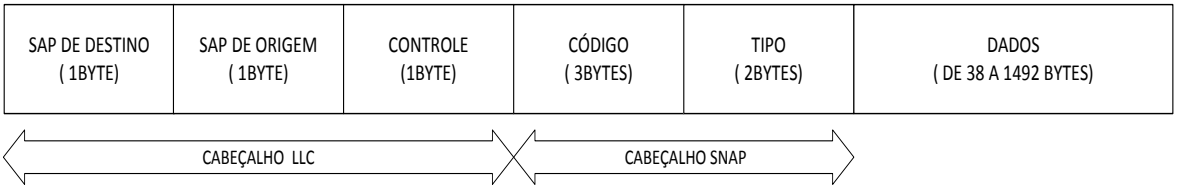


Figura 21 – Camada Controle do Link Lógico

A figura 21 mostra a estrutura da camada de Controle do *Link* Lógico. As informações do LLC (Controle do *Link* Lógico) utilizam 8 *bytes* do quadro de dados.

Os campos dos bytes do SAP destino e origem são muito pequenos para vários protocolos existentes. Devido a esta característica foi criado o campo adicional SNAP (*source SAP*).

O campo de Controle assume três valores: *UI* (*Unnumbered Information*): transmissão de dados; *XID* (*eXchange IDentification*): troca de dados de

identificação entre emissor e receptor; Teste: o emissor envia um dado e o receptor o manda de volta (para testar comunicação).

O campo Código representa o código do desenvolvedor do protocolo no IEEE.

O campo Tipo é o código fornecido pelo fabricante do protocolo.

4.2.2 Controle de Acesso ao Meio (*MAC*)

A função desta subcamada é formatar os dados em quadros com os campos endereço destino, endereço origem e detecção de erro durante a transmissão, e desmontar os quadros, reconhecer o endereço e detecção de erro durante a recepção. Existem dois tipos de quadro Ethernet utilizados na indústria. Eles são semelhantes. O quadro DIX, frequentemente chamado como a Ethernet DIX, e o quadro IEEE 802.3. A figura 22 mostra formato dos quadros Ethernet DIX (*Xerox*) e Ethernet II (IEEE 802.3).

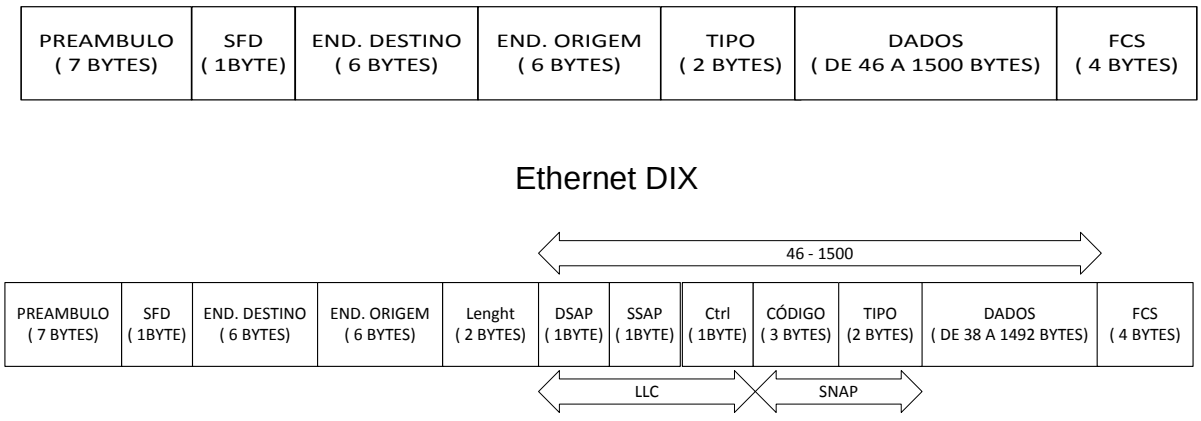


Figura 22 – Quadro Ethernet

- Preâmbulo: Inicio do quadro. Sequência alternada de 1 e 0 (10101010) é utilizado para ‘despertar’ os receptores e sincronizar seu relógio com o relógio do remetente. Esta sequência fornece um *clocking* de 5 MHz;
- SFD (*Start Frame Delimiter)*: Campo delimitador de inicio de quadro é formado da sequência 10101011 e indica o início de um quadro;

- Endereço Destino: Este campo possui o Endereço MAC de destino;
- Endereço Origem: Este campo possui o Endereço MAC de origem;
- *Length*: Utilizado no quadro Ethernet 802.3. Número de bytes da PDU (*Package Data Unit*). Indica quantos bytes estão sendo transferido no campo de dados (*payload*);
- Tipo: Utilizado no quadro Ethernet DIX. Identificação do protocolo da camada superior que está sendo encaminhado no campo de dados. Ex: 0x800 – datagrama IP, 0x806 – ARP;
- Dados: Possui comprimento mínimo de 46 bytes e máximo de 1500 *bytes*. Na estrutura IEEE-802.3 podem variar de 38 a 1492 *bytes*;
- PAD: Se a subcamada LLC enviar menos que 46 *bytes,* são inseridos PADs para completar o mínimo de 46 *bytes*;
- FCS (*Frame Check Sequence*): É o campo final do quadro, contém um verificador de redundância cíclica *(Cycle Redundancy Check – CRC).* Utilizado para verificação da integridade do quadro recebido. Identifica quadro corrompido, porém não os corrige.

As redes Ethernet utilizam a técnica de acesso ao meio chamado *CSMA/CD* (*Carrier Sense Access with Collision Detect*) que tem a função de evitar que dois ou mais dispositivos transmitam simultaneamente no mesmo meio. A figura 23 mostra o fluxo na subcamada MAC.

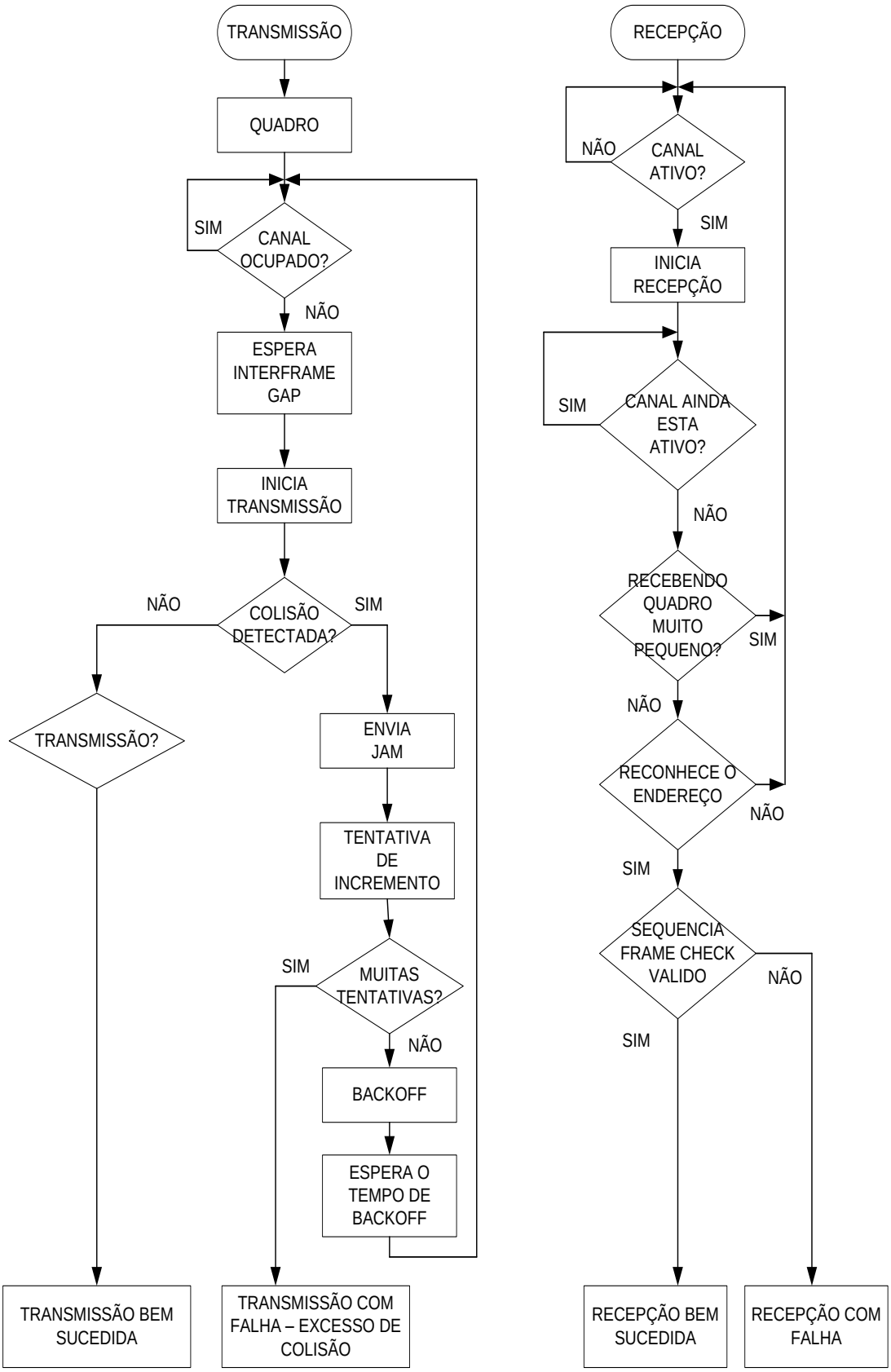


Figura 23 – Fluxo MAC

Na transmissão dos quadros, os dispositivos verificam se o canal (meio físico) está ocupado, caso esteja, ele aguarda um tempo aleatório até reverificar se canal ficou livre. Com o canal livre inicia a transmissão. Em caso de colisão, ele envia um sinal de *jam* (reforço de colisão), que tem função de notificar os outros dispositivos que existe uma colisão e incia um algoritmo *backoff*. Este algoritmo interrompe a transmissão de todos os dispositivos por um tempo aleatório. Após este tempo, o dispositivo volta a verificar se o canal está livre. Se houver varias tentativas com colisão a transmissão é finalizada com falha, devido ao excesso de colisões. Quando não existe colisão a transmissão é bem sucedida.

Na recepção os dispositivos verificam que estão recebendo os quadros e inicia-se o processo de recepção. Inicia verificando o preambulo, *SFD* (*Start Frame Delimiter*). Caso esteja recebendo quadro muito pequeno deve ser resultado de uma colisão, logo o quadro é descartado, e retorna a verificar os quadros de recepção.

Caso contrário, ele verifica o endereço destino. Se o endereço é reconhecido, verifica se o campo *FCS* está correto. Logo a recepção é bem sucedida.

5 DETERMINISMO

Conforme relatado anteriormente, a Ethernet é uma tecnologia para interconexão de redes locais (*LAN*), baseada em envio de pacotes, projetada para escritório. Ela não foi originalmente desenvolvida para utilização redes de automação industrial. As principais características desejáveis em redes de automação são o determinismo e o tempo real.

5.1 INTRODUÇÃO

Determinismo é capacidade que um sistema enviar dados e ter certeza que os dados foram recebidos. Um sistema de tempo real não dependente somente da validade dos dados, mas também da garantia da atualização periódica desses dados. A demanda por Ethernet como uma rede de controle em tempo real vem aumentando à medida que os fabricantes percebem os benefícios da utilização de uma única tecnologia de rede deste da sala de reuniões até chão de fábrica.

Um sistema determinístico é considerado previsível, consistente, confiável e repetitivo entre os dispositivos da rede.

O determinismo no sistema de automação é importante para que a informação seja transmitida em um tempo determinado. Esta informação é utilizada na lógica de sequenciamento, temporização ou intertravamentos de processos, como por exemplo, o desligamento de um compressor de ar comprimido devido à pressão alta ou acionamento de alarme de incêndio.

5.2 DETERMINISMO NA REDE DE AUTOMAÇÃO

O determinismo em redes de automação depende de dois fatores: determinismo do sistema de controle e determinismo da rede.

5.2.1 **Determinismo do Sistema de Controle**

Para o determinismo do sistema de controle deve ser considerado o tempo de resposta da aplicação, isto é, o tempo necessário para uma entrada da unidade remota (UTR) mudar de estado, ser lida pelo CLP, o CLP executar a sua tarefa, e escrever o resultado na saída da unidade remota (UTR). A figura 24 mostra os tempos descritos.

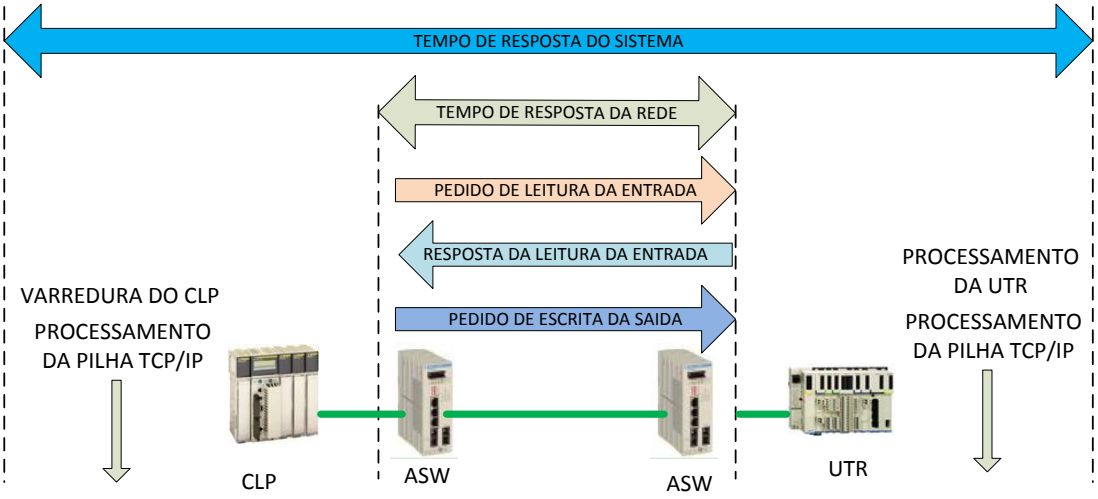


Figura 24 - Definição do Sistema de Controle

Exemplos de aplicação:

Numa aplicação de uma bomba d'água, o tempo de varredura de rede consistente de 30 segundos é determinístico.

Numa aplicação de uma máquina de embalagem o tempo de varredura de rede consistente de 5 segundos é determinístico.

A figura 25 mostra os tempos de varredura típicos de controle de processos diferentes.

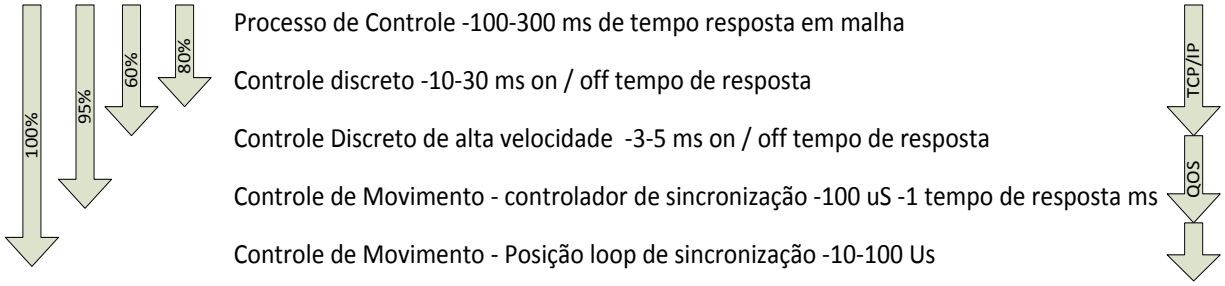


Figura 25 - Desempenho típico dos sistemas de controle

5.2.2 **Determinismo de Rede**

O determinismo de rede refere-se à capacidade da rede transmitir dados em um tempo consistente (conhecido) de transmissão de rede entre as interfaces físicas de dois dispositivos.

5.3 TÉCNICAS DE DETERMINISMO NA REDE DE AUTOMAÇÃO

Para conseguir determinismo na rede Ethernet aplicado à automação industrial pode-se utilizar algumas técnicas descritas a seguir:

5.3.1 **Controle de Acesso ao Meio**

A Ethernet utiliza protocolo *CSMA-CD*, que é uma técnica de acesso ao meio cuja função é evitar que dois ou mais dispositivos transmitam simultaneamente em um mesmo meio. Por esta técnica, em caso de colisão, espera-se um tempo aleatório pela informação, não garantido um tempo determinado, além disso, perde-se o quadro no caso de várias tentativas frustradas de transmissão.

Para evitar este problema do não determinismo devido às colisões é utilizado o dispositivo *switch*. Cada porta do *switch* permite a criação de domínios de colisão através de segmentação da rede. Os *switches* também utilizam portas do tipo *full-duplex*, isto é, utilizam dois pares de cabos, um canal para transmissão e outro para recepção, para evitar colisão.

A figura 26 mostra os domínios de colisão em cada porta do *switch*.

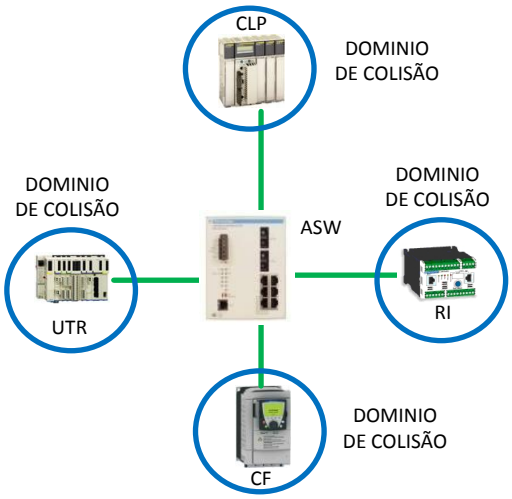


Figura 26 - Domínio de colisão

5.3.2 **Redução da Latência dos Dispositivos**

Cada *switch* possui seu atraso (latência) do quadro, que influencia no tempo de resposta da rede. A latência de um *switch* é o tempo necessário para um quadro Ethernet ser encaminhado através dele. Esta latência depende do modo de configuração do *switch*. Nos *switches* de automação existem dois tipos de configuração:

Store and forward: Esta configuração armazena o quadro completo no buffer e em seguida faz a verificação de erros (*CRC*) e se o endereço de destino está em sua tabela *MAC*. Caso seja identificado erros o quadro é descartado. Caso não existam erros e o endereço estiver na tabela MAC, o quadro é encaminhado para seu destino. Esta configuração tem latência grande.

Cut-Through (tempo real): Esta configuração armazena o endereço de destino em um *buffer*. Logo após identificar o endereço destino no quadro que está sendo recebido e localiza o endereço na tabela *MAC*, o quadro é encaminhado ao destino. Esta configuração tem baixa latência.

Atualmente os *switches* utilizados na rede de automação só possuem a opção *Store and forward*.

A figura 27 mostra o ponto de resposta em um quadro para cada tipo de configuração.

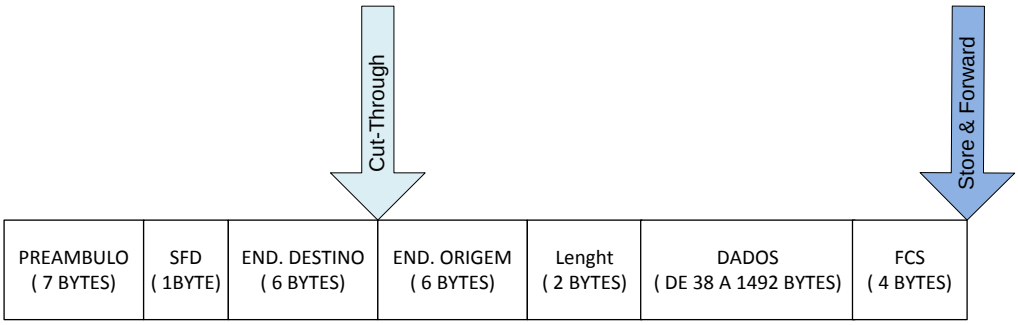


Figura 27 - Quadro Ethernet – Tipos de configuração do *switch*

5.3.3 **QoS (Qualidade de Serviço)**

A *QoS* (Qualidade de Serviço) é uma forma de alocar recursos em *switches* e roteadores para que os dados cheguem ao seu destino com rapidez, de forma consistente e confiável. A qualidade de serviço deve assegurar que as aplicações de missão crítica não sejam afetadas pelo tráfego de baixa prioridade. A Qualidade de serviço é uma garantia fim-a-fim.

O recurso Qualidade de Serviço (*QoS*) privilegia as mensagens de alta prioridade e dedica largura de banda adequada para ajudar a garantir o determinismo da rede.

As soluções de Qualidade de Serviço (*QoS*) implementada nos *switches* em uma rede são:

- Superprovisionamento de Recurso

Consiste na introdução de novos equipamentos aumentando a capacidade da rede. Solução inadequada devido ao custo.

- Largura de banda

Utiliza técnicas para minimizar consumo da banda, como utilização de comunicação *multicast*.

- Redes Virtuais (*VLANs*)

Quanto maior a quantidade de dispositivos na rede, maior volume de *broadcasts* e de pacotes de todos os dispositivos trafegando na rede. Para limitar os domínios de *broadcast* reduzindo o seu trafego nas redes são configurado *VLANs*.

As *VLANs* também permitem agrupamento lógico e de recursos em portas definidas nos *switches*, melhoram o gerenciamento, a segurança e diminuem o tempo de resposta, auxiliando o determinismo.

Para configurar *VLANs* nos *switches* da rede o quadro Ethernet é modificado, inserindo-se quatro *bytes* entre o campo “endereço de origem” e o campo “comprimento” (IEEE 802.1Q). Nestes quatro *bytes* há três *bits* destinados a definir a prioridade do quadro (IEEE 802.1P). O quadro com *tag* é identificado como 0x8100. A figura 28 mostra o quadro Ethernet estendido.

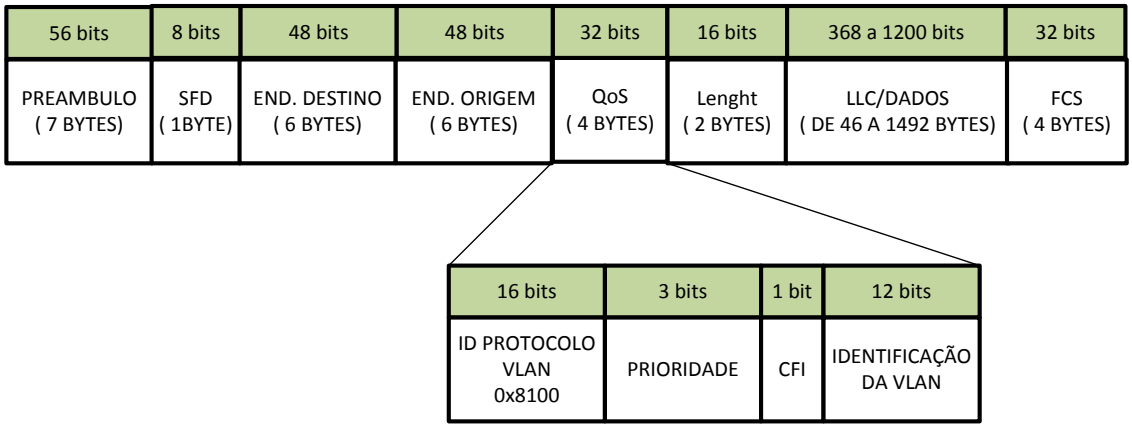


Figura 28 – Quadro Ethernet estendido para IEE 802.1q

- Priorização de trafego

Consistem em limitar o trafego na rede escolhendo os quadros que contêm tempo real, ou tráfego de alta prioridade, e acelerar a sua passagem através do *switch* e da rede.

Quando um quadro está sendo encaminhado para um *switch* ele entra na fila junto com todo o tráfego de rede. Cada *switch* tem seu *buffer* para armazenar os dados para situações de trafego alto na rede. Estes *buffers* podem ficar cheios e assim os dados podem ser descartados. Para evitar este problema os *switches* podem utilizar técnicas de *QoS (Quality of Service),* priorizando as mensagens críticas para que sejam sempre enviadas a tempo e de forma previsível.

Para a rede Ethernet Industrial em tempo real, o protocolo utilizado para controle de prioridade é o IEEE 802.1p, que é um protocolo relacionado às camadas física e de enlace. Introduz uma priorização, permitindo oito níveis de prioridade de trafego ou classes de trafego.

Estes níveis são baseados por portas, estabelecendo filas. A análise da prioridade é realizada quadro a quadro. Esta só pode ser usada em cartões de comunicação dos dispositivos compatível com o quadro Ethernet estendido.

As filas são áreas de memória dentro de um roteador ou *switch* Ethernet. Elas são criadas para armazenar pacotes de prioridades diferentes. Um algoritmo de fila determina a ordem na qual os pacotes armazenados nas filas são transmitidos.

Se ocorrer congestionamento, o sistema de fila não garante que os dados chegarão ao seu destino em tempo hábil; só garante que os quadros de alta prioridade vão chegar antes que os quadros de baixa prioridade.

A figura 29 mostra um modelo de fila. Para cada porta de saída existe uma fila associada a uma Classe de Serviço (*COS- Class of Service*) e os quadros são colocados em fila de espera de acordo com a prioridade.

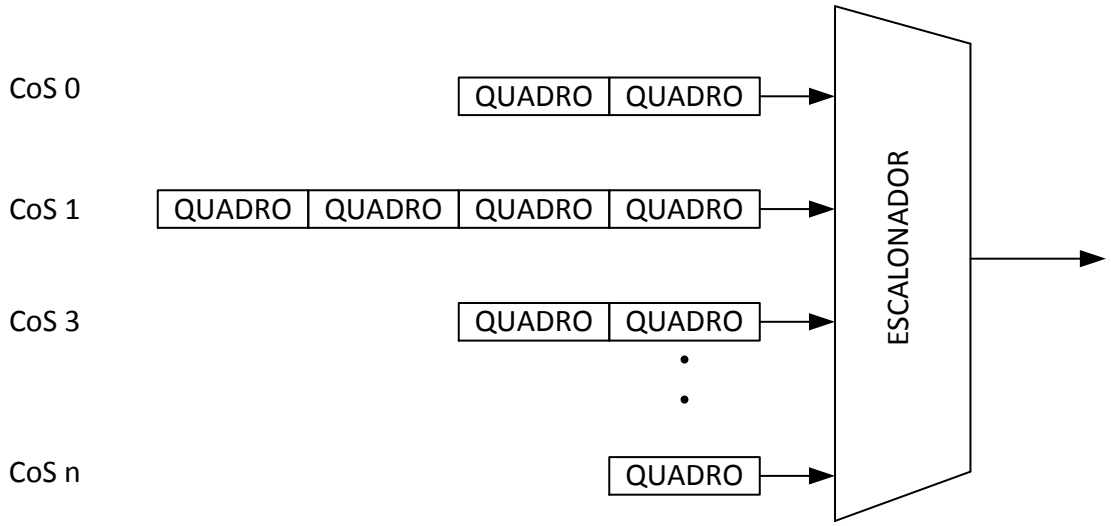


Figura 29 – Modelo de fila de saída

Com a formação de varias filas utilizam-se algoritmos de escalonamento para escolher a prioridade. Os algoritmos mais usados são:

- FIFO - (*First-in-Frist-Out*)
- Prioridade Estrita – PRIO (*Strict priority*)
- Enfileiramento justo ponderado (*WFQ- Weighted Fair Queuing*)

6 TOPOLOGIA EM REDES DE AUTOMAÇÃO

A topologia define como os enlaces físicos e dispositivos estão organizados. A topologia é o mapa da rede (*layout* físico). Ela pode ser classificada de duas maneiras:

- Topologia física: Descreve como os cabos estão interligados, onde os dispositivos, como *switches*, CLP´s , UTR´s e RI´s se localizam. Existem três topologias físicas fundamentais: barramento, anel e estrela.

- Topologia lógica: Descreve como os dados são transmitidos através da rede de um dispositivo para outro.

Na escolha de uma topologia mais adequada para rede de automação deve-se levar em consideração os seguintes critérios: disponibilidade, desempenho e custo. A figura 30 mostra um gráfico dos tipos de topologias utilizados em redes de automação e a relação entre sua disponibilidade e confiabilidade.

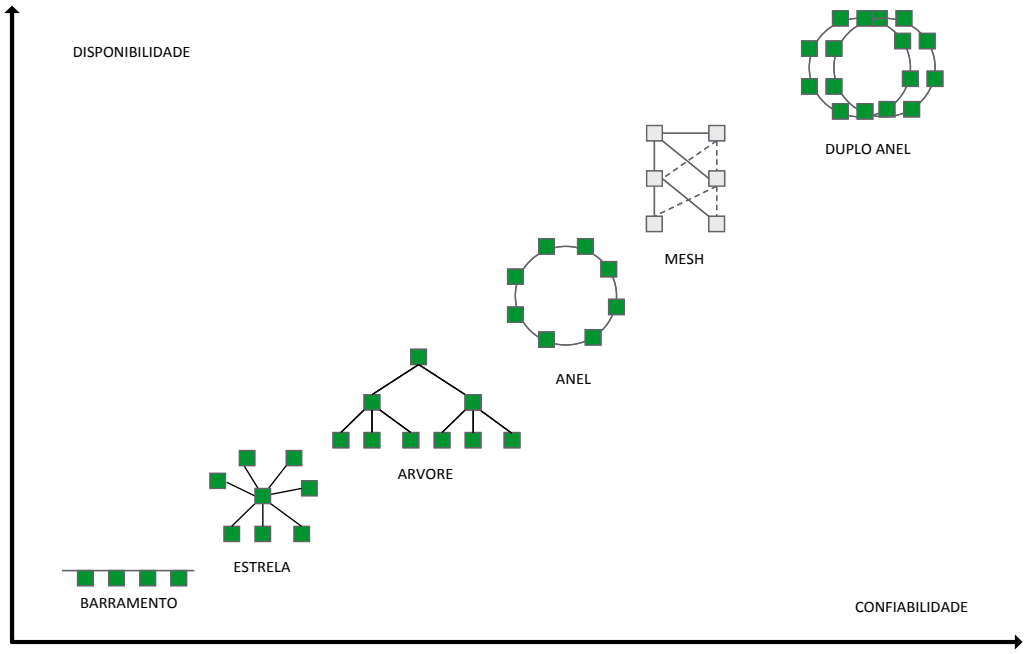


Figura 30 – Tipo de Topologias

As topologias em redes de automação descritas neste capitulo utilizam a tecnologia Ethernet em todos os seus *Links*.

6.1 TOPOLOGIA EM BARRAMENTO

A topologia em barramento é composta por uma série de *switches* Ethernet ligados um após o outro. Todo tráfego flui em série, portanto a largura de banda não é utilizada eficientemente. Para muitos processos (automação predial), o desempenho desta topologia é aceitável. A figura 31 mostra uma topologia em barramento em uma área industrial, composta por unidades remotas, conversores de frequencia e relé inteligente.

Vantagens:

- Facilidade de instalação;
- Fácil expansão.

Desvantagem:

- A falha de um *switch* irá interromper a comunicação com o resto dos dispositivos no barramento (baixa confiabilidade). Mas a comunicação continua disponível entre os dispositivos que ainda estão ligados entre si.

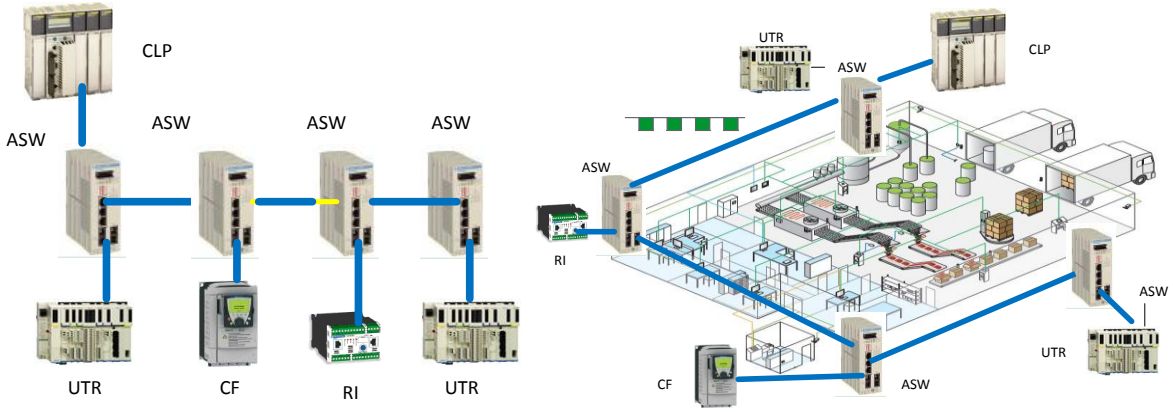


Figura 31 – Topologia em Barramento

6.2 TOPOLOGIA EM ESTRELA

A topologia em estrela é implementada através de um nó central. Quando não há necessidade de redundância é a topologia mais utilizada. A figura 32 mostra uma topologia em estrela em uma área industrial, composta por unidades remotas, conversores de frequencia e relé inteligente.

Vantagens:

- A falha em um *switch* não afeta a rede inteira;
- Uso eficiente da largura de banda de rede.

Desvantagens:

- Falha no *switch* central causa desligamento global;
- Sua confiabilidade depende do nó central;
- Expansão da rede depende da capacidade do nó central;

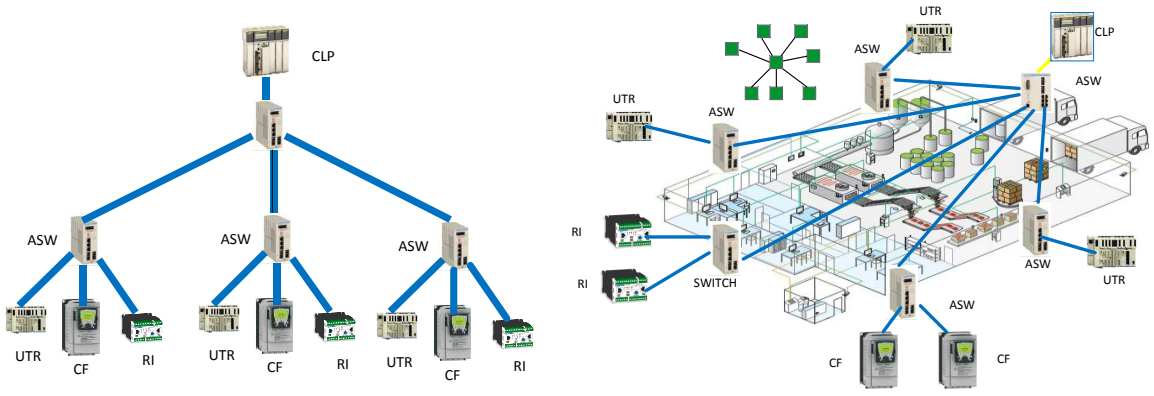


Figura 32 – Topologia em Estrela

6.3 TOPOLOGIA EM DAISY CHAIN

A topologia em *Daisy Chain* é uma série de dispositivos que possuem duas portas com função de *switch* Ethernet ligada um após o outro. A figura 33 mostra uma topologia em *daisy chain* em uma área industrial, composta por unidades remotas, conversores de frequencia e relé inteligente.

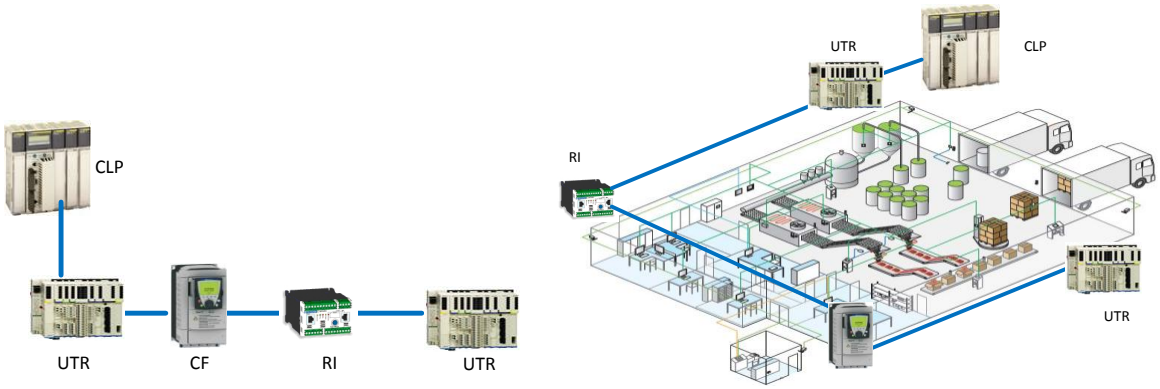


Figura 33 – Topologia em Daisy Chain

Vantagens:

- Redução de custos por conexão;
- Baixa infraestrutura;
- Facilidade de instalação;
- O uso de dispositivo de dupla porta Ethernet elimina necessidade de *switches* externos.

Desvantagens:

- Uma falha de um dispositivo irá interromper a comunicação com o resto dos dispositivos no barramento (baixa confiabilidade). Mas a comunicação continua disponível entre os dispositivos que ainda estão ligados entre si;
- Podem ser instalados até 32 dispositivos. O tempo total do primeiro ao último dispositivo com latência de 40 microssegundos por dispositivo é de 1.3 milissegundos.

A topologia *Daisy Chain* também pode ser utilizada em anel.

6.4 TOPOLOGIA EM ANEL

A topologia em Anel se comporta como uma topologia de barramento, com a vantagem de que se ocorrer uma falha o sistema automaticamente é reconfigurado pelo outro lado. A figura 34 mostra uma topologia em anel em uma área industrial, composta por unidades remotas, conversores de frequencia e relé inteligente.

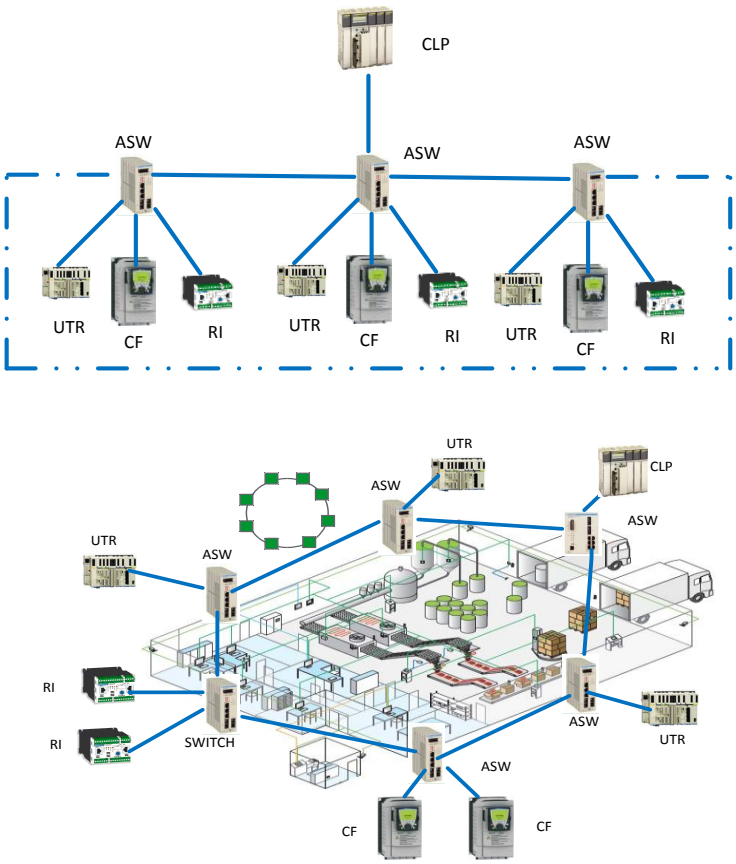


Figura 34 – Topologia em Anel

Um requisito fundamental para qualquer rede Ethernet é a prevenção de *loops*. Para prevenir ocorrência de loops em rede de topologia em anel existem vários protocolos de redundância como:

STP –Spanning Tree

RSTP – Rapid Spanning Tree

Hiper-Ring – Protocolo do fabricante de *switch Hirschmann*

Os protocolos de redundância são semelhantes: os *switches* enviam um pacote na rede para detectar falhas e recuperar a rede. O impacto para recuperação da rede é insignificante.

Vantagens:

- A falha em um switch não afeta a rede;
- Alta disponibilidade e confiabilidade.

Desvantagens:

- Aumento de pontos intermediários, retardo da transmissão;
- O tempo de recuperação necessário depende do protocolo utilizado. Como exemplo o protocolo HIPER-Ring pode reconfigurar a rede em <300-500 milissegundos.

6.4.1 **Protocolo Spanning Tree (STP)**

Este protocolo foi criado pela DEC (*Digital Equipament Corporation*) e depois homologado pela *IEEE* com nome de IEEE 802.1d. Este protocolo tem a função de monitorar todos os caminhos da rede, não permitindo que ocorram *loops*, bloqueando caminhos redundantes e mantendo ativo apenas um caminho.

Para este protocolo realizar esta função ele define um *switch* raiz (*root bridge*) que é o centro lógico desta rede. Em uma rede só pode haver apenas um *switch* raiz. Quando existe alteração na topologia da rede o *switch* raiz é modificado. Todos os outros *switches* da rede são chamados de *switch* não raiz (*no-root bridge*).

As portas do *switch* raiz são chamadas de portas designadas e ficam no modo encaminhamento (*forwarding-state*). Neste modo a porta recebe e envia dados. A porta de menor custo do *switch* não raiz é chamada de porta raiz e é configurada para o modo de encaminhamento, que permite receber e enviar dados.

As outras portas são portas não designadas e são configuradas para modo bloqueio, não permitindo enviar ou receber dados.

O *Bridge Protocol Data Unit (BPDU)* são mensagem usadas pelos *switches* para implementar o protocolo *STP*.

As portas têm quatro modos de operação:

Blocking: Não encaminha quadros. Pode receber e analisar *BPDU(Bridge Protocol Data Unit)*.

Listening: Recebe e analisa *BPDU* para verificar se existe loop e iniciar o encaminhamento de quadros.

Learning: Guardam os endereços *MAC* na tabela MAC mas não encaminha quadros.

Forwarding: Envia e recebe quadros

Para realizar o *STP* os *switches* necessitam de um tempo para que todos os laços lógicos estejam definidos para manter ativo apenas um caminho. Este tempo é chamado tempo de convergência. O tempo para *STP* é em média 30 segundos.

6.4.2 Protocolo *Rapid Spanning Tree (RSTP)*

Este protocolo é a evolução do protocolo *STP* e foi homologado pela IEEE com nome de IEEE 802.1W. Os protocolos *STP* e *RSTP* são compatíveis entre si. Este padrão melhora o tempo de convergência do algoritmo do *Spanning-tree*.

O *RSTP* elege o *switch* raiz da mesma maneira que no 802.1d e o tempo de transição para o estado das portas foi reduzido para 3 modos de operação: *Discarding, Learning e Forwarding*.

No STP tem-se os modos de operação *Blocking, Listening* e *Learning* separados. No *RSTP* eles são unidos no modo *Discarding*. A tabela 1 mostra a

diferença entre os modos de operação das portas utilizadas com protocolo *STP* e *RSTP*.

Tabela 1 – Estados das portas do STP/RSTP

Estado da porta *STP* (802.1d)	Estado da porta *RSTP* (802.1w)	Porta está incluída na topologia ativa	Porta está aprendendo endereço *MAC*
Disabled	*Discarding*	Não	Não
Blocking	*Discarding*	Não	Não
Listening	*Discarding*	Sim	Não
Learning	*Learning*	Sim	Sim
Forwarding	*Forwarding*	Sim	Sim

O protocolo *RSTP* também utiliza as mensagens *Bridge Protocol Data Unit (BPDU)* para implementar o protocolo.

O tempo de convergência para *RSTP* é em média 2 segundos.

6.4.3 Protocolo *Hiper-Ring*

Este protocolo é proprietário e foi desenvolvido pela *Hirschmann* em 1998. Ele está baseado no conceito do protocolo *Spanning Tree*. O *Hiper-Ring* aumenta significativamente a disponibilidade da rede. Enquanto no *Spanning Tree* o tempo de recuperação da rede é em media de 30 segundos, no *Hiper-Ring* esse tempo é de meio segundo. O anel pode utilizar até 50 *switches* industriais.

Em cada anel existe um dispositivo chamado de Gerenciador de Redundância (*RM- Redundancy Manager*). Este dispositivo é configurado pelo usuário via software e via chave física no dispositivo.

O Gerenciador de Redundância configura uma porta no modo passivo e outra no modo ativo. O Gerenciador de Redundância monitora a integridade do anel

enviando, a cada 100 ms, pacotes chamados de *watchdog* nas duas portas. Se perder três pacotes de *watchdog* o Gerenciador de Redundância irá reconhecer uma interrupção do anel e ativa a porta passiva. Os intervalos de tempo de recuperação estão entre 0,3 e 0,5 s para *Fast Ethernet* e de 0,02 a 0,1 s com *Gigabit Ethernet*. A figura 35 mostra o switch Gerenciador de Redundância antes e depois de uma falha no anel.

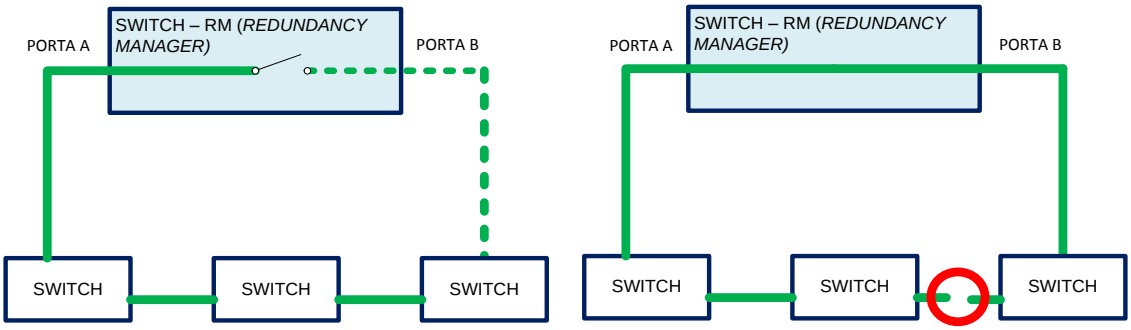


Figura 35 – *Hiper-Ring*

7 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Neste capitulo será relatado o protocolo de comunicação mais utilizado na rede de automação do CENPES, o *MODBUS*. A primeira parte descreve o *Modbus* serial e a segunda parte sua evolução para *Modbus/TCP*. A terceira parte descreve o protocolo de comunicação *EGD (ETHERNET GLOBAL DATA)*.

7.1 PROTOCOLO *MODBUS RTU (REMOTE TERMINAL UNIT)*

O protocolo *MODBUS RTU* é um protocolo de comunicação aberto muito utilizado em sistemas de automação industrial e predial desde 1979. Foi desenvolvido pela *Modicon Industrial Automation Systems* e comercializado por vários fabricantes. Ele é utilizado por dispositivos como CLP´s, UTR´s, conversores de frequência, medidores de energia e demais equipamentos de automação.

O *Modbus* é um protocolo mestre-escravo. Comparando com o modelo de referencia OSI, o *Modbus* está na camada 2.

A figura 36 mostra a comparação entre o *Modbus RTU* (serial) e as sete camadas do modelo de referencia OSI. Na camada 7 da OSI o *Modbus* fornece uma comunicação cliente/servidor entre dispositivos conectados a rede. Na rede serial *Modbus*, a função cliente é realizada pelo mestre do barramento e os escravos como servidores.

CAMADAS	MODELO ISO/OSI		
7	APLICAÇÃO	MODBUS-APLICAÇÃO	CLIENTE/SERVIDOR
6	APRESENTAÇÃO	-	-
5	SESSÃO	-	-
4	TRANSPORTE	-	TCP
3	REDE	-	IP
2	ENLACE	MODBUS serial	MESTRE / ESCRAVO
1	FISICA	EIA/TIA-485 (EIA/TIA-232)	IEE-802.3

Figura 36 – Camada modelo ISO/OSI e Protocolo *MODBUS*

7.1.1 **Camada Física**

A interface elétrica mais utilizada é o padrão *EIA/TIA*-485 (*EIA - Electronic Industries Alliance, TIA - Telecommunications Industry Association*) também conhecida como padrão RS485. Este padrão permite comunicação ponto-a-ponto e multiponto, em uma "configuração a dois fios". A maioria dos dispositivos também implementam um padrão de interface a "quatro fios" RS485. Neste tipo de cabeamento só é possível um mestre e vários escravos.

Alguns dispositivos também podem utilizar a interface *EIA/TIA* -232-E (RS-232). A interface RS-232 só permite utilização ponto-a-ponto, com distâncias curtas.

O cabeamento utilizado para RS-485 é robusto e imune à interferência eletromagnética, porque utiliza a técnica de transmissão diferencial de sinais. A velocidade de transmissão pode variar de 1200 bps a 12 Mbps. Este cabeamento pode ser utilizado até uma distância de 1000 metros. Quanto maior a distância menor a velocidade.

Todos os dispositivos são conectados (em paralelo) em um cabo trançado.

Cada mensagem em *MODBUS RTU* é enviada com 11 *bits* sendo 1 *start bit*, 8 bits de dados, paridade e 1 *stop bit*, ou quando não é utilizado paridade são usados 2 *stop bits*. Cada 8 *bits* na mensagem irá conter 2 caracteres hexadecimal de 4 *bits*.

Os bits de dados são transmitidos do *bit* menos significativo para o *bit* mais significativo. Todos os equipamentos ligados no mesmo barramento devem possuir a mesma configuração de paridade, velocidade e *stop bits*.

As mensagens são transmitidas em quadros separados por intervalos de silêncio de pelo menos 3,5 tempos de caracter. A figura 37 mostra o espaçamento no inicio e fim dos quadros de mensagem.

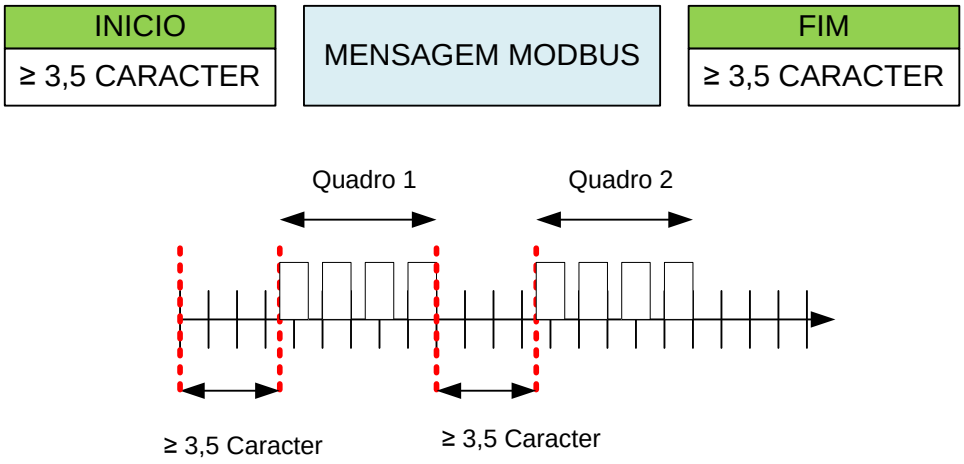


Figura 37 – Quadro de mensagens *MODBUS*

7.1.2 **Camada de Enlace**

O *MODBUS* é um protocolo mestre-escravo. No barramento só se tem um Mestre e um ou vários Escravos, no máximo 247. A comunicação é sempre inicializada pelo Mestre, os Escravos nunca se comunicam sem receber pedido do Mestre. Os Escravos não se comunicam entre si.

Nas aplicações de automação pode-se ter uma arquitetura na qual o Mestre é o Sistema de Supervisão e os Escravos os CLP´s. Outra possibilidade é o Mestre ser o CLP e os Escravos serem as UTR´s.

Na comunicação serial (*MODBUS RTU*) as funções do mestre e do escravo são fixas. Em outras redes como Ethernet os dispositivos podem ter função mestre e escravo, simultaneamente.

O mestre tem duas maneiras de fazer o pedido:

Unicast – O mestre faz o pedido para um escravo individual. Ele processa o pedido e retorna uma resposta (mensagem). Cada escravo tem um endereço único (1 a 247). A figura 38 mostra uma comunicação tipo *Unicast* entre CLP mestre e UTR´s escravo.

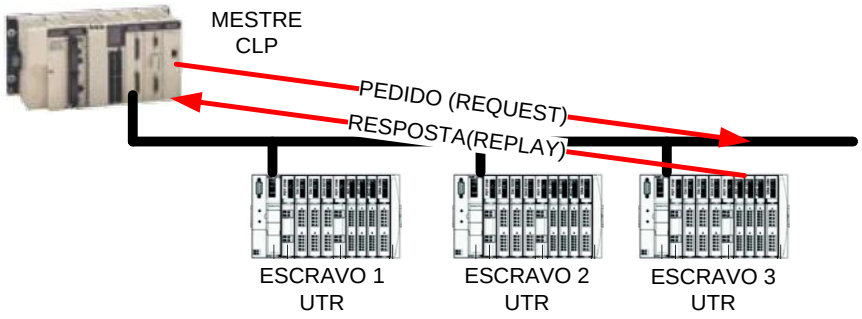


Figura 38 – MODO *UNICAST*

Broadcast – O Mestre envia pedido para todos os escravos. Nenhuma resposta é devolvida pelos Escravos para o Mestre. Este tipo de pedido é utilizado para comando de escrita. O endereço 0 é reservado para identificar uma difusão de *broadcast*. A figura 39 mostra uma comunicação tipo *Broadcast*.

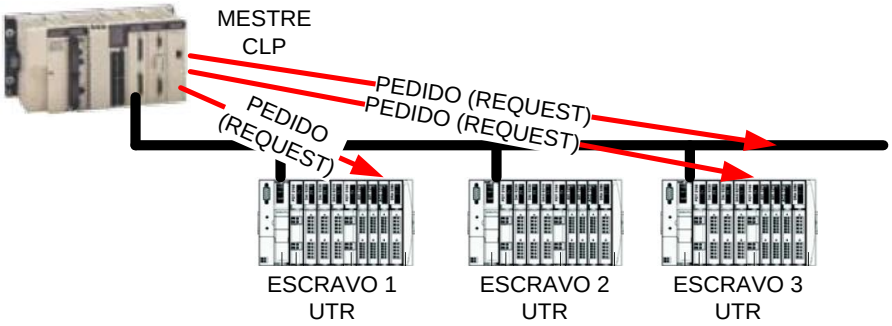


Figura 39 – MODO *BROADCAST*

O endereçamento do *MODBUS* dispõe de 256 endereços. A tabela 2 mostra os endereçamentos.

Tabela 2 – Endereçamento *MODBUS RTU*

Endereço	Descrição
0	*Broadcast*
1 a 247 (0x00 a 0xf7)	Escravo – Endereço Individual
248 a 255 (0xf8 a 0xff)	Reservado

O quadro *MODBUS* é formado por um simples *Protocol Data Unit (PDU)* independente das camadas de comunicação subjacentes. O *PDU* independe do meio físico. A figura 40 mostra o formato do quadro *PDU MODBUS*.

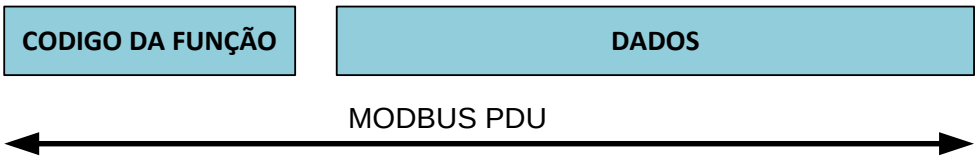


Figura 40 – PDU MODBUS

Durante uma comunicação *MODBUS* são adicionados campos ao *PDU* para complemento da comunicação adequado. A *PDU* é montada pelo mestre, adicionando o campo “endereço” e campo “*CRC*” (*Cyclical Redundancy Checking*). A figura 41 mostra *PDU* para *MODBUS* serial com campo “endereço”, “código da função”, “dados” e “*CRC*”.

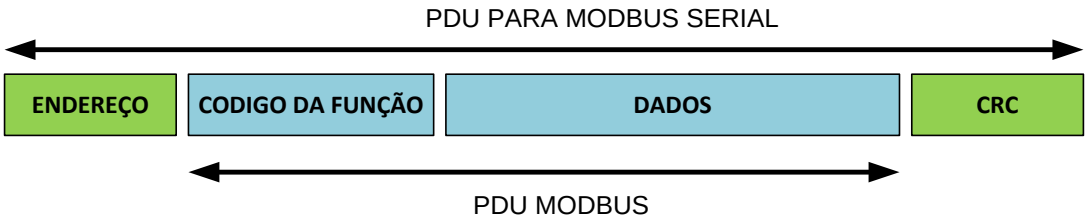


Figura 41 – PDU MODBUS SERIAL

O campo “endereço” (1 byte) contém o endereço do Escravo (1 a 247). O Mestre insere o endereço neste campo. Quando o Escravo retorna sua resposta, ele insere o seu próprio endereço no campo de “endereço” de resposta para que o Mestre reconheça o Escravo que está respondendo.

Tabela 3 – Principais Funções *MODBUS*

HEX	FUNÇÃO
0x01	*Read Coil Status* Leitura de n bits das saídas discretas dos dispositivos
0x02	***Read Input Status*** **Leitura de n bits das entradas discretas dos dispositivos.**
0x03	*Read Holding Registers* Leitura de n palavras dos *holding register* dos dispositivos.
0x04	***Read Holding Registers*** **Leitura de n palavras do *input registers* dos dispositivos**
0x05	*Force Single Coil* Escrita de 1 bit de saída discreta
0x06	***Preset Single Register*** **Escrita de 1 palavra de *holding register*.**
0x07	Leitura rápida de 1 byte
0x0F	**Escrita de n bits**
0x10	Escrita de n palavras

O campo código de função indica ao escravo que tipo de ação a ser executada. O código de função é constituído por 1 *byte*. Na resposta do escravo este campo é repetido quando não há erros na mensagem. Quando o escravo não executa uma função por um determinado problema o escravo configura o *bit* mais significativo (*MSB*) desse *byte* em 1 (um).

O campo função varia de 1 a 255 (0x01 a 0xff), mas apenas a faixa de um até 127 (0x01 a 0x7f) é utilizada. Como relatado anteriormente o bit mais significativo é reservado para respostas de exceção. A tabela 3 mostra algumas funções do protocolo *MODBUS*.

O campo dados pode ter tamanho de 0 a 252 *bytes*. Neste campo é enviado uma informação adicional do campo “código da função” pelo mestre. O escravo

envia neste campo a informação pedida pelo mestre. Os *bytes* de dados contém informação de qual registrador inicial e quantidade de registros a serem lidos. Quando existe um erro o escravo envia um *exception response* inserindo o código de erro neste campo. Este campo pode ter 0 *byte* caso o código de função não necessite de dados adicionais.

O campo *CRC* contém 2 *bytes* e tem função da verificação de erro. O campo *CRC* é gerado no mestre. O escravo calcula o *CRC* da mensagem recebida e compara este valor com o *CRC* enviado. Se estes valores são diferentes é gerado um erro e a mensagem descartada. A figura 42 mostra o quadro de mensagem *MODBUS RTU*.

ENDEREÇO	CODIGO DA FUNÇÃO	DADOS	CRC
1 byte	1 byte	0 a 252 byte (s)	2 bytes CRC low, CRC Hi

Figura 42 – Quadro de Mensagem MODBUS RTU

As figuras 43 e 44 mostram um exemplo da estrutura do quadro a enviar e receber conforme o protocolo *MODBUS*, para a função de leitura de n palavras.

ENDEREÇO DO ESCRAVO	CODIGO DA FUNÇÃO	ENDEREÇO DA 1º PALAVRA PARA LER	N DE PALAVRAS A LER	CRC (OU LRC)
01 a FF	03 OU 04	2 bytes	2 bytes	2 bytes CRC low, CRC Hi

Figura 43 – Quadro de Pedido

ENDEREÇO DO ESCRAVO	CODIGO DA FUNÇÃO	N DE BYTES	VALOR DA 1º PALAVRA LIDA		VALOR DA ÚLTIMA PALAVRA LIDA	CRC (OU LRC)
01 a FF	03 OU 04	1 byte	2 bytes	----------	2 byteS	2 bytes CRC low, CRC Hi

N PALAVRAS OU 2 N BYTES

Figura 44 – Quadro de Resposta

7.2 PROTOCOLO *MODBUS TCP* (*Transmission Control Protocol*)

Como visto no item anterior a simplicidade do protocolo *Modbus* serial em meio físico RS-485 foi incorporada com o meio físico mais utilizado hoje em dia, a tecnologia Ethernet. Utilizando as vantagens do protocolo TCP/IP no meio físico Ethernet foi criado o protocolo *Modbus TCP/IP*.

Com estas modificações foi possível aumentar a velocidade, possuir mais de um mestre na rede, não limitando a quantidade de escravos na rede, e acesso a pagina Web dos equipamentos para monitoração e configuração. Nesta tecnologia o mestre é chamado de cliente e os escravos de servidores.

O encapsulamento não alterou a estrutura básica da mensagem original *MODBUS*.

O serviço de mensagens *MODBUS* fornece uma comunicação cliente / servidor entre dispositivos conectados em uma rede Ethernet TCP / IP.

O modelo cliente / servidor é baseado em quatro tipos de mensagens: pedido, confirmação, indicação, resposta. A figura 45 mostra a arquitetura cliente/servidor utilizado no protocolo *MODBUS* TCP/IP.

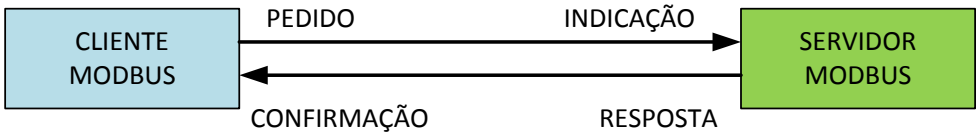


Figura 45 - Modelo Cliente/Servidor

- Pedido *MODBUS* é a mensagem enviada na rede pelo cliente para iniciar uma operação;
- Indicação *MODBUS* é a mensagem de pedido recebido pelo servidor;
- Resposta *MODBUS* é a mensagem de resposta enviada pelo servidor;

- Confirmação *MODBUS* é a mensagem de resposta recebida no lado do cliente.

Em *MODBUS* TCP/IP um cliente pode estabelecer outras comunicações sem a primeira ter finalizado. O controle do fluxo de mensagens é controlado pelos protocolos TCP/IP.

Como relatado no item anterior o quadro *MODBUS* é formato por um simples *Protocol Data Unit (PDU)* independente do meio físico utilizado. A figura 46 mostra o formato do quadro *PDU MODBUS TCP/IP*.

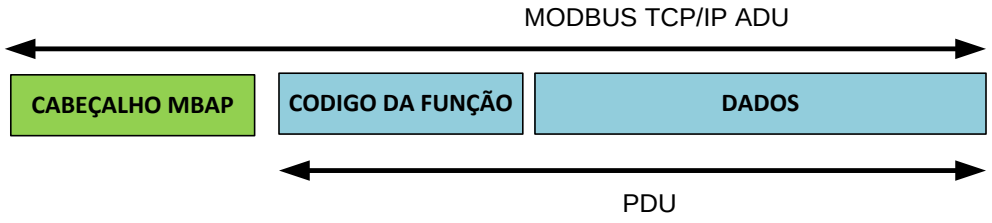


Figura 46 – *Aplication Data Unit (ADU)* em Modbus TCP/IP

Durante uma comunicação em *MODBUS TCP/IP* são adicionados campos ao *PDU* para complemento da comunicação adequado. O *PDU* é montado pelo cliente adicionando o cabeçalho "*MBAP Header*" (*Modbus Application Protocol Header*) e retirado o campo de verificação de erro *CRC*. A verificação de erros é realizada pelos protocolos TCP/IP. A figura 47 mostra o *PDU* com os campos adicionais do cabeçalho *MBAP* formando um *Aplication Data Unit MODBUS TCP/IP*.

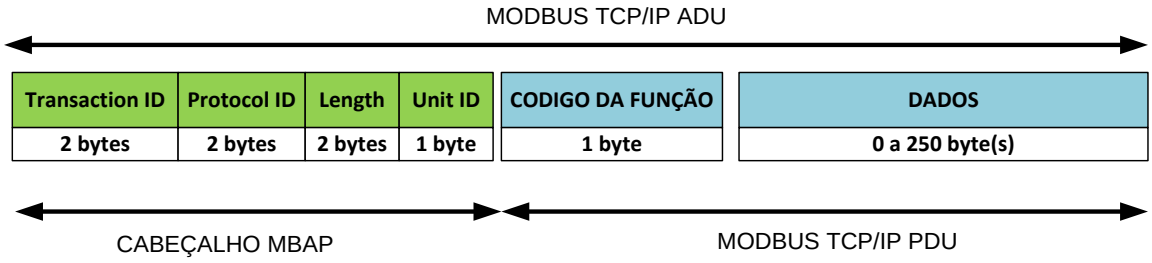


Figura 47 - Formato do cabeçalho MBAP

O cliente é que inicia uma operação *MODBUS* e monta o *ADU MODBUS*. O código de função indica ao servidor o tipo de ação a ser executada. O campo código de função é igual ao do *MODBUS RTU*.

Este cabeçalho possui algumas diferenças em relação ao *ADU* do serial *MODBUS RTU*.

O cabeçalho "*MBAP Header*" é formado pelos seguintes campos: *Transaction Identifier, Protocol Identifier, Length* e *Unit identifier*.

Transaction Identifier é composto por 2 *bytes*. É responsável pela Identificação de uma operação pedido/resposta, isto é, pela sincronização entre o cliente e o servidor. Esta identificação é criada pelo cliente quando envia um pedido. O servidor copia na resposta o *Transaction Identifier* do pedido recebido.

Protocol Identifier tem o tamanho de 2 *bytes*. Igual a 0 (zero) para *Modbus*, reservado para futuras extensões. Gerado pelo Cliente. O servidor copia na resposta *Protocol Identifier* do pedido recebido.

Length tem o tamanho de 2 *bytes*. Número de *bytes* que se seguem a este campo. Gerado pelo cliente (pedido) e inicializado pelo servidor (resposta). Inclui os campos *Transaction Identifier* e dados.

Unit identifier tem o tamanho de 1 *byte*. É responsável pela Identificação de um escravo remoto conectado em barramento serial. Este campo é utilizado para o roteamento. Ele é geralmente usado para se comunicar com *MODBUS* escravo conectado a um barramento serial através de um gateway entre uma rede Ethernet TCP-IP e uma rede *MODBUS* serial. Este campo é definido pelo cliente *MODBUS* no pedido e deve ser retornado com o mesmo valor na resposta do servidor.

Um quadro TCP apenas transporta um quadro *MODBUS* de cada vez. Não é possível encapsular dois *MODBUS PDU* em um pacote TCP.

A figura 48 apresenta uma arquitetura geral conceitual dos componentes *MODBUS*, incluindo cliente e servidor *MODBUS*, utilizável em qualquer dispositivo. Alguns dispositivos podem possuir somente cliente ou servidor *MODBUS*.

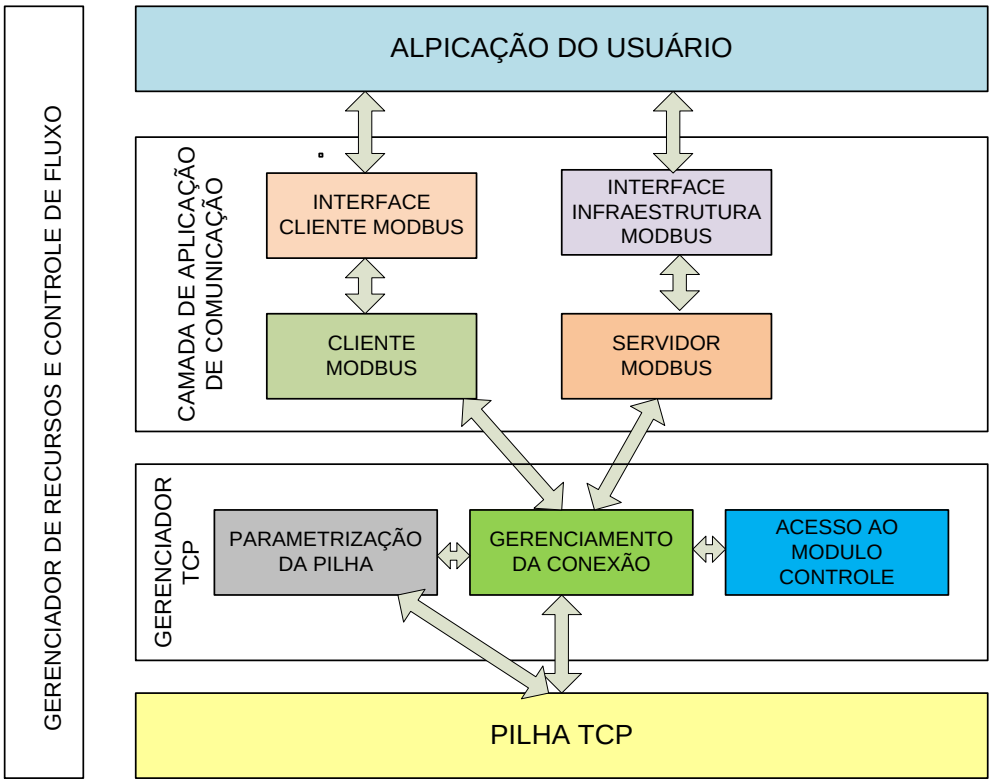


Figura 48 – Arquitetura Geral dos componentes *MODBUS* [10]

Na Camada de Aplicação de comunicação, um dispositivo *MODBUS* pode fornecer uma interface cliente e / ou um servidor *MODBUS*.

A interface de infraestrutura MODBUS é uma interface do Servidor *MODBUS* e pode disponibilizar indiretamente o acesso a objetos de aplicação do usuário.

Quatro áreas pode compor esta interface: entrada discreta, saída discreta, registros de entrada e registros de saída. A tabela 4 mostra os tipos de objetos de aplicação do usuário.

Tabela 4 - Objetos de aplicação do usuário

Tabelas primárias	**Tipo de objeto**	**Leitura / Escrita**	**Observações**
Entrada discreta	Único *bit*	Somente leitura	Este tipo de dados pode ser fornecido por um dispositivo de entrada e saída.
Saída discreta	Único *bit*	Leitura / Escrita	Este tipo de dados pode ser alterado por um programa de aplicação.
Registro de entrada	Palavra de 16 *bits*	Somente leitura	Este tipo de dados pode ser fornecido por um dispositivo de entrada e saída.
Registro de saída	Palavra de 16 *bits*	Leitura / Escrita	Este tipo de dados pode ser alterado por um programa de aplicação.

Cada dispositivo pode organizar seus dados de duas maneiras: em 4 blocos separados ou único bloco.

A figura 49 mostra os dados de organização em um dispositivo com entradas e saídas discretas e analógicas. Cada bloco é separado porque os dados de diferentes blocos não têm correlação. Cada bloco é, portanto, acessível, com diferentes funções *MODBUS*.

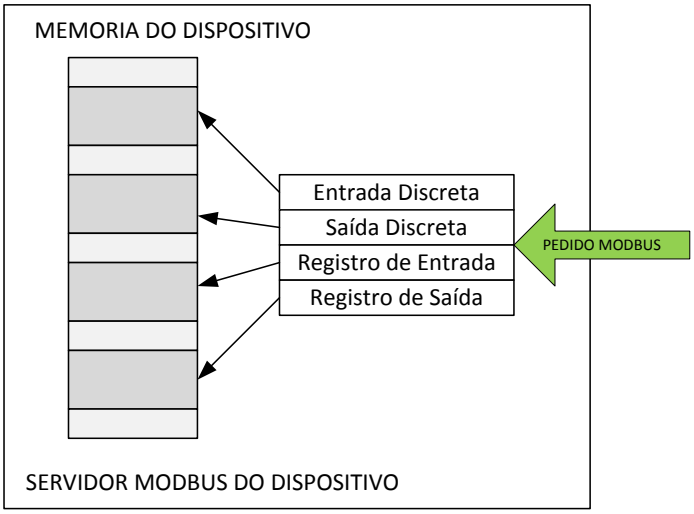


Figura 49 – Dados *MODBUS* com blocos separados

Na figura 50, o dispositivo tem apenas um bloco de dados. Os mesmos dados podem ser alcançados através de várias funções *MODBUS* através de um acesso de 16 bits ou através de um *bit* de acesso.

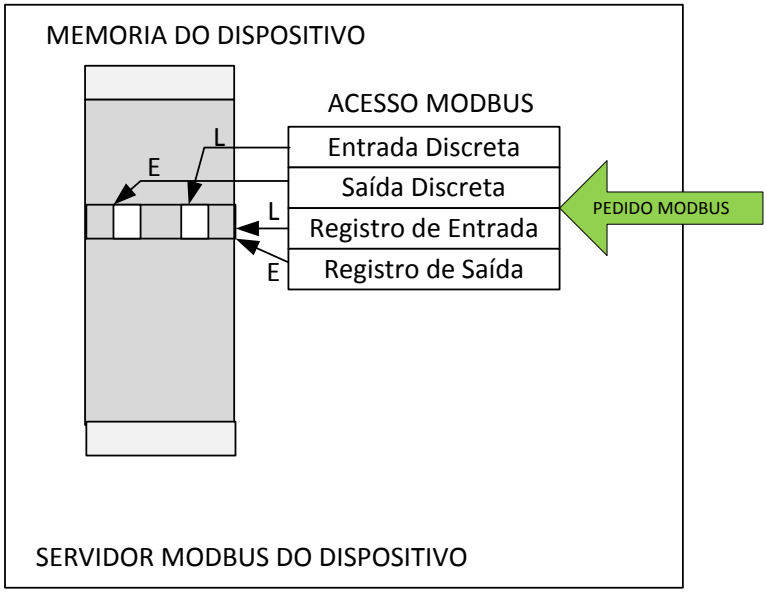


Figura 50 – Dados *MODBUS* com somente um bloco

O mapeamento entre os dados *MODBUS* de um dispositivo é determinado pelo fornecedor. A figura 51 mostra modelo de endereçamento *MODBUS*.

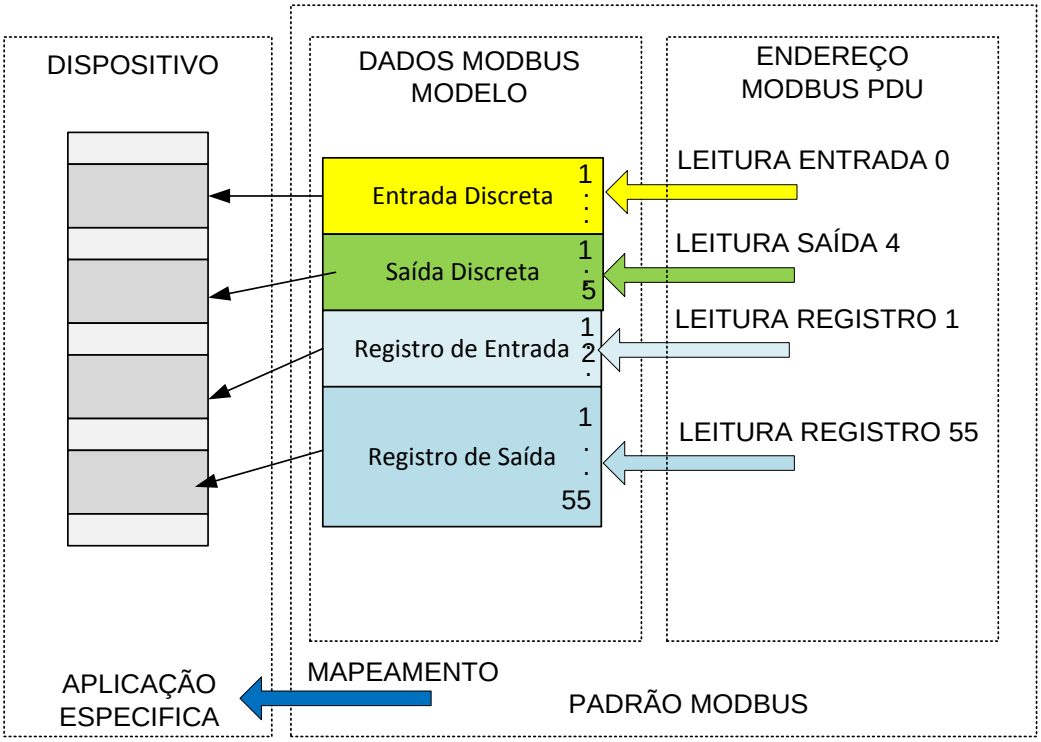


Figura 51 – Modelo de endereçamento *MODBUS*

A principal função do servidor *MODBUS* é a de esperar por um pedido *MODBUS* na porta TCP 502, para tratar esse pedido e, em seguida, enviar uma resposta *MODBUS* dependendo do dispositivo. O processamento dessas ações é feito totalmente transparente para o programador da aplicação.

A interface do cliente *MODBUS* fornece uma interface que permite à aplicação do usuário criar os pedidos de vários serviços *MODBUS* incluindo o acesso a objetos de aplicação *MODBUS*.

O cliente *MODBUS* permite a aplicação do usuário controlar a troca de informações com um dispositivo remoto. O cliente *MODBUS* cria um pedido *MODBUS* de parâmetro contido em uma demanda enviada pela aplicação do usuário através da interface do cliente *MODBUS*.

O cliente *MODBUS* utiliza uma operação *MODBUS* para gerenciamento de espera e o processamento de uma confirmação *MODBUS*.

Uma das principais funções do serviço de mensagens é gerenciar o estabelecimento de comunicação, finalizar e gerenciar o fluxo de dados em conexões TCP estabelecidas. A comunicação entre o cliente e o servidor *MODBUS* requer o uso de um gerenciador de conexão TCP.

O Protocolo TCP é um protocolo de transporte fim-a-fim, orientado a conexão, que fornece um serviço de transferência confiável de dados entre aplicações. Ele garante que os dados são entregues livres de erro, em sequencia e sem perdas ou duplicação.

Existem dois modos para o gerenciamento de conexão. A aplicação do usuário gerencia a conexão TCP ou o controle de conexão é feito pelo gerenciador de conexão e, portanto, é transparente para a aplicação do usuário.

Em certos processos críticos, o acesso aos dados internos de dispositivos pode ser restrito. Os processos de segurança podem ser implementados, se necessário.

A pilha TCP / IP pode ser parametrizada de forma a adaptar o controle de fluxo de dados, o gerenciamento de endereços e de conexão para diferentes restrições específicas para um produto ou sistema. Geralmente a interface usada é *socket BSD* (*Berkeley*) para gerenciar as conexões TCP.

Os *"sockets"* de *Berkeley* são *APIs (Application Programming Interface)* genéricas para programação sobre protocolos de comunicação.

O TCP utiliza o conceito de porta para identificar a aplicação destino. As portas permitem que vários processos de um dispositivo utilizem simultaneamente a transmissão TCP. As portas são valores inteiros de 16 *bits* e podem ser de 0 a 65535. As portas de 0 a 1023 são reservados a serviço padrão (*well known*). Estes números são designados e controlados pela *IANA (Internet Assigned Numbers Authority)*. As portas 1024 a 5000 são geralmente usado pelos clientes.

A *IANA* reserva-se a porta TCP 502 para *MODBUS*. Todos *ADU MODBUS / TCP* são enviadas via TCP para a porta 502. É obrigatório monitorar por padrão essa porta.

A conexão TCP é iniciada pelo Cliente, que informa a camada de transporte no Cliente que ele quer estabelecer conexão com o Servidor. Um programa cliente envia comando socket contendo o “número IP.número da porta”. A camada de transporte no cliente então passa a estabelecer uma conexão TCP-servidor.

Após a conexão TCP estabelecida, os dois processos trocam dados. O cliente envia os dados através dos *socket* para um *buffer* TCP, que envia os para o destino. A figura 52 mostra o *buffer* TCP de envio e recepção[3].

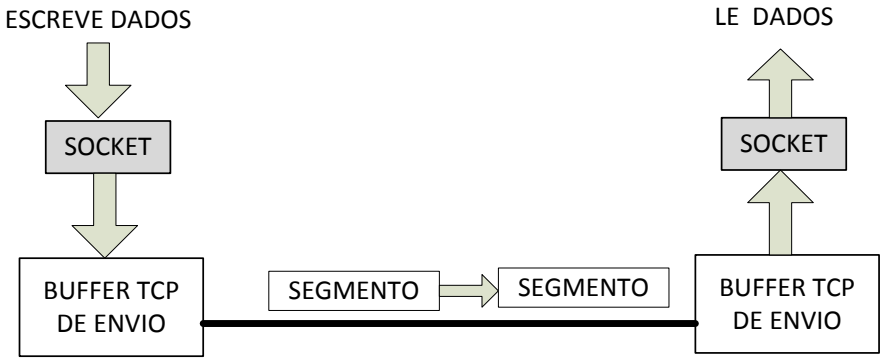


Figura 52 – Buffer TCP de envio e recepção [3]

Quando o serviço de mensagens precisa trocar dados com um servidor remoto, ele deve abrir uma conexão de cliente novo, com uma porta remota 502, a fim de trocar dados. A porta local deve ser superior a 1024 e diferente para cada conexão do cliente.

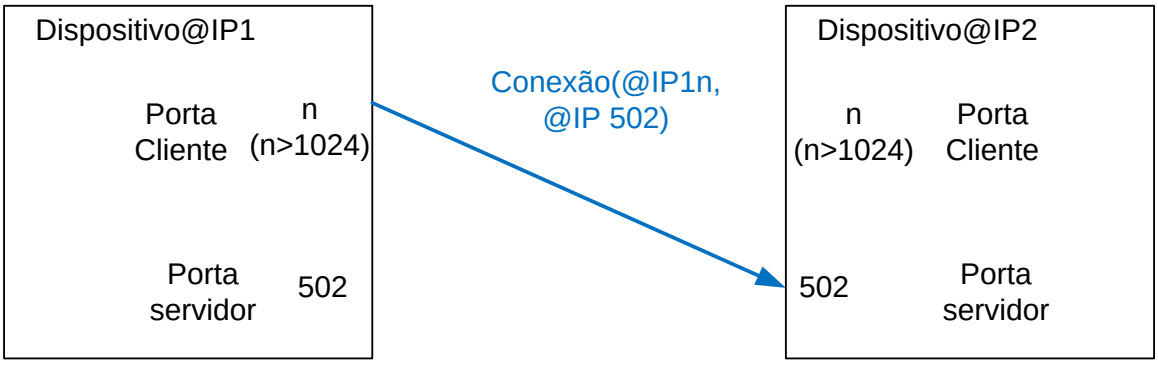


Figura 53 – Conexão MODBUS TCP

A fim de equilibrar o fluxo de dados de entrada e saída de mensagens entre o cliente e o servidor *MODBUS*, o mecanismo de controle de fluxo de dados é fornecido em todas as camadas da pilha de mensagens *MODBUS*.

A figura 54 mostra os campos do Quadro Ethernet IEEE 802.3 *MODBUS TCP/IP*.

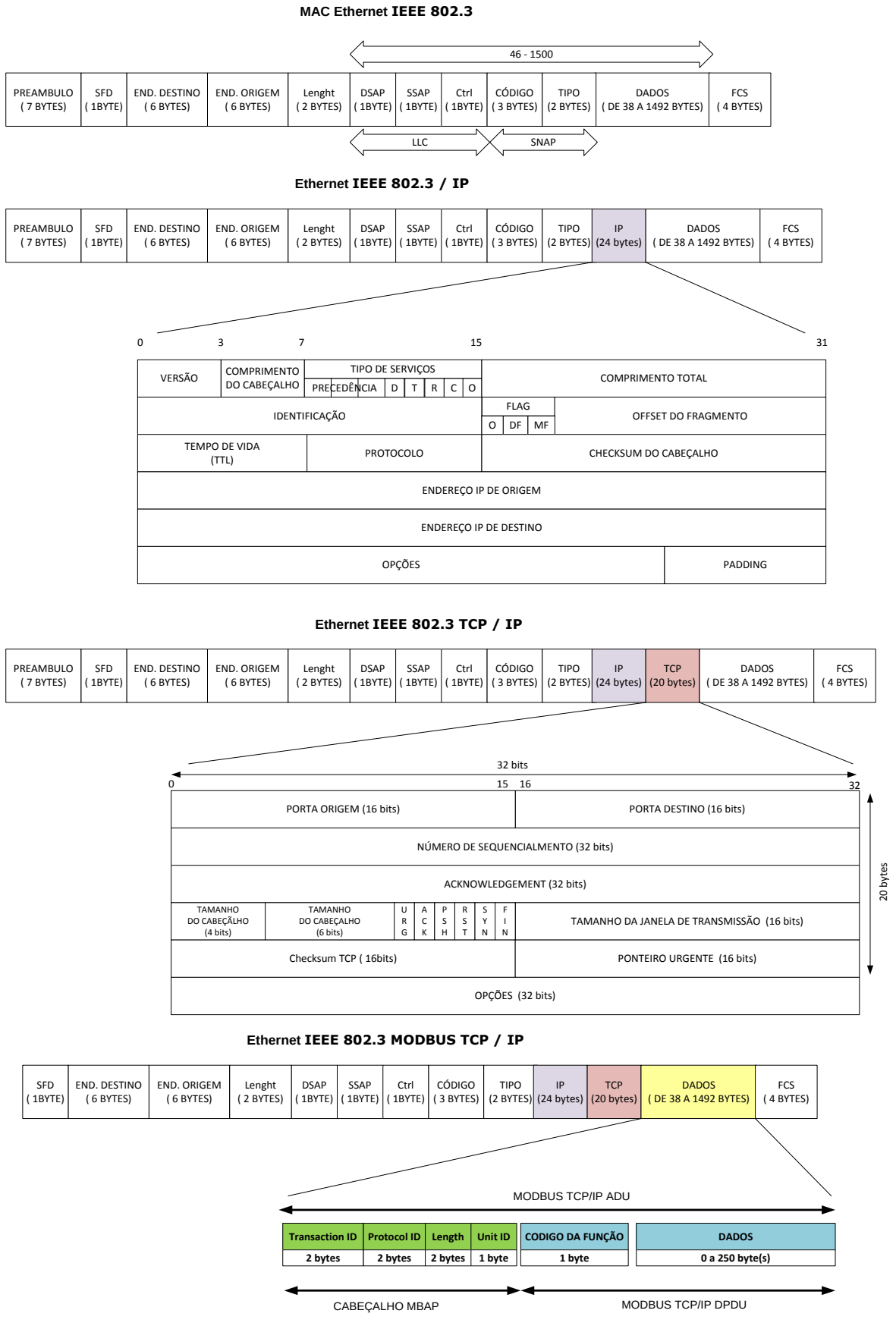


Figura 54 - Quadro Ethernet IEEE 802.3 MODBUS TCP/IP

7.2.1 Tempo no Protocolo de Comunicação *MODBUS/TCP*

O protocolo de comunicação MODBUS é adequado para meio Ethernet, pois utiliza pacotes pequenos, que são transmitidos rapidamente, provocando pouco ou atraso desprezível nos quadros.

Como exemplo o quadro Ethernet para HTTP é mais de dezenove vezes maior que o pedido MODBUS e mais de quatro vezes maior que o tamanho máximo da mensagem MODBUS.

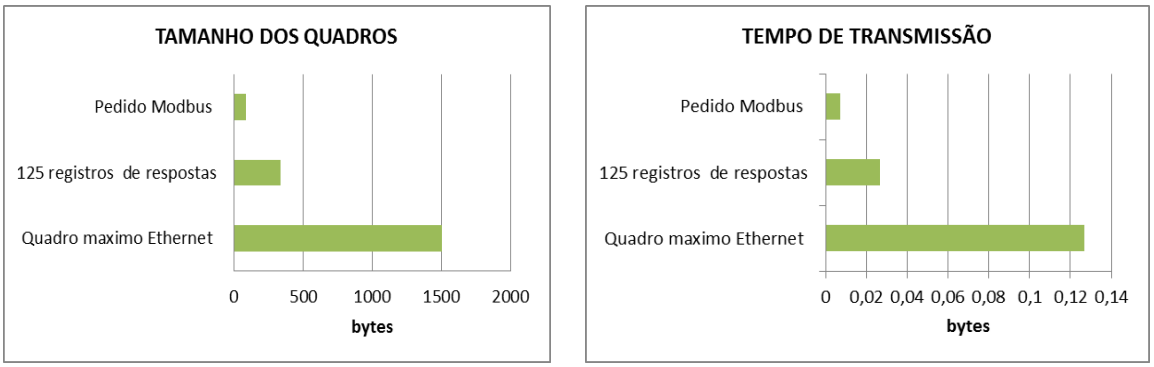


Figura 55 – Tempo de Transmissão

Nesta parte será mostrado o calculo do tempo de transmissão MODBUS sobre Ethernet, utilizando o quadro Ethernet com o overhead padrão.

Para quadro Ethernet tem-se:

12 bytes - intervalo entre cada pacote de Ethernet;

8 bytes – Preambulo e Delimitador de inicio de quadro (SFD);

4 bytes – FCS;

Para quadro *Modbus* tem-se:

62 bytes – cabeçalho *Modbus,* MAC, TCP, IP;

Para quadro total tem-se 86 bytes.

São adicionados 4 ou mais bytes dependendo da função MODBUS usada.

São adicionados 2 bytes para cada retorno ou pedido de escrita

Tempo de transmissão = ((tamanho do pacote x 8)) / (largura de banda)

Exemplo:

Leitura de um pedido de registro tipo 4x em rede de 100 Mbps através de 5 *switches*.

A função de leitura adiciona 4 bytes no total (2 *bytes* para identificar o primeiro registo e 2 *bytes* para indicar o número de registros a serem lidos).

((90 bytes * 8) / 100.000.000) = 0.0000072 segundos = 7.2 microssegundos

Adicionar 154 microssegundos para o pior caso de atraso de comutação por switch.

Tempo total = (7.2 + 154) * (5 switches) = 806 microssegundos < 1 milissegundo.

Para um quadro Ethernet HTTP tem-se:

((1518 bytes * 8) / 100.000) = 0.1214 milissegundos como mostrado na figura 55.

Podemos verificar que devido ao pequeno tamanho dos quadros do protocolo MODBUS é altamente improvável gerar tráfego capaz de congestionar um *switch*.

7.3 PROTOCOLO *EGD (Ethernet Global Data)*

O protocolo de comunicação EGD é proprietário e foi desenvolvido pelo fabricante *GE (General Eletric)* em 1998 para troca de informação entre CLP, IHM e as UTR´s.

EGD é baseado na tecnologia Ethernet utilizando serviço sem conexão e sem reconhecimento. Neste tipo de serviço os quadros são enviados da origem para o destino sem o reconhecimento (ACK). Não é estabelecida uma conexão lógica entre origem e destino. Os dados são transmitidos apenas uma vez com o CRC. Os

quadros danificados são perdidos. O controle de erro é realizado nas camadas superiores. Este serviço é adequado para redes onde a taxa de erros no nível físico é baixa e o tempo de espera da confirmação é critico. É utilizado em redes locais, em aplicação em tempo real, como vídeo conferência. A vantagem deste tipo de serviço é reduzir o *overhead*.

O EGD utiliza o protocolo *UDP (User Datagram Protocol)* sobre uma rede IP. Possui dois tipos de datagramas: mensagem de dados na porta 18246 (0x4746) e mensagem de controle porta 7937 (0X1F01) com um cabeçalho especial. As mensagens de dados são enviadas do produtor ao consumidor de forma programada. Um cabeçalho de 32 *bytes* com os seguintes campos precede cada mensagem de dados *EGD*. A figura 56 mostra a estrutura do cabeçalho (32 *Bytes*).

PDU Type – Este campo possui 1 *byte*, deve ser configurado para 13 para definir uma mensagem de dados.

PVN - Este campo possui 1 *byte*, deve ser configurado para 1 para ser compatível com a versão anterior.

RequestID - Um inteiro de 2 *bytes* sem sinal que é incrementado cada vez que uma amostra de dado é produzida.

ProducerID - Este campo é formado por 4 *bytes*. Representa o Identificador do Produtor.

ExchangeID - Este campo é formado por 4 *bytes*. Representa o Identificador do *Exchange*.

TimeStamp - Este campo é formado por 8 *bytes*. Corresponde ao tempo dos dados capturados.

Production Status - Este campo é formado por 2 *bytes*. Indica a validade dos dados produzidos. Bit 0: é configurado se houver erro de produção ou dados

inválidos. Bit 1: é configurado se o *timestamp* não estiver sincronizado com o produtor.

ConfigSignature - Este campo é formado por 2 *bytes*. Indica a versão dos dados.

Dados de produção - Este campo pode ser formado por até 1400 *bytes*.

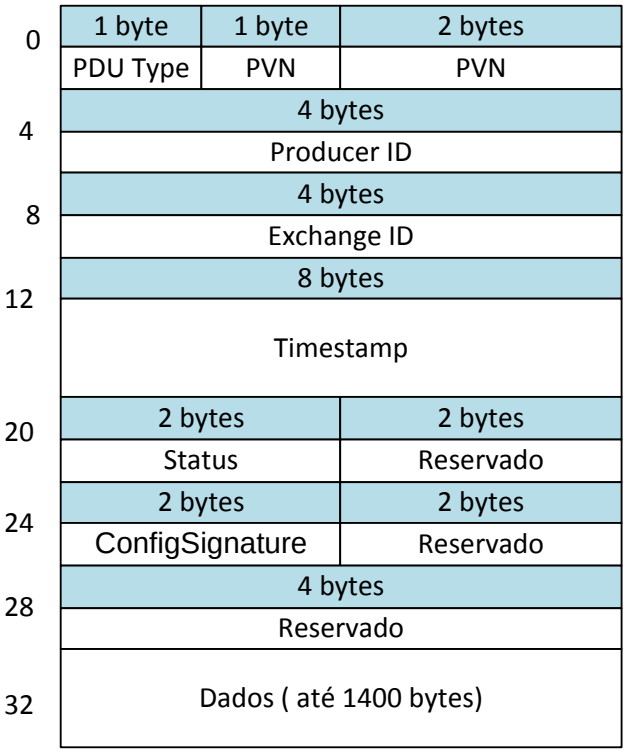


Figura 56 - Formato PDU dos dados de produção

O EGD utiliza o protocolo *SNTP (Simple Network Time Protocol)* para sincronizar os *timestamps* das trocas produzidas pelo EGD.

Este protocolo possui um formato de mensagem não requerida, isto é em vez de Servidor e Cliente, um nó na rede possui um Produtor e um Consumidor. O dispositivo que envia o dado é chamado Produtor (*PRODUCER)* e o dispositivo que recebe o dado é chamado de Consumidor (*CONSUMER*). Cada troca de mensagem entre os dispositivos é chamada de *EXCHANGE*. Os pacotes de dados Ethernet são enviados periodicamente por um dispositivo (Produtor) e recebido por um ou mais outros dispositivos (Consumidores).

O *Ethernet Global Data* (*EGD*) permite que um dispositivo Produtor compartilhe uma área da sua memória interna (*EXCHANGE*) com um ou mais outros dispositivos Consumidores, a uma taxa periódica, programada regularmente. Pode-se entender como uma área de memória comum, onde dois ou mais dispositivos podem ler a mesma memória compartilhada. Nesta troca (*EXCHANGE*) é formada por um conjunto de identificadores, o ID Produtor (*ProducerID*) e ID *Exchange (ExchangeID)*. A troca (*EXCHANGE*) refere-se a um conjunto de variáveis ou posições de memória que contêm um valor instantâneo da memória interna do PLC ou de outro dispositivo. O ID do Produtor é atribuído para uma identificação única do dispositivo de *Ethernet Global Data* que produz a troca na rede. O produtor é o dispositivo que irá periodicamente produzir novas amostras de dados de sua memória local interna. O *ID Exchange* é um valor que identifica uma troca específica dentro desse dispositivo de produção.

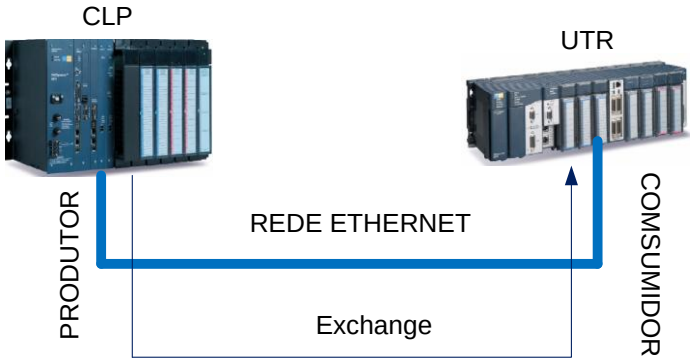


Figura 57 - Protocolo EGD

Uma única interface Ethernet pode ser configurada tanto para produzir quanto para consumir ao mesmo tempo, utilizando trocas separadas. Cada troca (*EXCHANGE*) pode ter até 1400 *bytes*.

O *EGD* permite a configuração de trocas que são enviadas para um endereço único de destino IP (*Unicast*), um grupo de endereços IP (*Multicast)*, ou para todos os nós *EGD* (*Broadcast*).

8 ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO DO CENPES (CENTRO DE PESQUISA DA PETROBRAS)

A filosofia de automação adotada utiliza uma estrutura distribuída de entradas e saídas analógicas e discretas, através de unidades remotas (UTR) e um dispositivo concentrador das informações, o Controlador Lógico Programável (CLP). O CLP é responsável pelo controle e pela monitoração das malhas de controle, tais como temperatura, nível e pressão, entre outras. Todos os dispositivos estão interligados através de rede com tecnologia Ethernet, utilizando a topologia física em anel com redundância.

Os CLP´s de cada unidade também estão interligados entre si e ao SSC (Sistema de Supervisão e Controle) através de rede com tecnologia Ethernet com topologia em anel.

A rede automação do CENPES é fisicamente segregada da rede corporativa da empresa e está dividida em três níveis, ilustrado na figura 58:

- Rede de Supervisão
- Rede de Controle
- Rede de Equipamentos

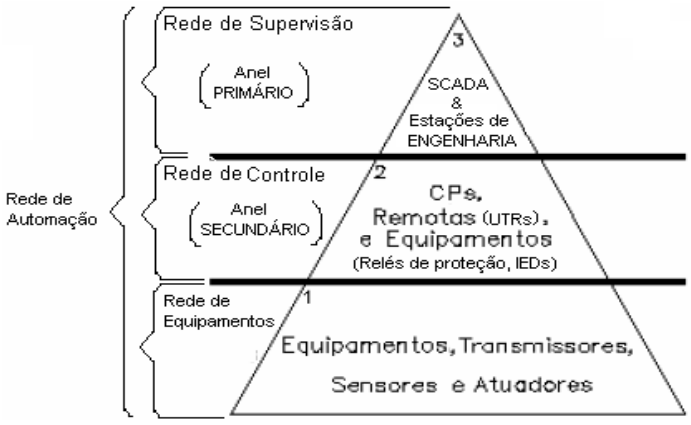


Figura 58 – Redes de Automação

8.1 REDE DE SUPERVISÃO

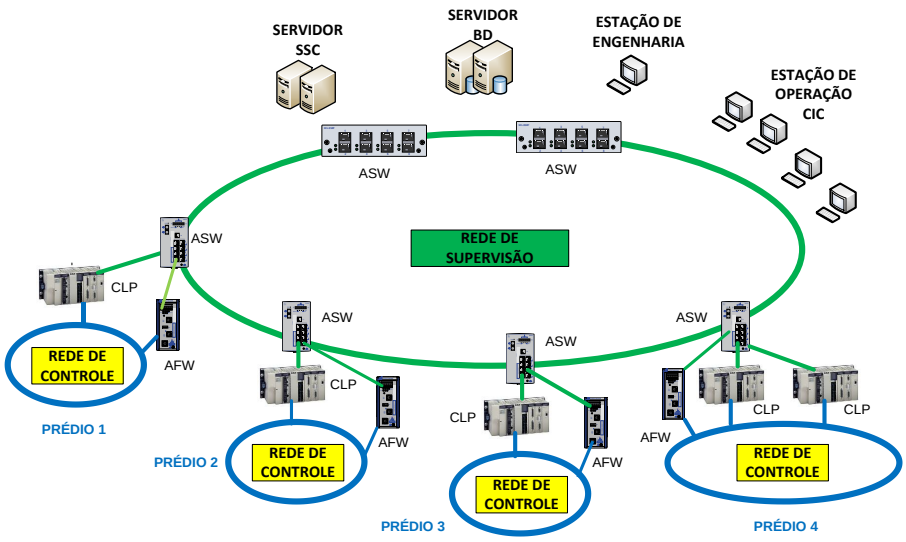


Figura 59 – Rede de Supervisão

Esta rede utiliza a tecnologia Ethernet IEEE-802.3/100 Mbps com topologia física em anel com redundância. Nesta rede é utilizado o protocolo *Hiper-Ring* para configuração desta topologia. É o *backbone* do sistema de automação. Na rede de supervisão, denominada como Anel Primário, trafegam dados de supervisão, comando, parametrização, configuração e diagnósticos dos equipamentos. Esta rede contempla os equipamentos do sistema de supervisão *SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)*, incluindo servidores, estações de operação e estações de engenharia. A figura 59 mostra a rede de supervisão simplificada.

O CLP é a interface de comunicação entre as redes de Supervisão e Controle (anel secundário).

A rede de supervisão contempla os equipamentos do Sistema de Supervisão e Controle (ASV) e a(s) Estações de ENGENHARIA (AEE) e de Banco de Dados (BD).

As Estações de ENGENHARIA (AEE) acessam as unidades remotas (UTR) e os equipamentos (relés de proteção-RI) que se encontram na Rede de Controle

(anel secundário) através de um *Firewall* (AFW), para configuração e parametrização, além dos serviços de apoio à Engenharia.

Todos os *switches* desta rede são do mesmo fabricante, utilizando o protocolo *Hiper-ring* da *Hirschmnan* para garantir a recuperação do anel em 300 a 500 milissegundos. Todos os dispositivos da rede são gerenciáveis (*switches, firewall*). Foi adotado para padronização e facilidade de manutenção o cabeamento de cor verde.

8.2 REDE DE CONTROLE

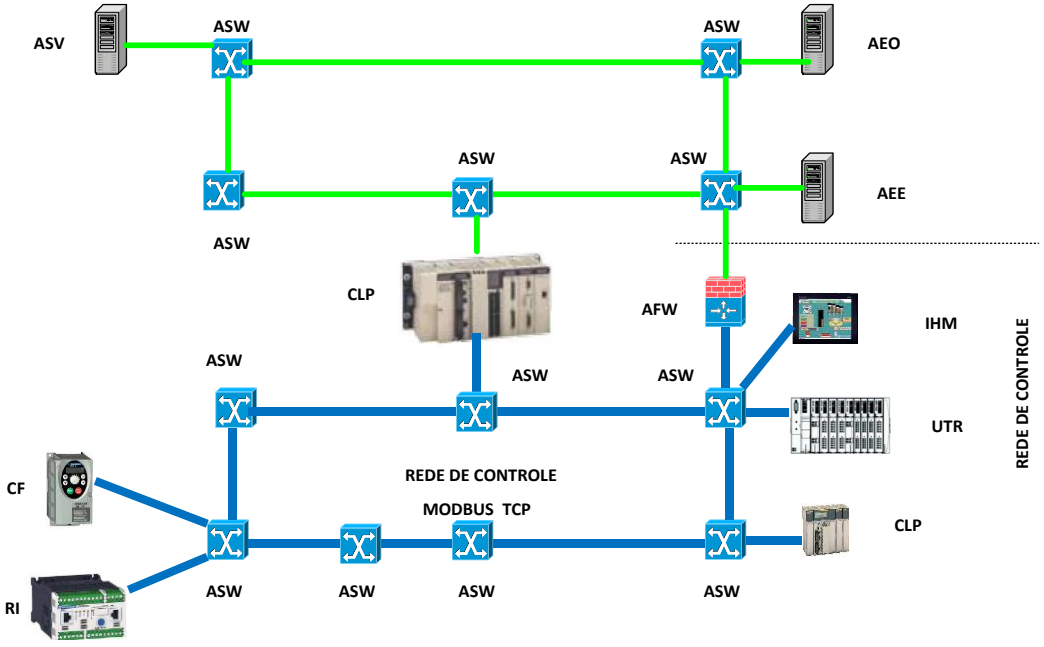


Figura 60 – Rede de Controle

Esta rede utiliza a tecnologia Ethernet IEEE-802.3/100 Mbps. A rede de controle contempla as UNIDADES REMOTAS (UTRs), PACOTES (CLPs) e os Equipamentos, tais como Relés de Proteção (RI) e demais equipamentos de automação. A figura 60 mostra a rede de controle simplificada.

Cada rede de controle possui uma faixa de endereço dedicada e os dispositivos usam endereço IP fixo. Cada prédio pode possuir uma ou mais redes de controle.

Na rede de controle, denominada como Anel Secundário, trafegam dados inerentes aos intertravamentos entre os processos, controles de malha fechada e dados provenientes da Estação de Engenharia (AEE).

A rede de controle para processo (automação industrial e predial) utiliza protocolo de comunicação *MODBUS/TCP* com uma taxa de aquisição de dados de 200 milissegundos e *Ethernet Global Data (EGD)*.

Todos os *switches* desta rede são do mesmo fabricante, utilizando o protocolo *Hiper-ring* da *Hirschmnan* para garantir a recuperação do anel. Todos os dispositivos da rede são gerenciáveis (*switches, firewall*). Foi adotado para padronização e facilidade de manutenção o cabeamento de cor amarela.

8.3 REDE DE EQUIPAMENTOS

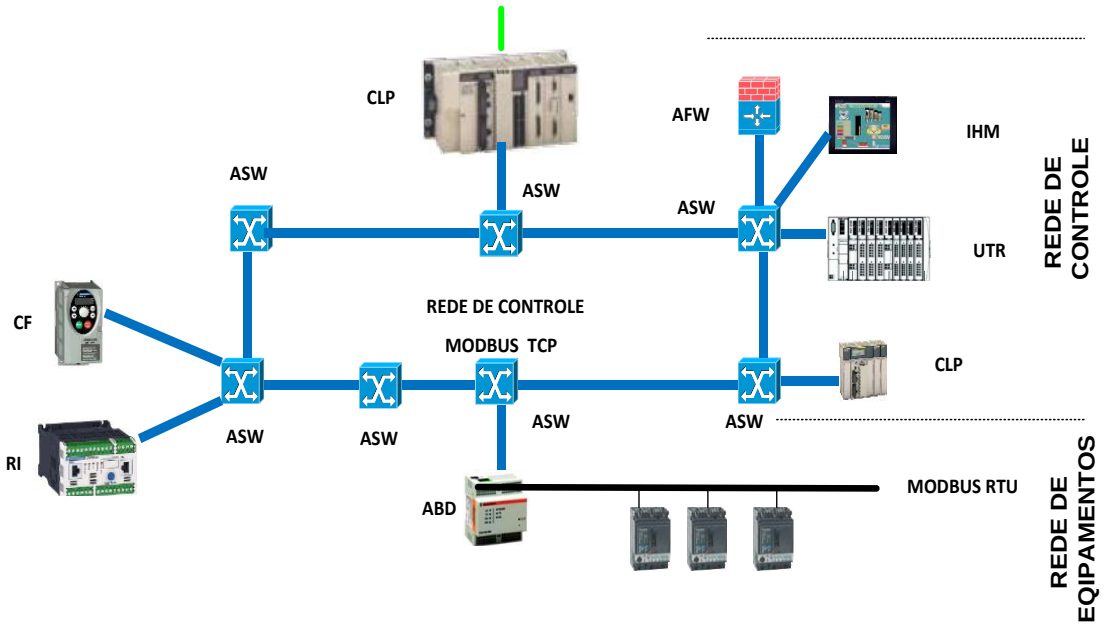


Figura 61 – Rede de Equipamentos

Esta rede é composta por dispositivo que utilizam o meio físico RS-485 (que não dispõe de interface Ethernet). O protocolo utilizado nesta rede é o *MODBUS RTU*. Estas redes são ligadas à rede de controle através de conversores de meio RS-485 para Ethernet. A figura 61 mostra a rede de equipamentos simplificada.

8.4 REDE DESMILITARIZADA (NEUTRA)

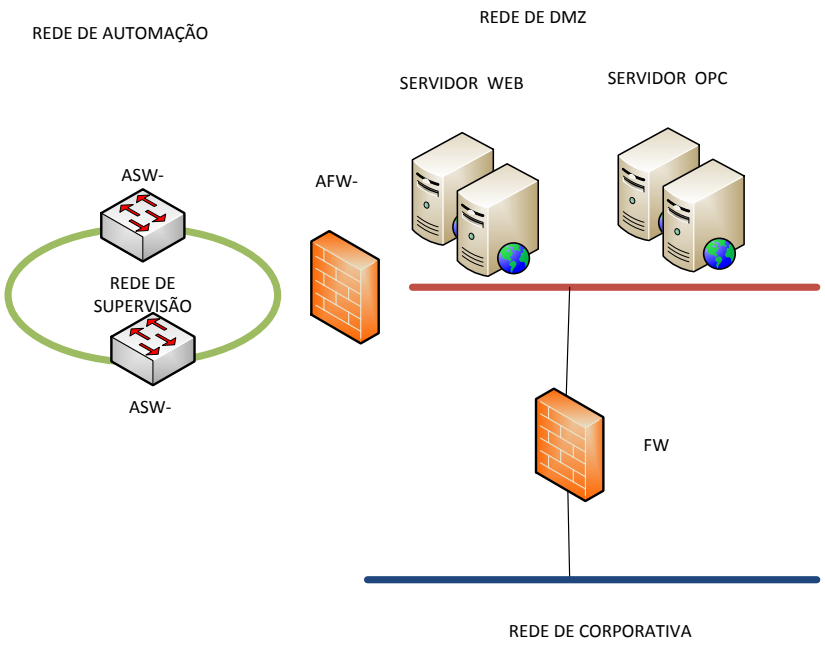


Figura 62 – Rede DMZ

Foi implementada uma Zona Desmilitarizada para garantir a segurança da rede de automação.

A partir da rede coorporativa (RIC) pode-se acessar os dados do sistema de automação através do *Firewall* como ilustrado na figura 62. Nesta rede estão instalados os seguintes equipamentos: Servidor Web que é utilizado para disponibilizar informações do sistema de automação, somente para monitoração, via Web; e Servidor OPC que é utilizado para interligar o sistema de detecção de fumaça, instalado na rede de automação com o sistema de CFTV na rede corporativa.

A figura 63 mostra a rede simplificada de automação.

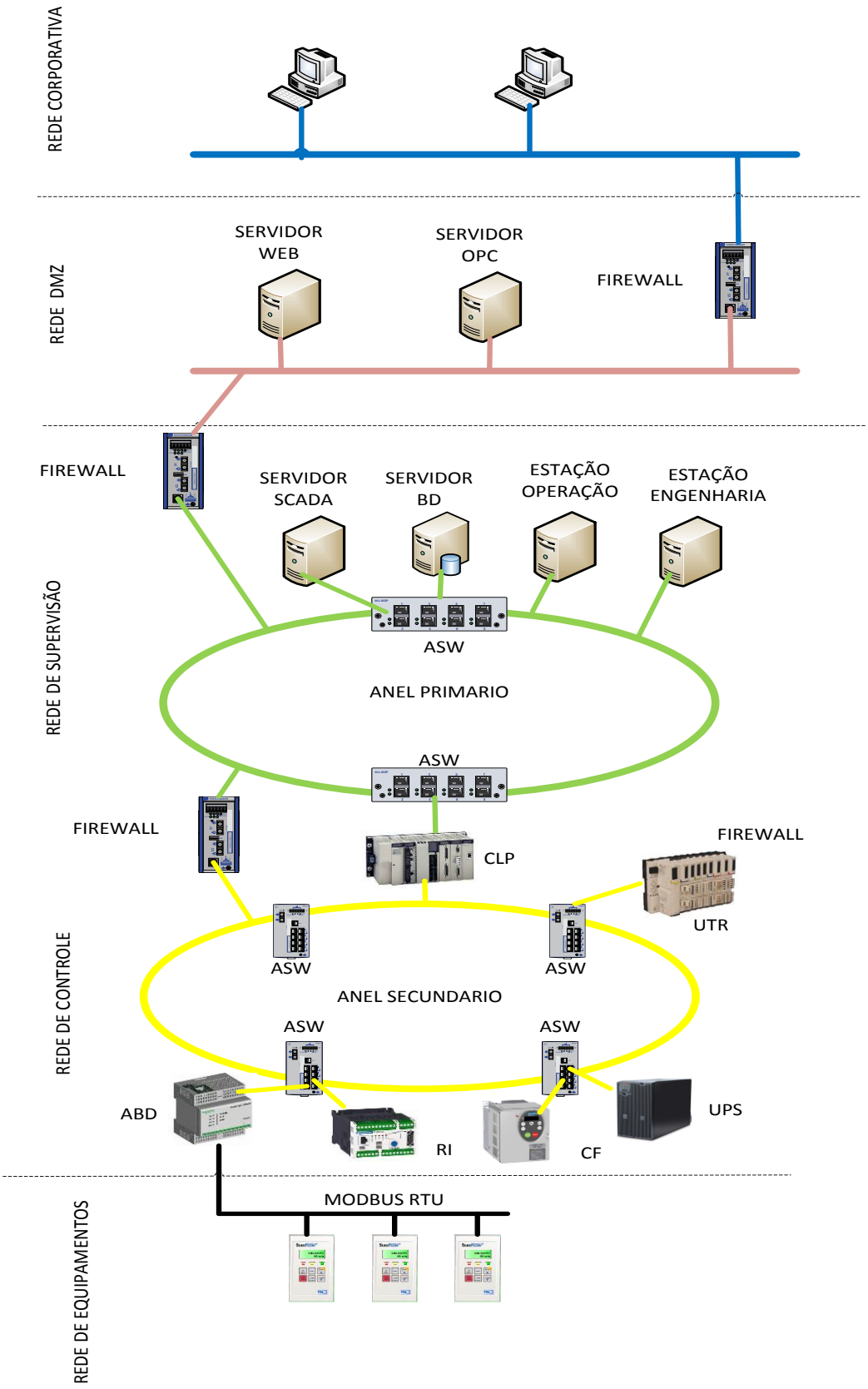


Figura 63 – Rede simplificada da rede da automação

8.5 REDE DE AUTOMAÇÃO DA CENTRAL DE UTILIDADES

Esta topologia de rede de automação, descrita nos itens anteriores, é utilizada na automação industrial, como na Central de Utilidades e na automação predial para a Ampliação do CENPES. A figura 64 mostra a tela principal do Sistema de Supervisão de Controle (SSC) da Central de Utilidades.

A Central de Utilidades é composta dos seguintes subsistemas:

- Estação de 138 KV
- Sistema de Cogeração de Energia (GE - Gerador a gás)
- Sistema de Emergência Elétrica (GE - Gerador a Diesel)
- Sistema de Geração de Água Gelada (UR) e Água Quente
- Sistema de Geração de Vapor (GV)
- Sistemas de Ar Comprimido (C) e Vácuo

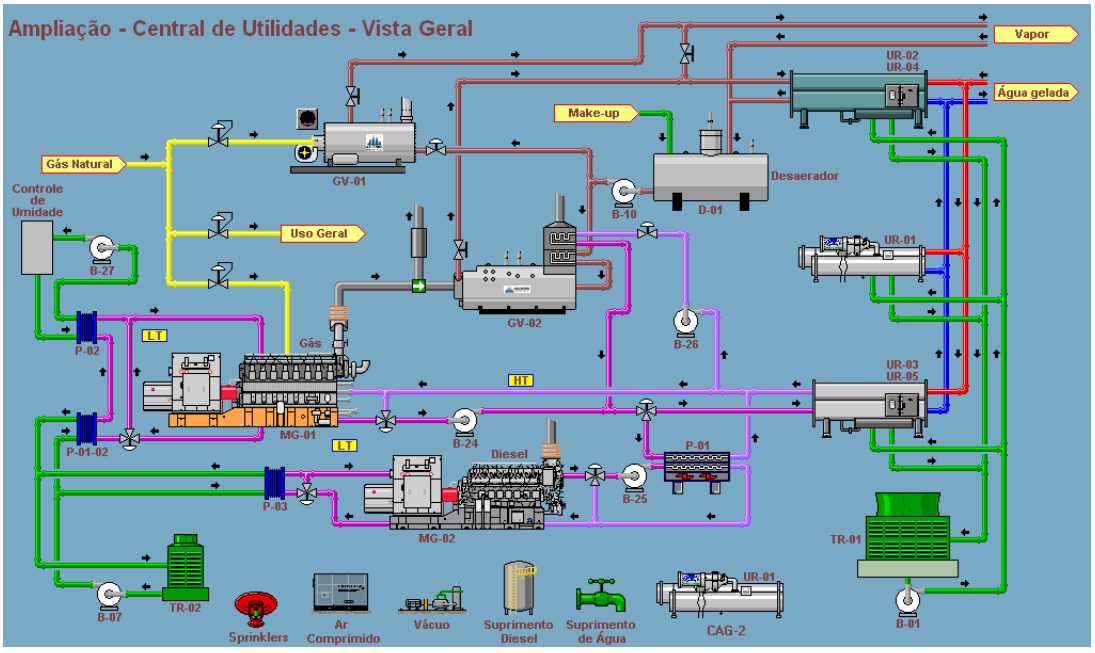


Figura 64 – Processos da Central de Utilidades

A figura 65 mostra a tela do subsistema Gerador a Gás da Central de Utilidades.

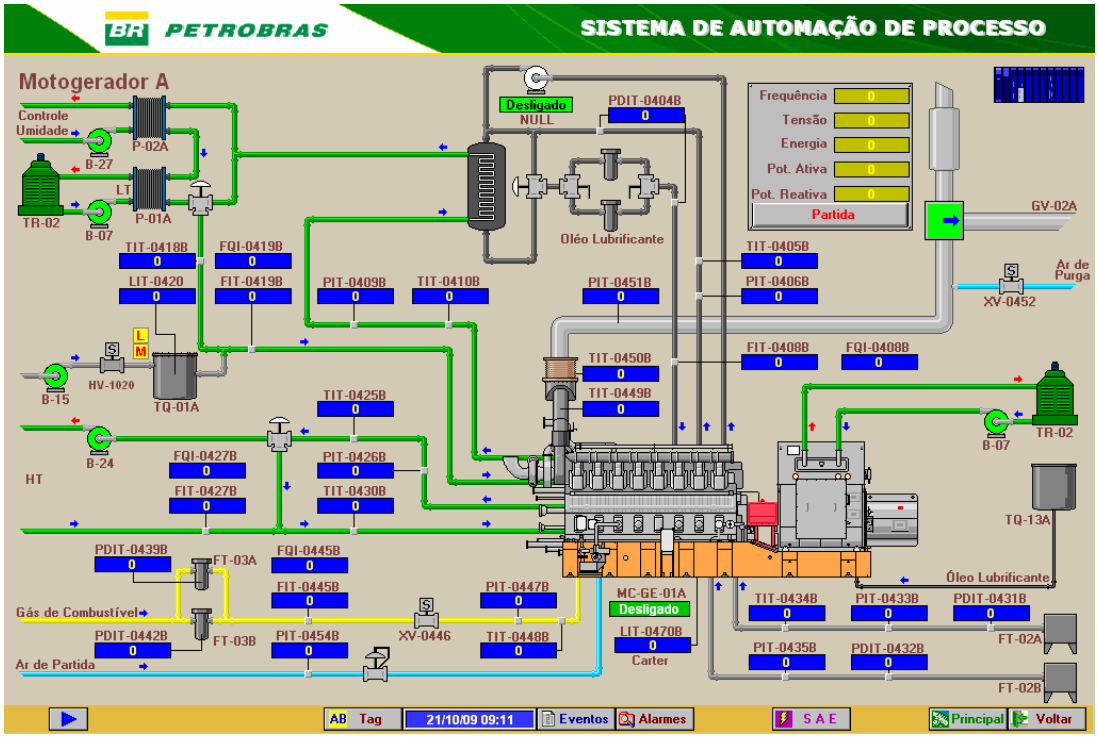


Figura 65 – Tela do Gerador a Gás da Central de Utilidades

Nesta arquitetura temos um CLP redundante (CLP-1A e 1B) interligado a rede de controle utilizando dois protocolos de comunicação *EGD (Ethernet Global Data)*, para unidades remotas do CLP (UTR) e o *MODBUS TCP* para os CLP´s dos equipamentos dedicados (pacotes).

A figura 66 mostra a rede de supervisão onde está ligado o servidor de comunicação (ASV-1), responsável pela coleta dos dados de campo, para monitoração e controle, através de um *polling* em tempo programável via a rede Ethernet com protocolo de comunicação *MODBUS/TCP*. Estes dados são mostrados em tela do Sistema de Supervisão e Controle (SSC) e armazenados no servidor de banco de dados (ASV-2).

Estes dados de campo (pressão, temperatura, nível, vazão) são adquiridos pelo CLP redundante (CLP-1A e 1B) através das UTR´s, que estão instaladas no campo, através da rede de controle com o protocolo de comunicação *EGD*. Estes dados são utilizados pelos CLP para realizar o controle de processo.

No campo também existem o CLP´s dos pacotes como caldeira (GV-vapor), unidades de refrigeração (UR-agua gelada), ar comprimido (C) e geradores (GE-energia elétrica), que são responsáveis pelo controle de cada equipamento. Estes subsistemas trocam informações com o CLP redundante (CLP-1A e 1B), através da rede ethernet com protocolo de comunicação *MODBUS/TCP*.

O CLP redundante (CLP-1A e 1B), através das informações obtida pelos CLP´s dos pacotes e sensores de campo, faz o cálculo para definir as quantidades de caldeiras, de unidades de refrigeração, de unidades de compressão que devem ser ligados. O sistema pode operar no modo automático, funcionando sem intervenção da operação ou no modo manual sinalizando ao operador a necessidade de caldeiras, unidades de refrigeração, unidades de compressão e geradores.

O CLP redundante (CLP-1A e 1B) possui 2 endereços IP, e um endereço IP virtual, o qual é utilizado pelo driver de comunicação dos servidores de comunicação (ASV).

Existe um CLP (CLP-26) dedicado para se comunicar e controlar a Central de Controle de Motores (CCM) via rede Ethernet com protocolo de comunicação *MODBUS/TCP*, formado por 140 relés inteligentes (RI), 10 conversores de frequência (CF), UPS e carregador de bateria (CB).

Esta arquitetura possui um *firewall* (AFW) entre a rede de supervisão e a de controle para permitir que somente a estação de engenharia (AEE) monitore a rede de controle, a fim permitir a manutenção do sistema.

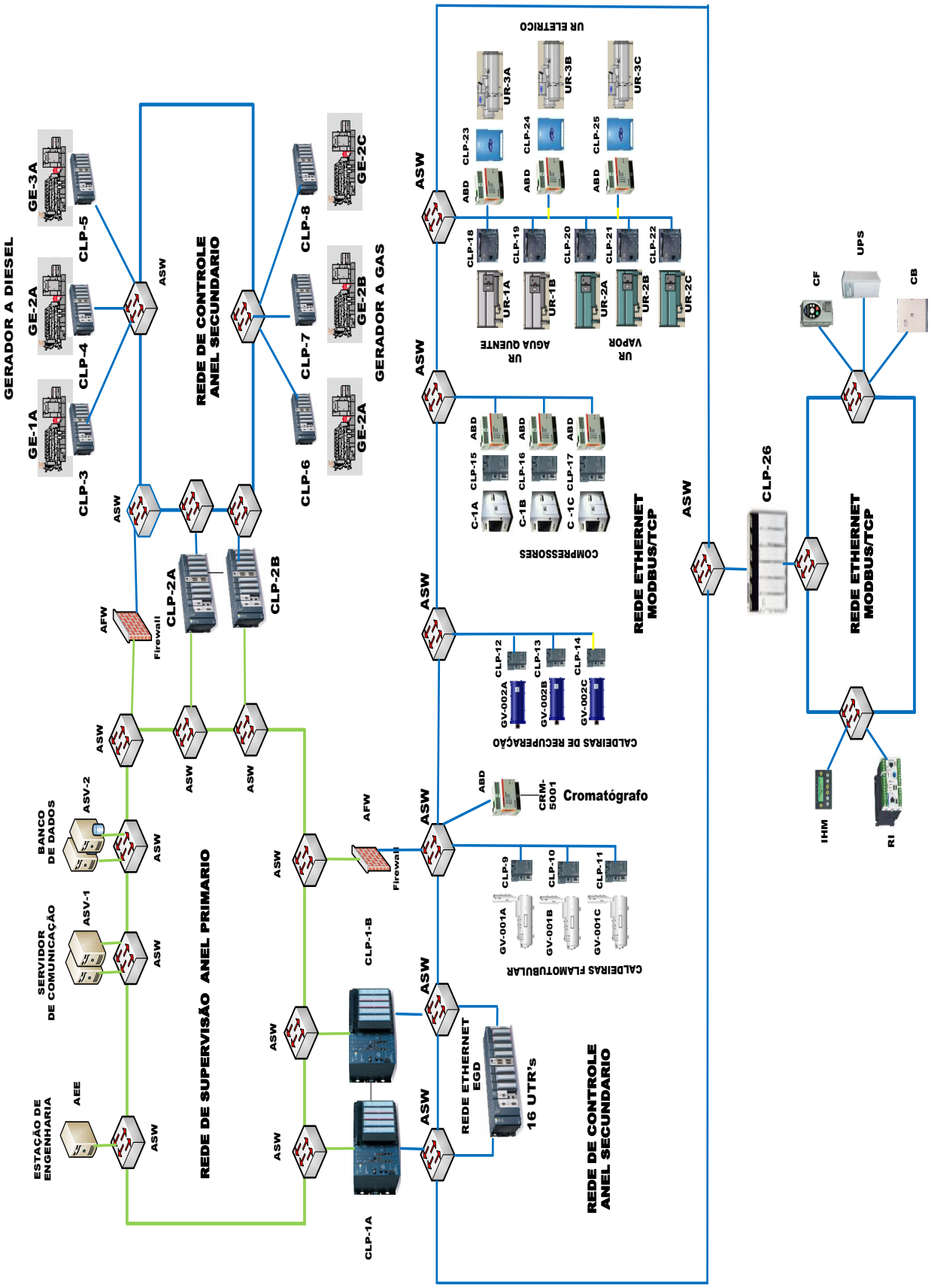


Figura 66 – Rede simplificada da Central de Utilidades

A figura mostra 67 mostra uma tela diagnostico da rede da Central de Utilidades no Sistema de Supervisão e Controle (SSC).

Figura 67 – Tela do diagnostico da rede da Central de Utilidades

Esta tela é utilizada pela Operação para o primeiro diagnóstico de falha da rede. Os *switches* possuem uma saída discreta (contato seco) de alarme geral que são interligados às entradas discretas da UTR´s. Os alarmes são monitorados e registrados no Sistema de Supervisão e controle.

9 CONCLUSÃO

Hoje os sistemas de automação industrial e predial vêm passando por uma evolução no hardware e no software. Os Controladores Programáveis tornaram-se mais flexíveis e com maior capacidade de processamento e, também, existe uma tendência para padronização do meio físico das redes de comunicação de modo a permitir a integração de vários fabricantes e a integração com as redes corporativas das empresas. Esta mudança vem crescendo rapidamente, devido a esta tecnologia proporcionar alta velocidade e alto desempenho, constante atualização tecnológica, facilidade de interconectividade, acesso remoto através de paginas Web dos dispositivos, e facilidade no gerenciamento da rede e dos dispositivos de automação.

Além da padronização do meio físico também existe uma crescente utilização de sistemas abertos de comunicação para automação industrial e predial não utilizando sistemas proprietários. Estes sistemas permitem a integração de equipamentos de vários fabricantes.

A solução adotada pelo CENPES foi baseada na tecnologia Ethernet como padrão para meio físico da rede de automação (supervisão e controle). Esta tecnologia possibilita a integração desde o chão de fabrica até o nível administrativo gerencial. A Ethernet está se tornando rapidamente um padrão universal de interface de sistemas.

Com a mudança de redes dedicadas e proprietárias de automação para redes Ethernet durante o projeto e a construção e montagem, foram encontradas dificuldades em documentação, montagem da rede, configuração dos dispositivos e comissionamento. As normas de projetos de automação devem incluir novos documentos como: planta baixa para infraestrutura de rede, lay-out físico do

backbone, plano de face do painel, lista de pontos de rede, lista de cabos de rede, lógica de programação dos dispositivos de rede, certificação de cabeamento e procedimento de comissionamento.

Com crescimento das redes baseados em meio físico Ethernet na área de automação, verificou-se a pouca experiência nesta área dos profissionais tradicionais de automação. Foi necessário acrescentar a este grupo especialistas em infraestrutura de rede, atuando na área de projetos, comissionamento e manutenção. Este grupo foi importante na definição da arquitetura de rede e nas diretrizes de segurança.

Mesmo a rede de automação sendo segregada fisicamente da rede corporativa é inevitável a necessidade de integração e colaboração entre os sistemas TA (Tecnologia de Automação) e TI (Tecnologia de Informação), para que se tenha agilidade no atendimento e maior eficiência. Como descrito neste trabalho, existe uma rede comum entre os dois sistemas, conhecida como rede DMZ. As regras de acesso entre as redes corporativas e de automação devem ser definidas e administradas pela TI em conjunto com a TA. Esta rede deve disponibilizar os dados de automação a nível gerencial para a monitoração, coleta, armazenamento, análise e integração corporativa de dados em tempo real para as informações de processos de utilidades, tais como energia elétrica, consumo de gás, vapor, produção de água gelada e outras utilidades.

Devido ao tamanho da rede, com aproximadamente 8000 endereços IP´s, além das ferramentas padrão de automação como software de CLP, UTR, relés inteligentes e outros dispositivos, foi necessário uma nova ferramenta para automação: um sistema de gerenciamento da rede. Este sistema utiliza o protocolo *SNMP (Simple Network Management Protocol),* já consolidado em TI, para gerenciar

a maioria dos dispositivos da rede, como *switches* e *firewalls*, bem como também os equipamentos de automação como CLP´s, UTR´s e Conversores. Este Gerenciador fornece informações de falha de dispositivos e topologia da rede.

O projeto da rede do CENPES foi iniciado no ano 2004. Nesta época existia limitação de recursos para dispositivos industriais para rede. Hoje houve uma evolução de *switches* industriais com velocidade de um Gigabit e roteamento estático ou em uma versão de roteamento dinâmico. Como descrito neste trabalho as redes de controles entre os prédios estão isoladas e interligadas à rede de supervisão através de um *firewall*.

Hoje existe necessidade de troca de informação entre as redes de controle. Utilizando estes novos *switches* pode-se fazer roteamento entre redes de controle.

REFERENCIAS

[1]SOARES Luiz Fernando Gomes – **Rede de Computadores: das LANs, MANs e Wans às redes ATM**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1995

[2]COMER, Douglas.E. – **Interligação de Redes com TCP/IP Volume 1** – **Princípios, Protocolos e Arquitetura**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

[3]KUROSE James. F – **Redes de Computadores e a Internet – uma abordagem top-down.** São Paulo: Addilson Wesley, 2010

[4]RICH Seifert e JIM Edwards – **The Complete Guide to LAN Switching Tecnology.** Indianapolis: Wiley Publishing Inc. 2008

[5]TANENBAUM Andrew. – **Redes de Computadores**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

[6]FILIPPETTI Marco Aurelio – **CCNA 4.1 – Guia Completo de Estudo.** Florianópolis: Visual Books, 2008

[7]NATALE Ferdinando – **Automação Industrial.** São Paulo: Editora Érica Ltda, 2008.

[8]SOUZA Luiz Edival – **Apostila Controladores Programável I** – Introdução. Minas Gerais – FUPAI- 1997.

[9]ORGANIZAÇÃO MODBUS - - **MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.0** - Fevereiro de 2002 – Disponível em http://www.Modbus-IDA.org . Acesso em: 21/09/2012.

[10]ORGANIZAÇÃO MODBUS - **Modbus Application Protocol Specification - Dezembro de 2006** – Disponível em http://www.Modbus-IDA.org . Acesso em: 21/09/2012.

[11]ORGANIZAÇÃO MODBUS - **MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b** - Outubro de 2006 – Disponível em http://www.Modbus-IDA.org . Acesso em: 20/09/2012.

[12]HIRSCHMANN AUTOMATION AND CONTROL - **User Manual - Redundancy Configuration Industrial Ethernet(Gigabit) Switch RS20/RS30/RS40, MS20/MS30, OCTOPUS, PowerMICE, RSR20/RSR30, MACH 100, MACH 1000, MACH 4000** – 12/2012. Disponível em: http://www.beldensolutions.com . Acesso em: 23/07/2012.

[13] NOVUS – **Catalogo.** Disponível em: http://www.novus.com.br/ . Acesso em: 23/07/2012.

[14] Farias Claudio Miceli de - **QOS em Redes** - – Rio de Janeiro – 2011

[15]LANZA Marcelo Luiz Drumond - **Apostila Arquitetura TCP/IP** – Rio de Janeiro – 2011

[16] AGUIAR - **Apostila Backbone** – Rio de Janeiro – 2011

[17] Resende, J.F. - **Apostila de Rede de Computadores I e II**– Rio de Janeiro - 2011

[18]**SCHWEITZER ENGENEERING LABORATORIES.** Disponível em: http://www.selinc.com.br/Produtos/SEL-849.aspx. Acesso em: 23/07/2012.

[19]Cohn Fred -**Ethernet for Control Determinism and System Response Time Myths vs. Reality.** Disponível em: www.modbus.org/. Acesso em: 22/10/2012.

[20]Schneider Electric - **Designing a Deterministic Ethernet Network.** Disponível em: http://www.schneider-electric.co.uk. Acesso em: 22/10/2012.

[21] Hirschmann – **Hirschmann Network Systems Real Time Services (QoS) in Ethernet Based Industrial Automation Networks** - Disponível em: http://www.ictglobal.com/whitepapers/QoS.PDF. Acesso: 22/10/2012.

[22] Cisco - **Understanding Rapid Spanning Tree Protocol (802.1w)** – Disponível em: http://www.cisco.com/en/US/tech/tk389/tk621/ technologies_ white_paper 09186a0080094cfa.shtml . Acesso: 06/11/2012.

[23] Astor - **Computer Communications for Ethernet Global Data–CommEGD** - Disponível em: http:// platform.astor.com.pl . Acesso: 14/12/2012.

[24]GE Fanuc Automation - **TCP/IP Ethernet Communications for PACSystems™** - Disponível em: http://www.logic-control.com / datasheets / 3 / PLC / RX3i/TCP_IP Ethernet Communications for PACSystems Station Manager Manual, GFK-2225H.pdf . Acesso: 14/12/2012.