

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERALE DO PARANÁ - UTFPR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÊTRONICA
ESPECIALIZAÇÃO EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE COMPUTADORES

LEONARDO BIANCOLINI

PROJETO DE UMA LAN PARA DADOS DE AUTOMAÇÃO, APLICADA A
SUBESTAÇÃO, BASEADO EM NORMA IEC 61850.

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2011

LEONARDO BIANCOLINI

PROJETO DE UMA LAN PARA DADOS DE AUTOMAÇÃO, APLICADA A
SUBESTAÇÃO, BASEADO EM NORMA IEC 61850.

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Especialista em
Teleinformática e Redes de Computadores da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR.

Orientador: Prof. Armando Rech Filho, Dr.

CURITIBA

2011



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO DE UMA LAN PARA DADOS DE AUTOMAÇÃO, APLICADA A SUBESTAÇÃO, BASEADO EM NORMA IEC 61850.

por

Leonardo Biancolini

Esta monografia foi apresentada às 18:00h do dia 05 de Janeiro de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE COMPUTADORES, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado com a nota 10,0 (DEZ INTEIROS)


Prof. Dr. Armando Réch Filho
(UTFPR)


Prof. Dr. Walter Godoy Júnior
(UTFPR)

Visto da Coordenação


Prof. Dr. Walter Godoy Júnior
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre abrir a porta da percepção de nossas mentes, das quais atravessamos, em direção aos nossos sonhos.

Ao meus pais por me conduzirem pelo caminho certo, minha esposa e filha, pelo carinho, atenção, pelos ensinamentos que não se aprende em nenhum centro acadêmico, e por me proporcionar as experiências que tive.

A empresa Artech Equipamentos e Sistemas S.A. pela confiança em desenvolvimento de um trabalho acadêmico voltado à engenharia de redes, em especial ao gerente da ACP (Automação e controle de proteção), Giancarlo Nadalin.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

RESUMO

BIANCOLINI, Leonardo. **Projeto de uma LAN para dados de automação, aplicada à subestação, baseado na norma IEC 61850**. 2011. 88 f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

Neste trabalho é apresentado o projeto de uma LAN, para aplicação em subestações de distribuição de energia elétrica e painéis de controle, aplicados a processos em refinarias de petróleo, utilizando o padrão de normas IEC61850. É proposta uma infra-estrutura com base em switches ópticos e relés de proteção inteligentes. O principal objetivo da LAN é disponibilizar dados para o sistema supervisor de controle existente na refinaria, que deve ser operado a distância, e também propor o isolamento, utilizando redes lógicas, para mensagens prioritárias, exclusivas, referentes ao sistema de proteção e que trafegam dados importantes que são trocados somente entre os relés. A proposta geral é testar o desempenho da rede apresentada e justificar a utilização das ferramentas para otimização de tráfego de mensagens.

Palavras-Chave: LAN, Switches ópticos, GOOSE, VLAN, QoS, Web, rede de controle e proteção, Subestações.

ABSTRACT

BIANCOLINI, Leonardo. **Projeto de uma LAN para dados de automação, aplicada à subestação, baseado na norma IEC 61850**. 2011. 88 f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

This paper presents the design of a LAN, for use in substations for power distribution and control panels, applied to processes in oil refineries, using the IEC61850 standards. It proposed an infrastructure based on optical switches and intelligent relays. The main objective of the LAN is to made data available to the supervisory control system in the existing refinery, which should be operated remotely, and also propose the traffic isolation using logical networks for priority messages, exclusive for the system of protection and routing important data that are exchanged only between the relays. The general purpose is to test the network performance and justify the use of the tools to optimize messaging traffic.

Key word: LAN, optical switches, GOOSE, VLAN, QoS, Web, data acquisition, network control, protection substations.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Arquitetura da Norma IEC 61850.....	21
FIGURA 2 - Modelo de dados embutido no dispositivo físico.....	22
FIGURA 3 – Exemplo de estrutura de controle com nós lógicos.....	23
FIGURA 4 – Modelo de transmissão de dados simplificado.....	25
FIGURA 5 – Corpo de uma fibra-óptica	26
FIGURA 6 – Característica de fibra monomodo e multimodo.....	27
FIGURA 7 – Propagação de sinal em fibra monomodo e multimodo.	27
FIGURA 8 – Comparativo de alcance de transmissão.	28
FIGURA 9 – Atenuação do sinal em fibra-óptica.....	28
FIGURA 10 – Janela de transmissão em fibras ópticas	29
FIGURA 11 – Cordões ópticos em um switch-óptico na subestação.....	30
FIGURA 12 – Padrões de conectores para fibra-óptica	31
FIGURA 13 - Arquitetura em anel redundante, para rede de switches	33
FIGURA 14 - Exposição geral da rede de comunicação e seus níveis.....	34
FIGURA 15 – Rede de Automação IEC61850 da RPBC.....	35
FIGURA 16 – Lista de Endereços de Rede.....	37
FIGURA 17 – Detalhe da Lista de Endereços de Rede.....	38
FIGURA 18 – VLAN com dois Domínios de <i>Broadcasting</i> Separados	40
FIGURA 19 – Portas atribuídas a múltiplas VLANs.....	41
FIGURA 20 – PDU Ethernet para VLAN e prioridade.....	41
FIGURA 21 – Modelo de referência OSI.....	45
FIGURA 22 – Representação da pilha de protocolo IEC 61850.....	45
FIGURA 23 – Visão Geral da pilha de comunicação IEC 61850	46
FIGURA 24 – Retransmissão de Mensagem GOOSE.	51
FIGURA 25 – cabeçalho de uma mensagem GOOSE na interface do IED.....	52
FIGURA 26 – Arquitetura de rede da subestação C-3	53
FIGURA 27 – Tempo de transferência.....	54
FIGURA 28 – IEDs do teste, na rede de switches da C-3	56
FIGURA 29 – Indicação das VLAN ID da C-3	58
FIGURA 30 – Tráfego normal, em bps, na porta do IED destino.....	59
FIGURA 31 – Mensagens do IED publicador IED CUB.5 PN-0301	60
FIGURA 32 – Mensagem do IED assinante IED CUB.10 PN-03010.....	60
FIGURA 33 – Configuração do IP Load	62
FIGURA 34 – Task Manager do Windows comprovando o carregamento	62
FIGURA 35 – Carregamento de rede evidenciado com o MRTG.....	63

FIGURA 36 - Mensagens do IED publicador IED CUB.5 PN-0301.....	64
FIGURA 37 - Mensagens do IED assinante IED CUB.10 PN-03010.....	64
FIGURA 38 - Configuração do <i>Fixed GOOSE</i> do IED CUB11 do PN-03010.....	67
FIGURA 39 - Configuração do <i>Configurable GOOSE</i> do IED CUB11 do PN-03010	67
FIGURA 40 - Captura de mensagens com VLAN ID=4 no anel interno.....	68
FIGURA 41 - Captura de mensagens com VLAN ID=14 no anel interno.....	68
FIGURA 42 - Captura de mensagens com VLAN ID=14 fora do anel	69
FIGURA 43 - Captura de mensagens com VLAN ID=4 fora do anel	69
FIGURA 44 – As cinco camadas modelo de referência TCP/IP	75
FIGURA 45 - As cinco classe de endereço de IP.....	76
FIGURA 46 - Exemplo número de IP	77
FIGURA 47 – Interface gráfica do switch via web	78
FIGURA 48 – Layout da interface gráfica.....	79
FIGURA 49 – VLAN Tag-Based cadastrando VLANS.....	80
FIGURA 50 – “taggeando” VLANS.....	80
FIGURA 51 – Painel <i>tagging</i> VLANS	81
FIGURA 52 – Detalhes do Quadro <i>Priority Tagged</i>	86

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Contabilidade de Dispositivos por Subestação	35
TABELA 2 – Endereços de Rede por Subestação	36
TABELA 3 – Vlans das Subestações	37
TABELA 4 – TIPOS DE MENSAGENS E CLASSE DE DESEMPENHO	46
TABELA 5 – Tempo de transferência sem carregamento de rede	61
TABELA 6 - Tempo de transferência com carregamento da rede	65
TABELA 7 – Resultado do desempenho de rede	66

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Tempo de transferência sem carregamento de rede.....	61
GRÁFICO 2 - Tempo de transferência de mensagem com carregamento.	65

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Serviços e protocolos para cliente / servidor - Aplicação	48
QUADRO 2 - Serviços e protocolos para cliente / servidor - Transporte	48
QUADRO 3 - Serviços e protocolos para GOOSE - Aplicação.....	49
QUADRO 4 - Serviços e protocolos para GOOSE - Transporte.....	50
QUADRO 5 – Valores críticos associados ao grau de confiança da amostra.....	57
QUADRO 6 – Resultado da análise de VLAN.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
GOOSE	<i>Generic Object Oriented Substation Events</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IEDs	<i>Intelligent Electronic Devices</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IRIG-B	<i>Inter-Range Instrumentation Group</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LD	<i>Logical Device</i>
LN	<i>Logical Node</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
OPC	<i>Ole for Process Control</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RPBC	<i>Refinaria Presidente Bernardes de Cubatão</i>
SAS	<i>Substation Automation System</i>
SCMD	<i>Sistema de Controle e Monitoração Distribuído</i>
SE	<i>Subestação</i>
SNTP	<i>Simple Network Time Protocol</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
URL	<i>Uniform Resource Locators</i>
UTE	<i>Usina Térmica de geração de Energia</i>
VID	<i>VLAN Identifier</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE GRÁFICOS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. OBJETIVO GERAL	17
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3. JUSTIFICATIVA	18
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	18
1.5. METODOLOGIA.....	19
2. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	20
2.1. MODELO DE DADOS DA NORMA IEC 61850.....	22
3. TRANSMISSÃO DE DADOS.....	24
3.1. TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÕES	24
3.2. MEIO DE TRANSMISSÃO	25
3.2.1. Estrutura de uma Fibra-Óptica	25
3.2.2. Conectores para Fibra-Óptica	30
3.2.3. Norma para Cabeamento Estruturado.....	31
4. ARQUITETURA DO SISTEMA DE UMA SUBESTAÇÃO	32
4.1. DETALHES DA REDE LOCAL	33
4.1.1. Configuração da Rede Local	34
4.1.2. Divisão das Subredes.....	35
4.1.3. Divisão das VLANs.....	36
5. CONFIGURAÇÕES NA REDE LOCAL	39
5.1. VLANs	39
5.1.1. Classificação das VLANs	39
5.1.2. Agrupamento por Porta	40
5.1.3. Agrupamento por Porta com TAG	40
5.1.4. Agrupamento por Endereço Físico (MAC)	42
5.1.5. Agrupamento por Endereço IP	42
5.1.6. Agrupamento por Protocolos	42
5.2. QUALITY OF SERVICE (QoS)	43
5.3. RAPID SPANNING TREE PROTOCOL (RSTP).....	43
5.4. PILHA DE PROTOCOLO E TIPOS DE MENSAGENS DA NORMA 61850	44

5.4.1.	Mensagens Cliente-Servidor	47
5.4.2.	Mensagens GOOSE e Valores Amostrados	48
5.4.3.	Retransmissão de Mensagens GOOSE	50
5.4.4.	Cabeçalho de uma Mensagem Goose	51
6.	DESEMPENHO DE REDE PARA MENSAGENS PRIORITÁRIAS	52
6.1.	CARACTERÍSTICAS DA REDE DA SUBESTAÇÃO C-3	53
6.2.	REQUISITOS PARA APROVAÇÃO DO DESEMPENHO DE REDE	53
6.3.	DESCRIÇÃO DO TESTE DE DESEMPENHO DE REDE.....	54
6.3.1.	Carregamento da Rede	55
6.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	56
6.4.1.	Cálculo de Amostragem	56
6.5.	DESCRIÇÃO DO TESTE DE VLAN	57
7.	RESULTADOS DOS TESTES DE DESEMPENHO DE REDE E VLAN.....	59
7.1.	TESTES DE DESEMPENHO DE REDE.....	59
7.2.	TROCA DE MENSAGENS SEM CARREGAMENTO DA REDE.....	59
7.3.	TROCA DE MENSAGENS COM CARREGAMENTO DA REDE	62
7.4.	RESUMO DOS RESULTADOS DE DESEMPENHO DE REDE	66
7.5.	TESTES DE VLAN	66
7.5.1.	Análise na VLAN Interna da C-3.....	67
7.5.2.	Análise da VLAN de Transferência.....	68
7.6.	RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE VLAN	69
8.	CONCLUSÃO	71
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	APÊNDICE 1 – PROTOCOLO TCP/IP	75
	APÊNDICE 2 – CONFIGURANDO OS SWITCHS	78
	ANEXO A – EXEMPLOS DE NÓS LÓGICOS DE PROTEÇÃO	82
	ANEXO B - NORMA ANSI / TIA / EIA – 568 – B.....	83
	ANEXO C - PARAMETROS DE RETRANSMISSÃO DO GOOSE	84
	ANEXO D – ISO / IEC 8802-3 Estrutura do Quadro para GOOSE.....	85
	ANEXO E – DESVIO PADRÃO DAS AMOSTRAS	87
	GLOSSÁRIO	88

1. INTRODUÇÃO

Através da velocidade em que os meios de comunicação evoluem, a atualidade necessita de projetos ousados que utilizem a infra-estrutura de comunicação via redes. Na área industrial não é diferente, comparando os métodos de operação de processos industriais modernos aos de algumas décadas, percebe-se que a grande preocupação é sem dúvida a obtenção de dados e seu armazenamento para posterior consulta, visando agilidade nas tomadas de decisões quando da ocorrência de faltas envolvendo o sistema elétrico, por exemplo. Para essa realidade é primordial a utilização dos dispositivos que envolvam a infra-estrutura de redes, tais como switches, cabeamento estruturado, placas de rede, etc. e que dão suporte à nova tecnologia de transmissão de dados.

As subestações vêm se modernizando, e ao longo dos anos novos protocolos de comunicação estão aparecendo no mercado a fim de promover uma integração entre dispositivos de controle. Ultimamente existe disponível uma série de normas da *International Electrotechnical Commission* (IEC) com a identificação de IEC 61850, que vem com o intuito de aperfeiçoar e transpor a barreira dos protocolos proprietários desenvolvidos por fabricantes específicos. A idéia geral da norma IEC 61850 é integrar dispositivos de controle de subestações, independente de fabricante, e viabilizar, da melhor maneira possível, a infra-estrutura de rede para troca de informações importantes para os processos de operação de uma subestação ou usina de energia elétrica, ou seja, ela foi desenvolvida para ser aplicada a qualquer dispositivo desenvolvido para área do setor elétrico.

Neste presente trabalho é explorada uma arquitetura de rede para um conjunto de subestações existente na Refinaria Presidente Bernardes em Cubatão e são apresentados os resultados dos testes de desempenho de rede, em referência ao item 5 da norma IEC 61850, que trata da performance na transmissão de dados em função dos seus requisitos de tempo por classificação de prioridade de mensagem, dependendo da importância delas para o sistema de automação da subestação (SAS).

1.1. OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo avaliar uma rede de dados de automação local, em função do desempenho das mensagens prioritárias, críticas para esse tipo de aplicação, respeitando a arquitetura do sistema digital de proteção e automação elétrica, aplicada ao processo de controle e distribuição de energia elétrica, presente na Refinaria Presidente Bernardes (RPBC) em Cubatão – SP, e que deve ser baseada na utilização da norma IEC61850 e em Dispositivos Eletrônicos Inteligentes.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para mostrar como será atingido o objetivo geral, esse trabalho tem como objetivos específicos:

- Mostrar os principais protocolos de comunicação envolvidos para troca de dados de automação de subestações e dar uma visão geral da norma IEC 61850;
- Mencionar o conceito de transmissão de dados e apresentar uma nova tecnologia de transmissão, envolvendo a integridade dos dados, em redes 100% em fibra-óptica;
- Detalhar a arquitetura do sistema das subestações, a separação dos IPs para os dispositivos e a divisão das VLANS para os IEDS envolvidos;
- Discutir as teorias e aplicações para configuração da rede, tal como, redundância, rede lógica e prioridade de mensagem;
- Detalhar o ensaio de desempenho de rede em vista a atender à norma IEC 61850-5 e sobre a aplicação das VLANS;
- Analisar os resultados dos testes de desempenho de rede e das VLANS (Virtual Local Area Network).

Como resultado final deste trabalho, apresenta-se a descrição, configuração e resultados dos testes dos equipamentos de rede necessários e que estarão aptos ao processamento de dados referentes à automação de um conjunto de subestações utilizando a norma IEC 61850.

1.3. JUSTIFICATIVA

Em consideração a esse trabalho, sua implantação é importante tendo em vista que historicamente a falta de dados de implantação de redes industriais utilizando a norma IEC61850, deixa dúvidas quanto ao real funcionamento das trocas de mensagens prioritárias quanto ao seu desempenho, em qualquer capacidade de tráfego de rede.

O momento para implantar avaliar esse tipo de sistema é oportuno devido às grandes mudanças de conceitos na operação de subestações. Ao passar dos tempos, investimentos maciços vêm sendo realizados para o aperfeiçoamento de sistemas digitais de proteção, de modo que hoje esta tecnologia já conquistou definitivamente o seu espaço nas SE's (Subestações) industriais e é aplicada em larga escala (SOUTO, 2007).

Considerando que existe interesse por parte do gerente da área de automação da organização em reconhecer que esses sistemas digitais podem ser confiáveis, já que a empresa destina uma grande quantidade de recursos para a realização de projetos em redes em IEC61850, o projeto é considerado viável.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho estará distribuído nos seguintes capítulos:

No capítulo 2 são mostrados os principais protocolos de comunicação envolvidos para troca de dados de automação de subestações e é dada uma visão geral da norma IEC 61850.

No capítulo 3 é mencionado o conceito de transmissão de dados e uma nova tecnologia de transporte de mensagens envolvendo a integridade dos dados, em redes 100% em fibra-óptica.

No capítulo 4 é detalhada a arquitetura do sistema para as subestações e também o aproveitamento dos endereços IP e a divisão das VLANs (Virtual LAN's).

No capítulo 5 são discutidas as teorias e aplicações para configuração da rede, tal como, redundância, rede lógica e prioridade de mensagem.

No capítulo 6 é detalhado o ensaio de desempenho de rede em vista ao atendimento à norma IEC 61850-5 e sobre a aplicação das VLANs.

Por fim, no capítulo 7 serão analisados os resultados dos testes de desempenho de rede e das VLANs.

Nos anexos pode-se verificar alguns dos conceitos mencionados no capítulo 5, na programação dos switches do fabricante GE, aplicados nesse trabalho.

1.5. METODOLOGIA

Estudar a norma IEC61850, principalmente nas partes 5, 8 e 9, onde são descritos o modelo de comunicação de dados, e os requisitos de tempo entre mensagens de proteção para aplicações em subestações de energia elétrica.

Entre os conceitos e teorias aplicadas à rede local, realizar um teste prático de desempenho de rede em uma das subestações propostas, e comparar os tempos de troca de mensagens, do tipo GOOSE, coletadas, com os tempos especificados na parte 5 da norma IEC61850.

Concluir o trabalho comparando-se o desempenho da rede, obtida, em função dos vários conceitos que envolvem as redes locais, em função da priorização de mensagens e redundância da rede.

2. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Para possibilitar a comunicação entre dois sistemas normalmente utiliza-se um conjunto de regras que define o tipo das mensagens e ordem que elas devem ser trocadas. Esse conjunto de regras é conhecido como um protocolo (ROSS; KUROSE, 2005).

Quando a comunicação exige um grande número de protocolos esses são agrupados em funcionalidades formando uma camada e o conjunto de camadas forma uma pilha de protocolos (ROSS; KUROSE, 2005), (TANENBAUM, 2003).

O objetivo principal de um protocolo é fazer com que sistemas (ou equipamentos) mesmo que tenham arquiteturas internas distintas falem a mesma “língua” e assim consigam trocar informações (ROSS; KUROSE, 2005).

Porém, soluções proprietárias podem ser propostas, se não houver um consenso que defina regras básicas que os protocolos de uma determinada aplicação devam seguir (modelo de referência), mas isso impede a comunicação com equipamentos de outros fabricantes. Esse fato ocorreu quando do surgimento das primeiras redes de computadores e foi resolvido pela adoção dos modelos OSI/ISO e do TCP/IP (TANENBAUM, 2003).

O problema dos protocolos proprietários também ocorre na integração de equipamentos em subestações de energia elétrica, o que dificulta a interligação. Essa interligação pode ser feita através de conversores de protocolos (*gateways*), mas esses equipamentos têm um atraso inerente e para sistemas em tempo real, como é o caso da proteção de uma subestação, atrasos na troca de mensagens podem gerar atuações indevidas provocando distúrbios no fornecimento de energia elétrica. Na busca em obter um padrão único de comunicação entre equipamentos numa subestação de energia elétrica, alguns padrões foram desenvolvidos.

Uma dessas iniciativas são protocolos como IEC-870-5-101/104 que fazem a comunicação entre centro de controle e subestações, e outra foi o protocolo IEC-870-5-103 projetado especificamente para comunicação dos dispositivos de proteção. Este protocolo utiliza o modelo de mestre-escravo, apresentando a restrição de um pequeno número de funções e de modelo de dados padronizado (BRAND; PETER, 2005).

Os grupos de trabalho do IEC iniciaram esforços e em seguida se uniram para obter um padrão único o IEC 61850 “Redes de Comunicação em Sistemas e Subestações” (do inglês, *IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substation*). Esse padrão está definido em uma norma que especifica o modelo de dados e a pilha de protocolos que possibilita a troca desses dados, e tem como premissas básicas a interoperabilidade para permitir a troca de informações entre equipamentos de fabricantes distintos, e a possibilidade de configurações de funções com as necessidades dos usuários e que ela seja “a prova de futuro” possibilitando a utilização dos progressos nas tecnologias de comunicação e nas necessidades dos usuários da norma IEC 61850.

A Norma IEC 61850 é dividida em 10 partes, conforme representado na Figura 1, sendo que cada uma das partes consiste em um documento que define as suas características.

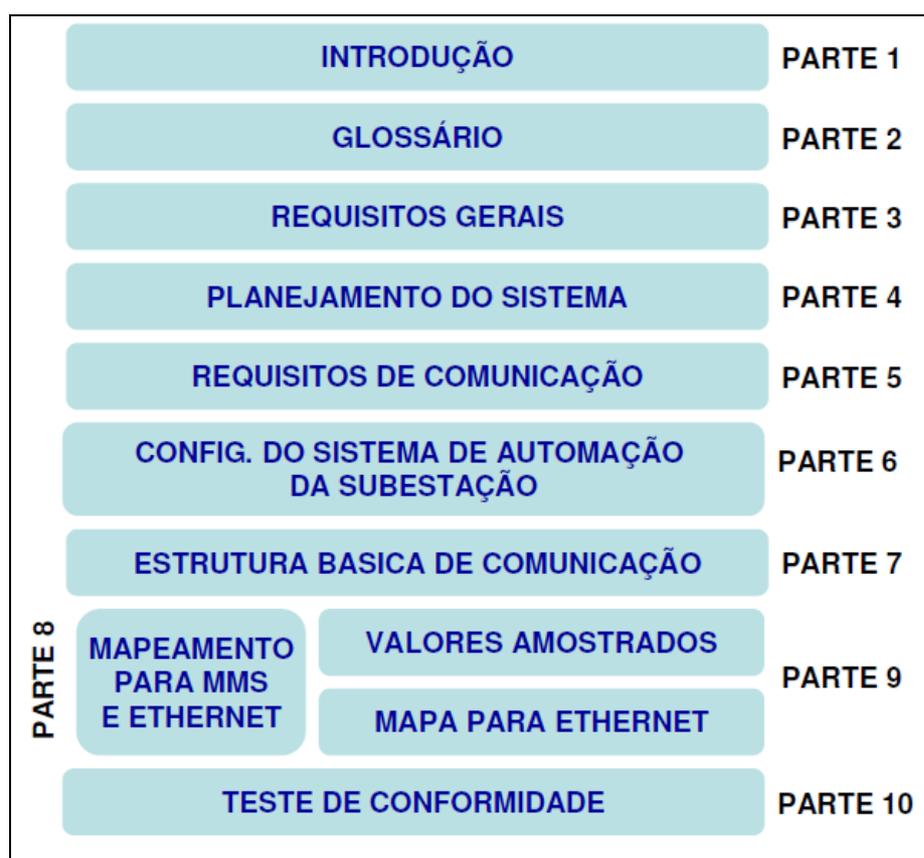


FIGURA 1 – Arquitetura da Norma IEC 61850

Fonte: adaptado de Gurjão, Carmo e Souza (2007).

2.1. MODELO DE DADOS DA NORMA IEC 61850

O modelo de dados na Norma IEC 61850, é orientado a objetos e os dados são trocados entre funções e sub-funções, que estão nos dispositivos eletrônicos inteligentes (IED, do inglês *Intelligent Electronic Devices*). Este modelo é voltado para a orientação a objeto – OO e utiliza todos os conceitos associados a este tipo de estrutura de dados, formado por um hardware e por um conjunto de funções residentes que caracterizam o seu comportamento.

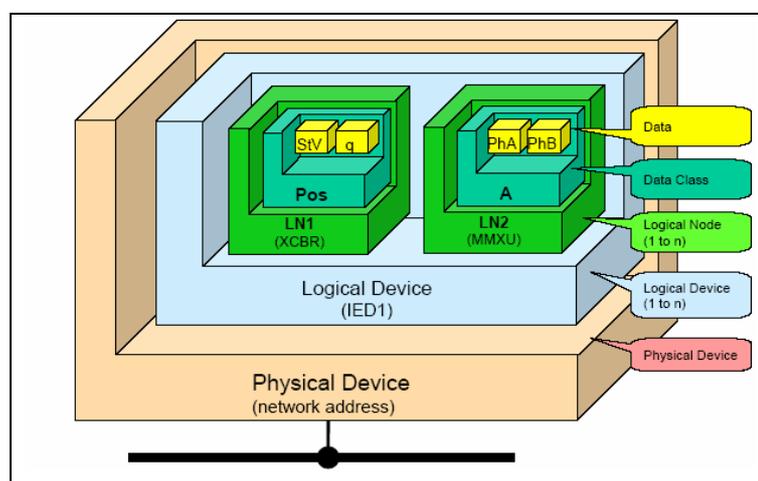


FIGURA 2 - Modelo de dados embutido no dispositivo físico

Fonte: Gurjão, Carmo e Souza (2007).

Na Figura 2 verifica-se que um valor de uma variável está associado a uma função, que está associada a um Nó Lógico (*Logical Node*), que está associado a um Dispositivo Lógico (*Lógica Device*), e que está associado a um dispositivo físico conectado na rede local. Os tipos de nós lógicos estão descritos na parte 5 da norma IEC 61850 e são classificados como segue:

- Nós lógicos para função de proteção;
- Nós lógicos para controle;
- Nós lógicos de interface, registro e armazenamento;
- Nós lógicos para controle automático de processo;
- Nós lógicos para medição e faturamento;

- Nós lógicos para status do equipamento primário;
 - Transformadores, Disjuntores, chave seccionadora, etc.
- Nós lógicos para entrada e saída de processo genérico;

No total a norma define 97 tipos diferentes de nós lógicos mapeados para as principais funções de uma subestação.

Na figura 3 é mostrado um exemplo para a função automática genérica de controle de um disjuntor e a função de controle de tensão.

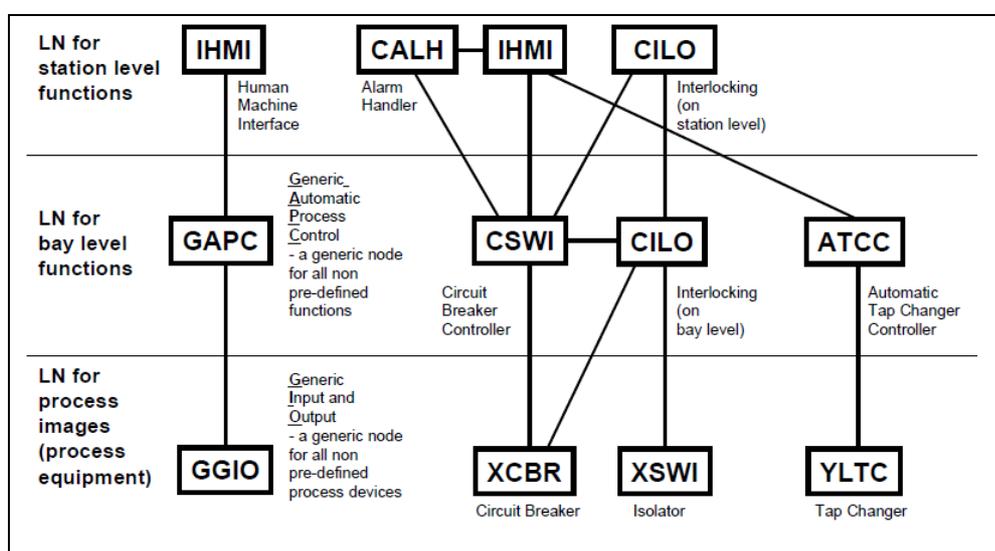


FIGURA 3 – Exemplo de estrutura de controle com nós lógicos

Fonte: IEC 61850-5 (2003, p.38)

No Anexo A são mostrados exemplos de nós lógicos de funções de proteção.

3. TRANSMISSÃO DE DADOS

Neste capítulo mostra-se a tecnologia utilizada na transmissão de dados, seus principais elementos e também aborda-se a tecnologia envolvida do meio de transmissão em fibra-óptica, devido à larga utilização desse meio atualmente. Dos dois elementos citados, tem-se uma combinação muito evoluída garantindo assim a confiabilidade total dos sistemas de comunicação atuais.

3.1. TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÕES

A comunicação é o processo pelo qual os dados são transmitidos de um ponto desejado a outro, com uma certa confiabilidade.

A mensagem corresponde às manifestações físicas da informação produzida pela fonte. Um sinal é uma grandeza elétrica variável no tempo, e representa a mensagem. Um sistema de comunicação corresponde a um ou mais elementos físicos organizados de forma a realizar operações sobre o sinal a ele aplicado (WILLE, 2010).

A Figura 4 a seguir, mostra resumidamente como é um sistema de comunicação. Os elementos fundamentais deste sistema são:

Fonte da informação: São onde as mensagens se originam;

Transmissor: Converte as mensagens num formato adequado ao canal de transmissão;

Canal: é o meio físico de transmissão do sinal, e pode ser guiado ou não guiado;

Receptor: Extrai do sinal recebido a informação transmitida;

Destino da informação: Onde as mensagens transmitidas serão utilizadas efetivamente.

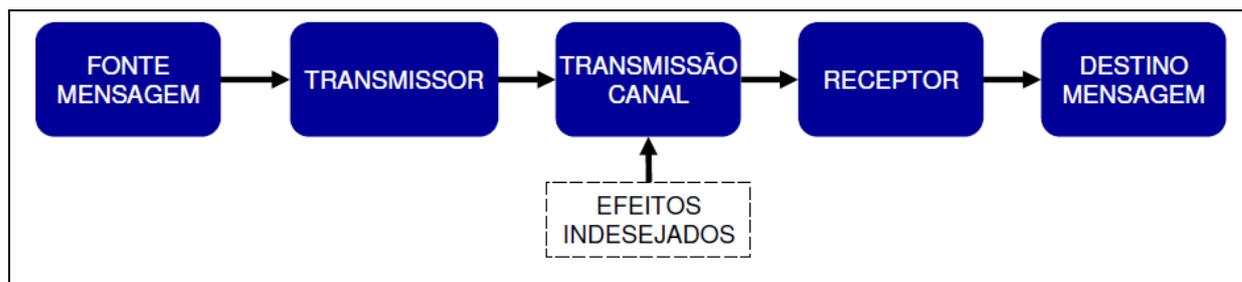


FIGURA 4 – Modelo de transmissão de dados simplificado

Fonte: Adaptado de (WILLE, 2010. p.6)

Deve-se destacar que entre o transmissor e o receptor está presente o canal onde as informações trafegam. Esse meio deve ser o “melhor” possível para que o sinal sofra a menor atenuação possível e chegue em perfeitas condições de interpretação para o receptor. Em redes industriais, do porte de automação de subestações, onde as mensagens devem circular em um menor tempo possível, esse meio deve ser, na sua maioria, constituído de fibra-óptica, que é o meio onde se tem um ótimo aproveitamento da taxa de erro de bit e principalmente da taxa de transmissão elevada, sem falar na distância que elas podem ser utilizadas e no isolamento das interferências eletromagnéticas, comuns em uma subestação.

3.2. MEIO DE TRANSMISSÃO

Como mencionado anteriormente, para uma aplicação industrial deve-se optar por um meio de transmissão mais eficiente possível. Com a redução de custo das fibras ópticas, com o passar dos anos, tem-se optado por esse meio nas arquiteturas de rede industrial.

3.2.1. Estrutura de uma Fibra-Óptica

Uma fibra-óptica, para transmissão de dados é constituída de núcleo (1), capa (2) e revestimento (3), conforme a Figura 5. A capa e o revestimento são para proteção do núcleo e para aumentar a vida útil deste tipo de componente. Além do revestimento ainda pode-se ter cabos especiais para aplicação *outdoor* onde

recebem mais alguns reforços e um acabamento resistente a intempéries. Portanto, as fibras-ópticas industriais podem ser encontradas em forma de cordões ou em forma de cabos, a diferença entre elas é que um cordão de fibra-óptica pode ser *simplex* ou *duplex*, com uma ou duas vias respectivamente, e os cabos podem ser fornecidos desde duas vias até um limite de vias desejável para um projeto.

As fibras-ópticas, de modo geral, são fabricadas com núcleo de sílica SiO_2 , a qualidade da fibra então, é dada pela pureza da sílica utilizada e impacta na atenuação do sinal de transmissão.

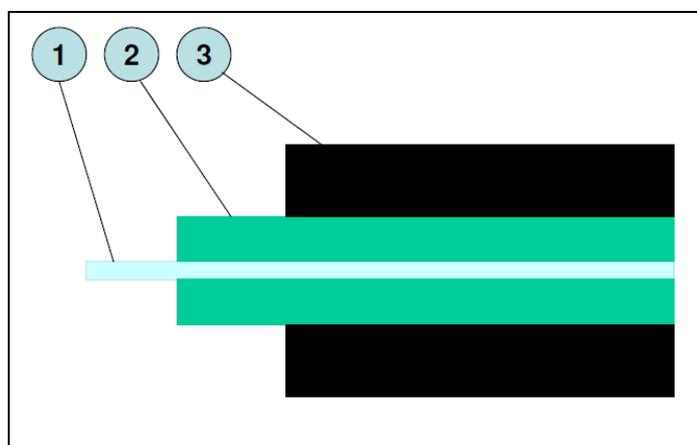


FIGURA 5 – Corpo de uma fibra-óptica

O tamanho do diâmetro do núcleo em uma fibra-óptica é um dos fatores que implicam no alcance da transmissão que se deseja. Conforme Figura 8 as fibras-ópticas podem ser classificadas em multimodo (núcleo maior) e monomodo (núcleo menor). Essa classificação é dada pela dispersão do sinal entre as paredes do núcleo de uma fibra-óptica, enquanto na fibra de núcleo maior o sinal é refletido de muitos modos, na fibra-óptica de núcleo menor o sinal quase não reflete, é como se tivesse um único raio de luz de uma ponta à outra da fibra, conforme Figura 7.

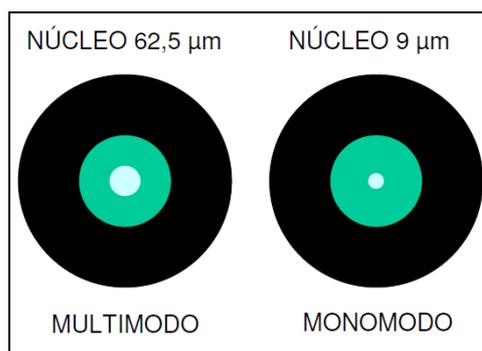


FIGURA 6 – Característica de fibra monomodo e multimodo.

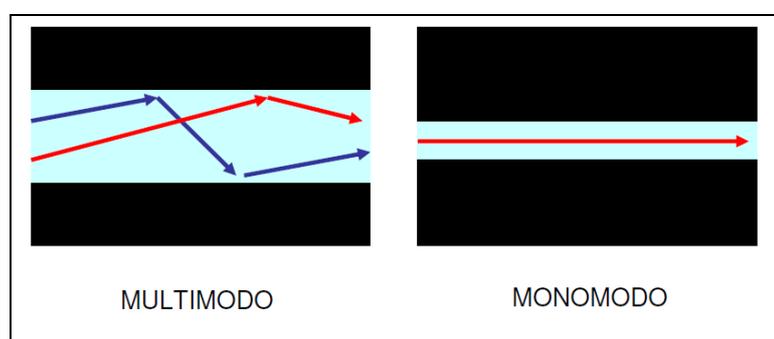


FIGURA 7 – Propagação de sinal em fibra monomodo e multimodo.

Para escolher uma fibra-óptica para um projeto deve-se observar basicamente a distância desejada. Uma fibra multimodo pode “cobrir” um *link* de 2Km de distância em média, enquanto que a fibra-óptica monomodo “cobre” um *link* de 15Km ou mais, dependendo da qualidade da fibra e o comprimento de onda utilizado.

Uma característica que está presente no transmissor e receptor é o comprimento de onda que eles utilizam na transmissão dos dados. O comprimento de onda utilizado também determina a distância a que se pode chegar na transmissão. Abaixo, na Figura 8, mostra-se um exemplo dos comprimentos de onda e a distância típica a que se pode chegar, referente a placa de transmissão dos relés da GE, utilizados nesse trabalho.

PARAMETER	FIBER TYPE		
	10MB MULTI-MODE	100MB MULTI-MODE	100MB SINGLE-MODE
Wavelength	820 nm	1310 nm	1310 nm
Connector	ST	ST	SC
Transmit power	-20 dBm	-20 dBm	-15 dBm
Receiver sensitivity	-30 dBm	-30 dBm	-30 dBm
Power budget	10 dB	10 dB	15 dB
Maximum input power	-7.6 dBm	-14 dBm	-7 dBm
Typical distance	1.65 km	2 km	15 km
Duplex	full/half	full/half	full/half
Redundancy	yes	yes	yes

FIGURA 8 – Comparativo de alcance de transmissão.

Fonte: GE (2011, p. 2-17).

O comprimento de onda utilizado pelo transmissor e receptor influencia na perda de sinal, ou seja, na atenuação que esse sinal sofre pela transmissão através de uma fibra-óptica.

	Typical distances listed are based on the following assumptions for system loss. As actual losses will vary from one installation to another, the distance covered by your system may vary.
CONNECTOR LOSSES (TOTAL OF BOTH ENDS)	
ST connector	2 dB
FIBER LOSSES	
820 nm multimode	3 dB/km
1300 nm multimode	1 dB/km
1300 nm singlemode	0.35 dB/km
1550 nm singlemode	0.25 dB/km
Splice losses:	One splice every 2 km, at 0.05 dB loss per splice.
SYSTEM MARGIN	
3 dB additional loss added to calculations to compensate for all other losses.	

FIGURA 9 – Atenuação do sinal em fibra-óptica

Fonte: GE (2011, p. 2-18).

Como nenhum material é perfeitamente transparente, sempre ocorre uma absorção parcial de luz quando esta é forçada a atravessar um meio (absorção intrínseca). Numa fibra, além da absorção, pode haver variações de densidade,

imperfeições na fabricação (absorção por defeitos estruturais), impurezas (absorção extrínseca) e outros fatores (WILLE, 2010. p.18).

Emitindo sinais, que variam em uma faixa de frequência, de 800 a 1700 nm em uma fibra-óptica, chega-se à curva tórica ilustrada na Figura 10, onde é possível visualizar as janelas de transmissão utilizadas para obterem a menor atenuação do sinal chamadas de primeira (850 nm), segunda (1300 nm) e terceira (1550 nm) janela de transmissão. Atualmente, com esses comprimentos de onda, os fabricantes utilizam os padrões, chamados comercialmente, de 850, 1300 e 1550, sendo que este último é utilizado para transmissões a longas distâncias, até 20Km via fibra monomodo.

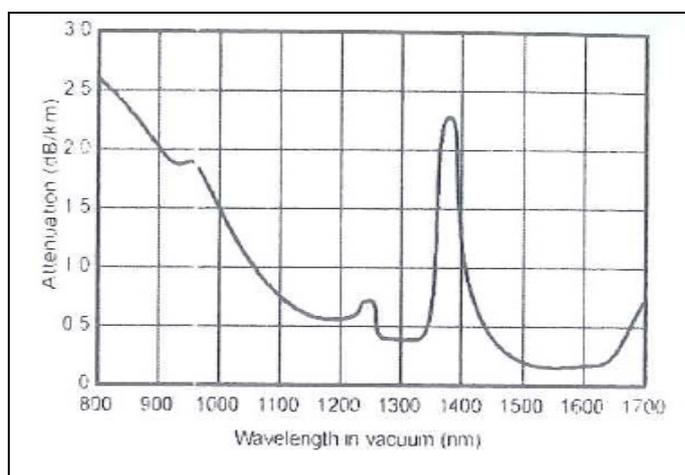


FIGURA 10 – Janela de transmissão em fibras ópticas

Fonte: Wille (2010, p.19)

As vantagens de se utilizar as fibras-ópticas são que elas têm alta taxa de transmissão de dados utilizando uma portadora óptica de alta frequência, largura de banda elevada, baixas perdas, e também por utilizar a transmissão óptica não sofre interferência eletromagnética. Essa última vantagem também é um dos grandes motivos pelo qual se utiliza a fibra-óptica nas redes locais dentro das subestações. Devido à grande geração de interferência eletromagnética dos barramentos de alta tensão, não é possível a transmissão via cabo metálico.

Na figura 11 pode-se ver a instalação de um switch industrial, com portas de transmissão em fibra-óptica, presente no projeto de uma das subestações.

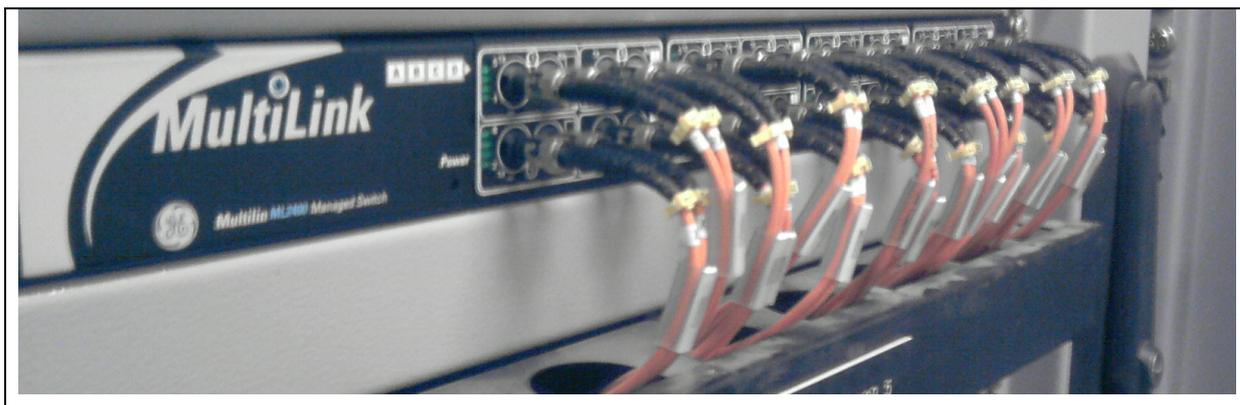


FIGURA 11 – Cordões ópticos em um switch-óptico na subestação

3.2.2. Conectores para Fibra-Óptica

Os conectores para fibra-óptica também tem uma participação importante dentro do sistema de transmissão. Eles podem danificar completamente o sistema se não forem muito bem acoplados nas fibras. Os sistemas de transmissão em fibra-óptica são mais complicados do que os de cabo metálico, devido à transmissão ser realizada através de um transmissor óptico. Se o conjunto conector mais fibra, não estiverem bem alinhados com as placas de comunicação, a atenuação do sinal será muito grande e o receptor não conseguirá recepcionar adequadamente o sinal. Existem vários padrões de conectores para fibra, como pode-se ver na Figura 12, retirada do catálogo da FIBERSUL, mas o normalmente utilizado para redes industriais ainda é o padrão ST, devido a ter uma estrutura mais reforçada de encaixe, garantindo a confiabilidade do sistema. Na figura 12 são mostrados os tipos de conectores industriais utilizados. Os conectores também são separados por classes, multimodo e monomodo.

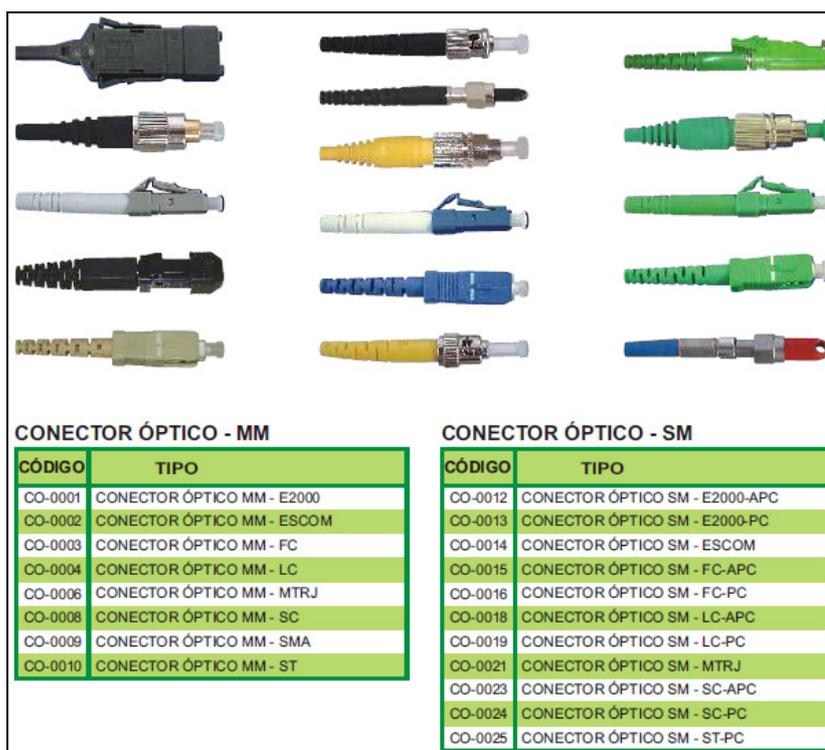


FIGURA 12 – Padrões de conectores para fibra-óptica

Fonte: FIBERSUL (2010, p. 8).

3.2.3. Norma para Cabeamento Estruturado

Desde 2001 o setor de indústria de telecomunicações, através da *Electronic Industries Alliance* (EIA) e da *Telecommunications Industry Association* (TIA), especificaram alguns padrões para instalação das fibras-ópticas nas redes locais através da norma intitulada ANSI / TIA / EIA – 568 – B. Nela estão especificados o raio da dobra máximo em um *link* de fibra, a atenuação de sinal máximo para conectores e emendas ópticas, entre outras. Alguns itens da norma podem ser vistos no Anexo B.

4. ARQUITETURA DO SISTEMA DE UMA SUBESTAÇÃO

Neste capítulo são mostrados os detalhes para atendimento aos requisitos de fornecimento de uma rede de comunicação de dados local, respeitando a arquitetura do sistema digital de proteção e automação elétrica, aplicada ao processo de controle e distribuição de energia elétrica, presente na Refinaria Presidente Bernardes em Cubatão – SP, e que deve ser baseada na utilização do protocolo IEC61850 e em Dispositivos Eletrônicos Inteligentes.

Segundo a Especificação Técnica da Petrobrás, ET-5210.00-5140-700-JCC-001, sugere a rede de automação de dados devendo seguir a topologia conforme descrito a seguir.

A topologia de arquitetura de rede a ser utilizada para interligação entre os IED's e os switches ópticos deve ser em estrela (radial), e deve possuir duas interfaces de rede Ethernet, para redundância e não paralisação da comunicação do dispositivo e em caso de falha de uma das portas, um alarme deve ser enviado ao operador do sistema (JCC Projectus, 2005).

Além do cuidado com a topologia de rede ainda deve-se atender aos requisitos abaixo para aumentar a confiabilidade da rede. São eles:

- Redundância de operação em caso de falhas;
- Velocidade de transmissão de dados em 100Mbps;
- Taxa zero, ou muito baixa, de colisão de dados;
- Transmissão livre de interferência eletromagnética;
- Monitoramento do funcionamento dos switches;
- Monitoramento do tráfego de rede;
- Alto desempenho de rede para mensagens prioritárias de proteção;
- Isolamento de mensagens prioritárias por subestação.

A topologia a ser utilizada para interligação entre diversos switches ópticos a serem instalados nas diferentes subestações deve ser do tipo anel (*Ring*), bidirecional e auto-reconfigurável em caso de interrupção do anel ou ocorrência de falha em alguns dos componentes do sistema (JCC Projectus, 2005).

A Figura 13 abaixo apresenta a arquitetura desejada para as descrições acima.

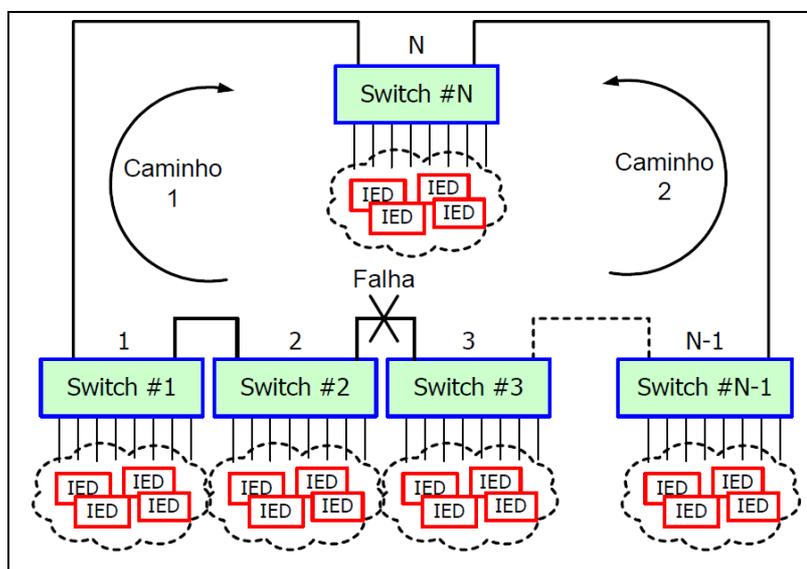


FIGURA 13 - Arquitetura em anel redundante, para rede de switches

Fonte: JCC Projectus, 2005, p 11.

4.1. DETALHES DA REDE LOCAL

A figura 14 ilustra, de maneira geral, a distribuição dos níveis de rede e implementação das vias de comunicação para a rede local da Refinaria Presidente Bernardes – RPBC, e para chegar a essa topologia estudou-se as tecnologias de transmissão de dados para redes locais, a norma IEC61850 aplicada, as tecnologias de meios de transmissão em fibra-óptica, as técnicas de programação de switches, dentre outras.

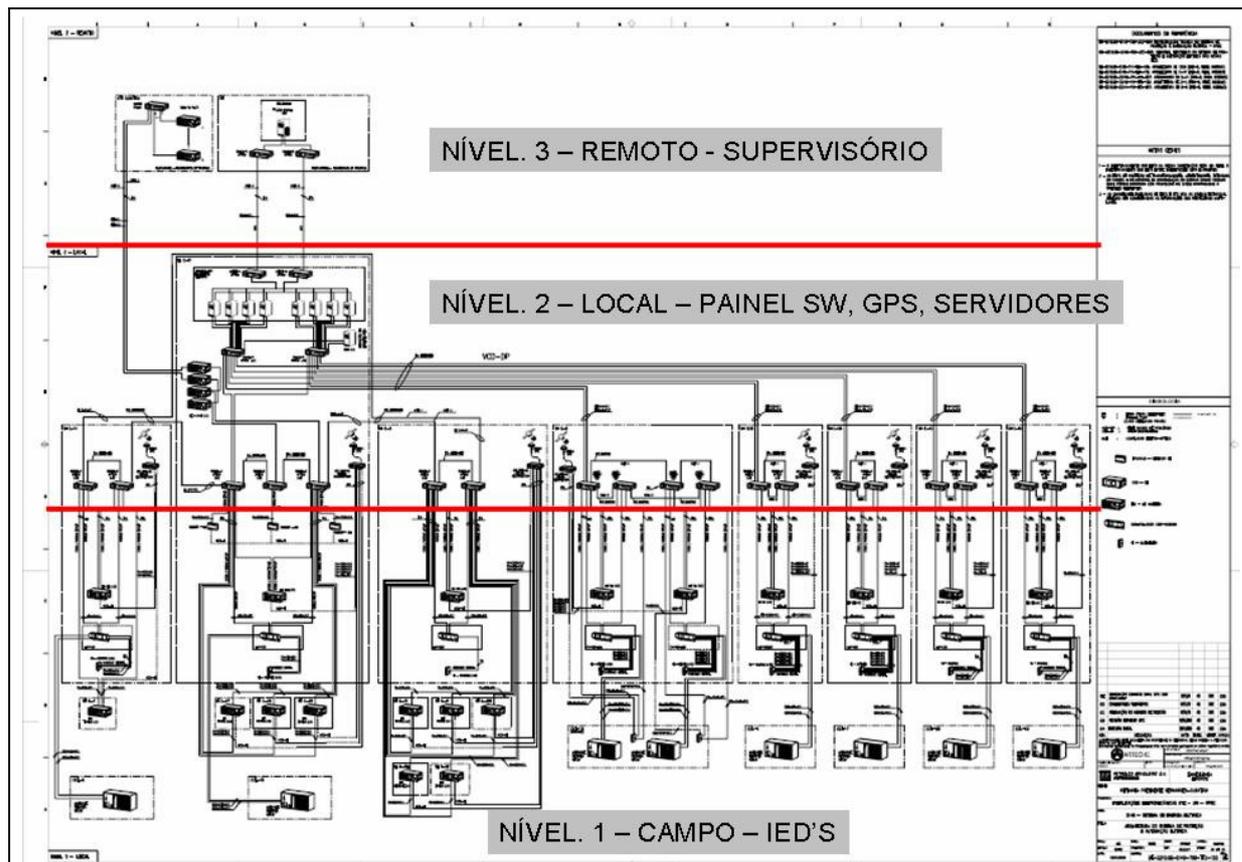


FIGURA 14 - Exposição geral da rede de comunicação e seus níveis.

Fonte: ARTECHE (2010).

4.1.1. Configuração da Rede Local

A rede local de automação de dados do projeto da Refinaria Presidente Bernardes Cubatão (RPBC) está dividida em 8 subestações principais. A Figura 15 abaixo mostra resumidamente como é a topologia entre essas subestações. Dentro de cada subestação a rede é configurada como já mostrado na Figura 13.

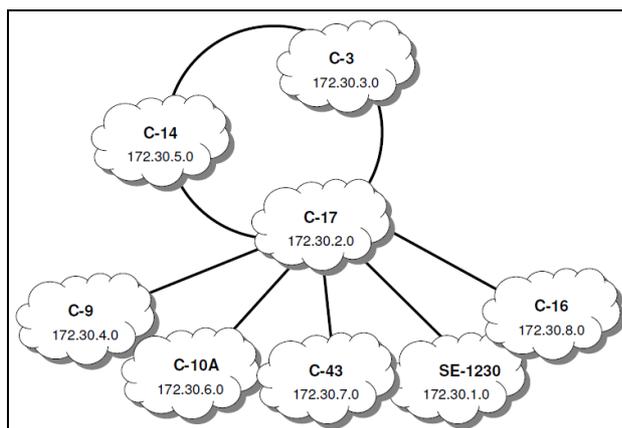


FIGURA 15 – Rede de Automação IEC61850 da RPBC.

Cada subestação tem seus dispositivos eletrônicos inteligentes que irão receber os endereços IP, e particularmente na subestação C-17 tem-se ainda os servidores de dados OPC, que farão a conversão de protocolo IEC61850 para OPC, disponibilizando para operação remota do nível 3 da arquitetura, conforme mostrado na figura 14, esses endereços de IP estarão divididos dentro da sub-rede 172.30.0.0/16 disponibilizada pela RPBC.

4.1.2. Divisão das Subredes

Para aproveitar a faixa de endereços IP disponibilizada pela RPBC, foram contabilizados os dispositivos de cada subestação, e o resultado pode ser visto na Tabela 1 como segue:

TABELA 1 – Contabilidade de Dispositivos por Subestação

SUBESTAÇÃO	IEDs	SWITCHS	SERVIDORES	TOTAL
C-17	79	18	11	108
C-3	49	10		59
C-14	34	6		40
C-16	17	3		20
SE-1230	36	6		42
C-9	65	12		77
C-10A	44	7		51
C-43	32	6		38

Dentro da rede 172.30.0.0/16 disponibilizada, e com o levantamento mostrado na Tabela 1, visto que existem menos de 254 dispositivos por subestação, optou-se em ampliar a máscara de rede para 24, ficando 172.30.0.0/24 (255.255.255.0), e com isso separar os dispositivos por subestação. A divisão dos dispositivos por subestação tem o objetivo de melhorar o tráfego do broadcasting enviado pelos IEDs e pelos servidores de dados OPC, diminuindo assim o tráfego desse tipo de mensagem e disponibilizando a banda da rede para outras mensagens de maior prioridade, como visto nos próximos capítulos.

Com a ampliação da máscara de rede então, as subestações ficaram divididas conforme Tabela 2.

TABELA 2 – Endereços de Rede por Subestação

SUBESTAÇÃO	REDE	MÁSCARA DE REDE
C-17	172.30.2.0	255.255.255.0
C-3	172.30.3.0	255.255.255.0
C-14	172.30.5.0	255.255.255.0
C-16	172.30.8.0	255.255.255.0
SE-1230	172.30.1.0	255.255.255.0
C-9	172.30.4.0	255.255.255.0
C-10 ^a	172.30.6.0	255.255.255.0
C-43	172.30.7.0	255.255.255.0

4.1.3. Divisão das VLANs

No Capítulo 5, item 5.4.2, onde se explica sobre as mensagens prioritárias GOOSE da norma IEC61850, vê-se a necessidade de isolamento dessas por meio de VLANs, visto que em sua camada de aplicação os destinos das mensagens, são implementados simplesmente pelos endereços MAC das placas e não pelos endereços IP. Com essa propriedade, divide-se a rede em VLANs também. Abaixo, é mostrada a Tabela 3 com a divisão das VLANs por subestação.

TABELA 3 – Vlans das Subestações

SUBESTAÇÃO	VLAN
DEFAULT	1
SE-1230	2
C-17	3
C-3	4
C-9	5
C-14	6
C-10A	7
C-43	8
C-16	9
DESC. CARG.	10
TRANSF. SE-1230<>C-17	12
TRANSF. C-3<>C-17	14
TRANSF. C-9<>C-17	15
TRANSF. C-14<>C-17	16
TRANSF. C-10A<>C-17	17
TRANSF. C-43<>C-14	18
TRANSF. C-16<>C-14	19

Nas Figuras 16 e 17, como segue, é mostrado um trecho da lista de endereços de rede com detalhes dos endereços de rede e VLANs.

ENDEREÇAMENTO DE REDE							VLAN ID																					
EQUIPAMENTO	IED NAME	MODELO	PORTA	ENDEREÇO IP	MASCARA	CONECTADO A	DEFAULT	SE-1230	C-17	C-3	C-9	C-14	C-16A	C-43	C-16	D. CARG.	TRANSF. SE-1230<>C-17	TRANSF. C-3<>C-17	TRANSF. C-9<>C-17	TRANSF. C-14<>C-17	TRANSF. C-10A<>C-17	TRANSF. C-43<>C-14	TRANSF. C-16<>C-14	SE-1230	C-17	C-3	C	
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	17	18	19	2	3	4	10	
SV16		DK		172.30.2.25	255.255.255.0	SW1 A111	X		X	X						X												
IED1CUB1	C17R170AC1R1	F35	PFI	172.30.2.1	255.255.255.0	SW1 A212	X		X																			
IED1CUB2	C17R170AC1R2	F60	PFI	172.30.2.2	255.255.255.0	SW1 A615	X		X																			
IED1CUB3	C17R170AC1R3	F35	PFI	172.30.2.3	255.255.255.0	SW1 A816	X		X																			
IED1CUB4	C17R170AC1R4	F35	PFI	172.30.2.4	255.255.255.0	SW1 B119	X		X																			
IED1CUB5	C17R170AC1R5	F35	PFI	172.30.2.5	255.255.255.0	SW1 B210	X		X																			
IED1CUB6	C17R170AC1R6	F35	PFI	172.30.2.6	255.255.255.0	SW1 B313	X		X																			
IED1CUB7	C17R170AC1R7	F35	PFI	172.30.2.7	255.255.255.0	SW1 B814	X		X																			
IED1CUB8	C17R170AC1R8	F35	PFI	172.30.2.8	255.255.255.0	SW1 C117	X		X																			
IED1CUB9	C17R170AC1R9	F35	PFI	172.30.2.9	255.255.255.0	SW1 C218	X		X																			
IED1CUB10	C17R170AC1R10	F35	PFI	172.30.2.10	255.255.255.0	SW1 C5121	X		X																			
IED1CUB11	C17R170AC1R11	F35	PFI	172.30.2.11	255.255.255.0	SW1 D3122	X		X																			
IED1CUB12	C17R170AC1R12	F35	PFI	172.30.2.12	255.255.255.0	SW1 D1125	X		X																			
IED1CUB13	C17R170AC1R13	F35	PFI	172.30.2.13	255.255.255.0	SW1 D2128	X		X																			
IED1CUB1	C17R170AC1R1	F35	PFI	172.30.2.14	255.255.255.0	SW1 D5123	X		X																			
SV2		DK		172.30.2.200	255.255.255.0	SW1 D3120	X		X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
SV1		DK		172.30.2.200	255.255.255.0	SW2 A111	X		X								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
IED1CUB1	C17R170AC1R2	F60	PFI	172.30.2.15	255.255.255.0	SW2 A212	X		X																			
IED1CUB2	C17R170AC1R3	F60	PFI	172.30.2.16	255.255.255.0	SW2 A615	X		X																			
IED1CUB4	C17R170AC1R4	F35	PFI	172.30.2.17	255.255.255.0	SW2 A816	X		X																			
IED1CUB5	C17R170AC1R5	F35	PFI	172.30.2.18	255.255.255.0	SW2 B119	X		X																			
IED1CUB6	C17R170AC1R6	F35	PFI	172.30.2.19	255.255.255.0	SW2 B210	X		X																			
IED1CUB7	C17R170AC1R7	F35	PFI	172.30.2.20	255.255.255.0	SW2 B313	X		X																			
IED1CUB8	C17R170AC1R8	F35	PFI	172.30.2.21	255.255.255.0	SW2 B814	X		X																			
IED1CUB9	C17R170AC1R9	F35	PFI	172.30.2.22	255.255.255.0	SW2 C117	X		X																			
IED1CUB10	C17R170AC1R10	F35	PFI	172.30.2.23	255.255.255.0	SW2 C218	X		X																			
IED1CUB11	C17R170AC1R11	F35	PFI	172.30.2.24	255.255.255.0	SW2 C5121	X		X																			
IED1CUB12	C17R170AC1R12	F35	PFI	172.30.2.25	255.255.255.0	SW2 D1125	X		X																			
IED1CUB13	C17R170AC1R13	F35	PFI	172.30.2.26	255.255.255.0	SW2 D2128	X		X																			
IED1CUB1	C17R170AC1R1	F35	PFI	172.30.2.27	255.255.255.0	SW2 D3122	X		X																			
IED1CUB1	C17R170AC1R1	F60	PFI	172.30.2.28	255.255.255.0	SW2 D5123	X		X																			
SV2		A1		172.30.2.202	255.255.255.0	SW2 D8120	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
IED1CUB1	C17R170AC1R1	F35	PFI	172.30.2.21	255.255.255.0	SW3 A111	X		X								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
IED1CUB2	C17R170AC1R2	F60	PFI	172.30.2.22	255.255.255.0	SW3 A212	X		X								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
IED1CUB4	C17R170AC1R4	F35	PFI	172.30.2.27	255.255.255.0	SW3 A515	X		X																			

FIGURA 16 – Lista de Endereços de Rede

ENDEREÇAMENTO DE REDE											
EQUIPAMENTO	IED NAME	MODELO	PORTA	ENDEREÇO IP	MASCARA	CONECTADO A		DEFAULT	SE-1230	0-17	0-3
						SWITCH	PORTA				
						1	2				
SW16			D6	172.30.2.215	255.255.255.0	Sw1	A1 / 1	X		X	X
IED1 CUB1	C17R17010AC1R1	F35	PRI	172.30.2.1	255.255.255.0	Sw1	A2 / 2	X		X	
IED2 CUB1	C17R17010AC1R2	T60	PRI	172.30.2.2	255.255.255.0	Sw1	A5 / 5	X		X	
IED1 CUB2	C17R17010AC2	F60	PRI	172.30.2.3	255.255.255.0	Sw1	A6 / 6	X		X	
IED1 CUB4	C17R17010AC4	F35	PRI	172.30.2.4	255.255.255.0	Sw1	B1 / 9	X		X	
IED1 CUB5	C17R17010AC5	F35	PRI	172.30.2.5	255.255.255.0	Sw1	B2 / 10	X		X	
IED1 CUB6	C17R17010AC6	F35	PRI	172.30.2.6	255.255.255.0	Sw1	B5 / 13	X		X	
IED1 CUB7	C17R17010AC7	F35	PRI	172.30.2.7	255.255.255.0	Sw1	B6 / 14	X		X	
IED1 CUB8	C17R17010AC8	F35	PRI	172.30.2.8	255.255.255.0	Sw1	C1 / 17	X		X	
IED1 CUB9	C17R17010AC9	F35	PRI	172.30.2.9	255.255.255.0	Sw1	C2 / 18	X		X	
IED1 CUB10	C17R17010AC10	F35	PRI	172.30.2.10	255.255.255.0	Sw1	C5 / 21	X		X	
IED1 CUB11	C17R17010AC11	F35	PRI	172.30.2.11	255.255.255.0	Sw1	C6 / 22	X		X	
IED1 CUB12	C17R17010AC12	F35	PRI	172.30.2.12	255.255.255.0	Sw1	D1 / 25	X		X	
IED1 CUB13	C17R17010AC13	F35	PRI	172.30.2.13	255.255.255.0	Sw1	D2 / 26	X		X	

FIGURA 17 – Detalhe da Lista de Endereços de Rede.

Na Figura 17 acima, pode-se ver que os dispositivos têm seus endereços de rede, máscara de rede, à qual porta do switch eles estão conectados e para quais VLAN ID estão habilitados para determinadas portas de switch.

5. CONFIGURAÇÕES NA REDE LOCAL

Neste capítulo são mostradas as teorias envolvidas nos protocolos utilizados para este projeto, que são, a utilização das *Virtual Local Area Network* (VLANs – IEEE 802.1Q), da *Quality of Service* (QoS – IEEE 802.1P) e do *Rapid Spanning Tree Protocol* (RSTP – IEEE 802.1w). Também abordam-se as mensagens prioritárias do tipo GOOSE da norma IEC61850, as quais utilizam as configurações de QoS e VLANs, mencionadas.

5.1. VLANs

A implantação de VLANs (Virtual Local Area Network) tem a intenção de segmentar uma rede lógica a fim de aumentar o controle de tráfego da rede, diminuir o alcance de disseminação de pacotes de difusão (*broadcast*) e de pragas virtuais, melhorado assim o desempenho e a segurança de uma determinada rede (HAFFERMANN, 2009).

Uma VLAN cria domínios de *broadcast* diferentes ou segmentos de rede que podem se estender por vários switches. A especificação IEEE 802.1Q estabelece critérios para que os *frames* Ethernet sigam um padrão determinado para inserção nas informações (GE, 2008). Sendo assim tem-se como isolar os dados de uma rede para outra sem a necessidade de isolar os equipamentos e através de VLAN pode-se ter uma solução de baixo custo, sem ter a necessidade de implementação de roteadores.

Para esse trabalho utiliza-se a VLAN para diminuir o tráfego de rede, em cada subestação, e com isso aumentar o desempenho do sistema de automação para troca de mensagens de proteção altamente prioritárias.

5.1.1. Classificação das VLANs

A forma como se reúne os equipamentos e o agrupamento utilizado, é como serão classificadas as VLANs.

Estes agrupamentos podem ser definidos por intermédio das portas do computador, pelos endereços físicos das interfaces de rede, endereço IP dos clientes, endereços IP *multicast*, protocolos e também por uma combinação de alguns destes (HAFFERMANN, 2009).

Nas subseções a seguir, são mostrados com mais detalhes, os tipos de agrupamentos mencionados, e de antemão, destaca-se o do tipo porta com TAG, por ser suportado pelos switches deste trabalho.

5.1.2. Agrupamento por Porta

Uma implementação em VLAN do tipo porta, é aquela em que pode ser utilizada para separação de redes virtuais entre portas de um mesmo switch. Essa implementação cria uma “barreira” que não deixa que informações passem de uma portas pertencentes a uma VLAN para portas de outras VLANs. Dessa forma isolam-se as redes. A Figura 18 abaixo, mostra como seria um exemplo de VLAN tipo porta.

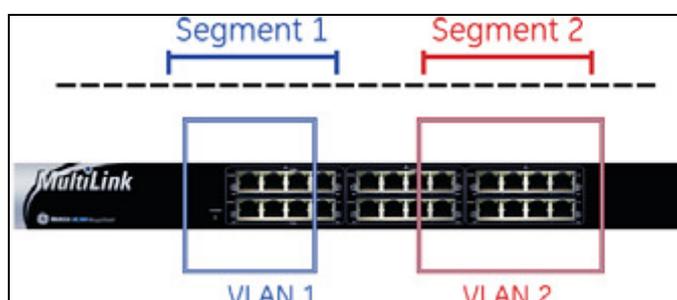


FIGURA 18 – VLAN com dois Domínios de *Broadcasting* Separados

Fonte: GE (2008 p. 10-1)

5.1.3. Agrupamento por Porta com TAG

Em algumas aplicações, que também é o caso desse trabalho, tem-se a necessidade de que por uma porta de switch trafeguem mensagens de mais de uma VLAN, e também para que essas mensagens identificadas por VLAN trafeguem entre vários switches sem perder a sua identificação. Para essa aplicação é que são criadas as VLANS tipo TAG. Conforme padrão estipulado pela IEEE 802.1Q os

equipamentos que suportam esse tipo de VLAN inserem um campo de identificação, chamados de VLAN ID e que permitem que as mensagens trafeguem na rede identificadas e que no processamento dos switches sejam encaminhadas para as portas destino corretas. A Figura 19 mostra como fica a divisão das portas do switch, e a Figura 20 abaixo mostra como é inserido o campo do TAG da VLAN.

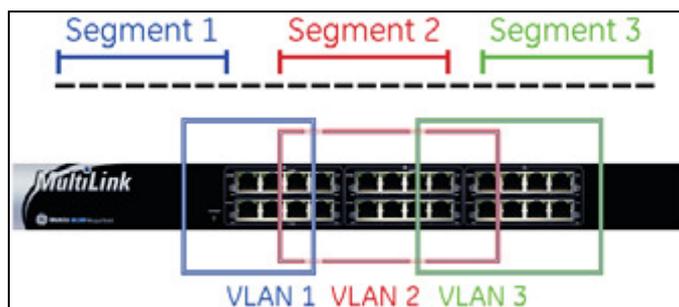


FIGURA 19 – Portas atribuídas a múltiplas VLANs

Fonte: GE (2008 p. 10-2)

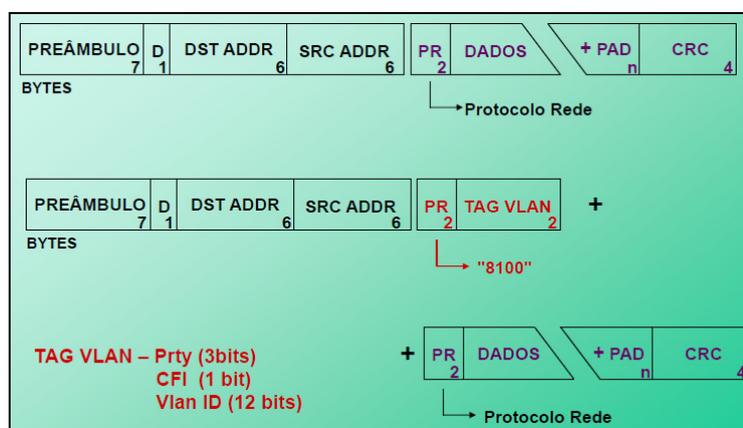


FIGURA 20 – PDU Ethernet para VLAN e prioridade

Fonte: Rech Filho (2011).

Na PDU Ethernet, antes do campo PR (Protocolo de Rede), são inseridos dois campos novos. Um campo PR, com o código "0X8100", que diz que os campos a seguir contêm as informações da TAG da VLAN, composto de VLAN ID, CFI e a prioridade da mensagem.. A PDU (*Protocol Data Unit*) Ethernet completa pode ser vista no Anexo D.

5.1.4. Agrupamento por Endereço Físico (MAC)

Neste método de agrupamento, o administrador de redes associa um endereço MAC de um dispositivo a uma determinada VLAN no switch. Assim os dispositivos podem ser movidos para qualquer localização, dentro da organização, que continuarão a fazer parte da mesma rede virtual, sem qualquer reconfiguração posterior (HAFFERMANN, 2009). A desvantagem deste método é que precisa-se cadastrar uma VLAN para cada endereço MAC antes de colocar em operação, e também que cada endereço MAC só pode estar associado a uma única VLAN.

5.1.5. Agrupamento por Endereço IP

Neste método de agrupamento, os dispositivos podem ser agrupados através de seus endereços ou subredes IP. Desta forma pode-se atribuir uma VLAN a dispositivos com IP específico. Por exemplo, os dispositivos com IP 172.16.0.10, 172.16.0.11 e 172.16.0.12 pertencem à “VLAN2”.

5.1.6. Agrupamento por Protocolos

Em redes onde são suportados protocolos diferentes (IP, IPX, NetBIOS, Apple Talk) este método pode ser usado para agrupar cada protocolo em uma VLAN diferente. Os comutadores verificam cada pacote para identificar a qual rede virtual o mesmo está associado por meio do tipo de protocolo usado. Apesar de se basear em endereçamento de 3º nível estes comutadores não realizam funções de roteamento, sendo restritamente usado para identificação e agrupamento das VLANs. Um dos benefícios do uso deste tipo de VLAN é a flexibilidade na localização e mudança de estações sem necessidade de reconfiguração. Por outro lado existe perda de performance dos comutadores que suportam este agrupamento pela necessidade de verificação dos endereços na terceira camada ao invés da segunda (endereço MAC).

5.2. QUALITY OF SERVICE (QoS)

A *Quality of Service* (QoS) é um artifício capaz de atribuir diferentes prioridades para diferentes tipos de tráfego. Sem a implementação de QoS, todo o tráfego na rede permanece com a mesma prioridade. A QoS permite que o tráfego de rede melhore e realize o principal objetivo, que é prover prioridade incluindo largura de banda dedicada.

A família de switches MultiLink, utilizado no projeto dessas subestações, suporta QoS, conforme especificado pelo padrão IEEE 802.1p e padrões de VLAN IEEE 802.1q. QoS é importante em ambientes de rede onde há tempo de aplicações críticas, como a transmissão de voz ou vídeo conferência, que pode ser adversamente afetado por atrasos de pacotes de transferência ou outros latência em uma rede (GE, 2008).

Para que a QoS funcione dentro do esperado, e definido pelo padrão IEEE 802.p, a maioria dos switches implementa buffers para enfileirar os pacotes. Assim o switch faz o processamento dos pacotes de entrada verificando a prioridade, e enfileira na porta de saída do switch as mensagens conforme as prioridade atribuídas. O padrão IEEE 802.1p define e usa oito níveis de prioridades. Os oito níveis de prioridade são enumerados 0-7, com 0 a prioridade mais baixa e 7 a maior.

A família de switches MultiLink tem duas filas de prioridade, 1 (baixo) e 0 (alta). Quando os pacotes *tagged* são inseridos na porta do switch, o switch responde, colocando o pacote em uma das duas filas, e dependendo dos níveis de precedência na fila podem ser reorganizados para atender aos requisitos de QoS (GE, 2008).

Conforme mostrado anteriormente na Figura 20, a PDU do *frame* Ethernet insere o campo com os dados da prioridade utilizados na QoS. A identificação da prioridade é feita com 3 bits.

5.3. RAPID SPANNING TREE PROTOCOL (RSTP)

O *Rapid Spanning Tree Protocol* (RTSP) (IEEE 802.1w) é uma evolução do protocolo *Spanning Tree* (STP) (padrão 802.1d) e foi projetado para evitar *loops* em uma rede Ethernet.

O IEEE 802.1d *Spanning Tree Protocol* (STP) foi desenvolvido para permitir a construção de redes em redundância. O STP é eficaz, exige que a transferência de *frames* deve parar depois de uma interrupção de um *link* até que todos os switches da rede estejam cientes da nova topologia. O STP (IEEE 802.1d) recomenda valores de reconstrução da rede na ordem de 30 segundos (GE, 2008).

O Protocolo *Rapid Spanning Tree* (IEEE 802.1w) foi desenvolvido a partir do STP e que garante informações da topologia sejam rapidamente propagados através da rede e convergem em menos de um segundo.

O RSTP tem três estados de processamento. Eles descartam mensagens, aprendem a rede e encaminham mensagens, ou seja, quando a porta com RSTP habilitada entra na rede, ela descarta os *frames* Ethernet que chegam, olha para o tráfego STP e muda o estado da porta para aprendizagem. O estado de aprendizagem é inserido quando a porta está se preparando para desempenhar um membro ativo da rede. Depois de "aprendizagem" do switch irá colocar a porta no estado de encaminhamento e começa a transmissão de *frames*.

5.4. PILHA DE PROTOCOLO E TIPOS DE MENSAGENS DA NORMA 61850

As mensagens trocadas entre cliente e servidor e mensagens de proteção entre IED's, presentes na norma IEC61850, têm como referencia a pilha de comunicação OSI, como mostrado na Figura 21.

A pilha de protocolos está representada, com mais detalhes, na Figura 22. Pode-se observar que somente a camada de enlace é comum a todas as mensagens e utiliza o protocolo *Ethernet* com prioridade. As mensagens que não têm restrição de tempo, geralmente mensagens entre cliente-servidor, utilizam toda a pilha de protocolos enquanto que as demais, que têm restrições quanto a atrasos, são mapeadas diretamente na camada de enlace.

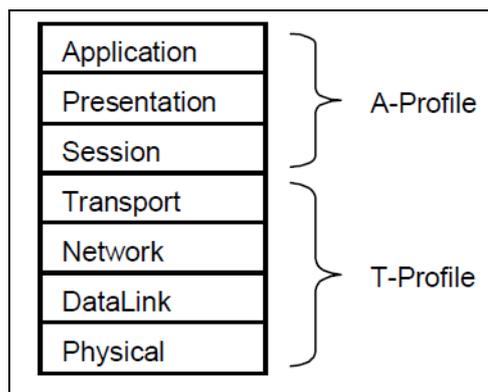


FIGURA 21 – Modelo de referência OSI

Fonte: IEC 61850-8-1 (2004. pg 21)

Por utilizarem toda a pilha de protocolo, vide Apêndice 1 para mais detalhes sobre cada camada, as mensagens cliente-servidor têm um atraso inserido pelo processamento em cada camada, e por esse motivo devem estar relacionadas a serviços sem restrições críticas de tempo, como por exemplo, leitura e escrita de atributos e transferência de arquivos.

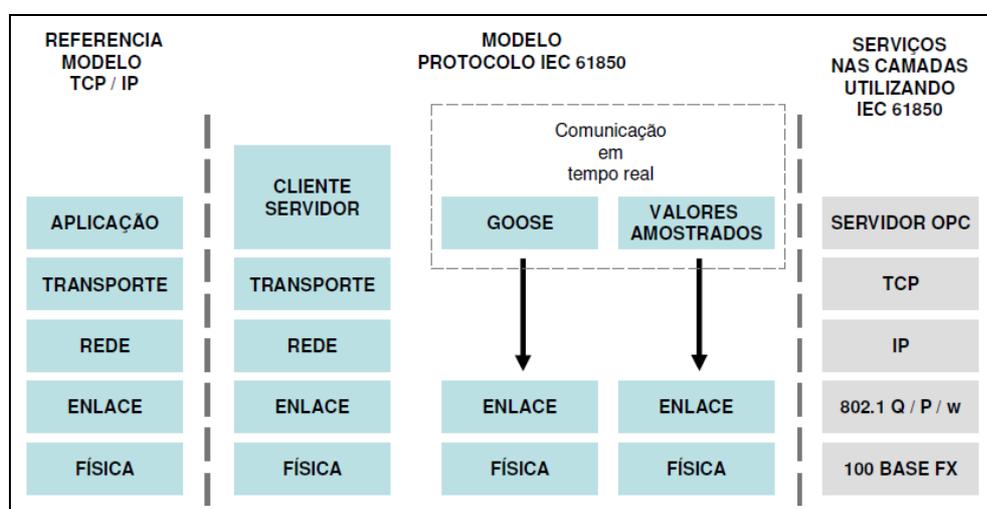


FIGURA 22 – Representação da pilha de protocolo IEC 61850

As mensagens são classificadas em classes de desempenho, como mostra a norma IEC61850-5, e está representada na Tabela 4.

TABELA 4 – TIPOS DE MENSAGENS E CLASSE DE DESEMPENHO

TIPO	CLASSE	TEMPO TOTAL DE TRANSFERÊNCIA
1	MENSAGENS RÁPIDAS	até 10ms
1 A	TRIP	até 100ms
2	VELOCIDADE MÉDIA	até 100ms
3	BAIXA VELOCIDADE	até 500ms
4	DADOS DE RAJADA	até 10ms
5	TRANSFERÊNCIA DE ARQUIVOS	até 1000ms
6	SINCRONIZAÇÃO DE TEMPO	Conforme norma específica atualizações a cada 10ms.

As mensagens com restrições críticas a atraso, como bloqueios, são denominadas de transferência de objetos genéricos do sistema (GOOSE, do inglês, *Generic Object Oriented System Events*) (tipo 1 e 1A) e também de valores amostrados SV (*Sampled Values - analog*) (tipo 4). Essas mensagens, além de não utilizarem todas as camadas da pilha de protocolos, como mostrado na Figura 22, têm a prioridade mais alta. Na Figura 23 pode-se verificar, o tratamento para pilha de transmissão conforme as mensagens classificadas na tabela 4, acima.

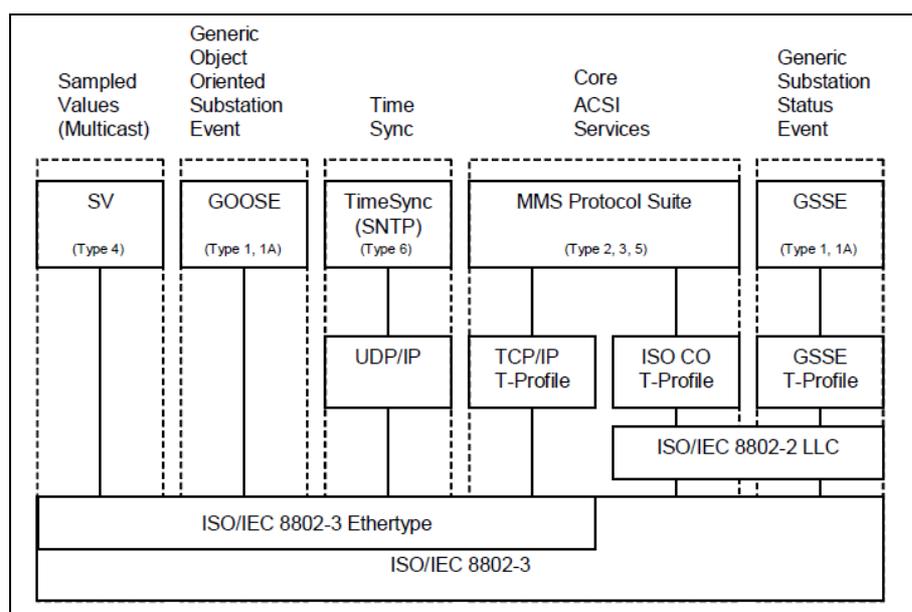


FIGURA 23 – Visão Geral da pilha de comunicação IEC 61850

Fonte: IEC 61850-8-1 (2004, pg 19)

5.4.1. Mensagens Cliente-Servidor

São definidos três tipos de mensagens cliente-servidor: Sincronização de tempo (tipo 6), Serviços ASCI (*Abstract Communication Service Interface*) (tipos 2, 3 e 5) e Eventos genéricos do *status* da subestação GSSE (*Generic Substation Status Event*) (tipos 1 e 1A).

As mensagens ASCI provêm uma interface abstrata de comunicação entre um cliente e um servidor remoto e para distribuição de eventos entre uma aplicação e um equipamento e aplicações remotas em outros equipamentos.

As mensagens GSSE passam os eventos de *status* dos equipamentos de uma subestação, como por exemplo, disjuntor aberto ou fechado, transformador ligado ou desligado, seccionadora fechada ou aberta, etc.

As mensagens de sincronização de tempo são do tipo SNTP (*Simple Network Time Protocol*), e servem para sincronizar os dispositivos eletrônicos inteligentes com um servidor de tempo. Em alguns casos pode-se aplicar a rede SNTP em um projeto, em outros casos, a latência da rede causa perdas na precisão da transferência da informação de sincronização. Nesses casos são utilizados outros meios para sincronização dos equipamentos que garantam o sincronismo com precisão de até 1ms. O IRIG-B, é um padrão que atende aos requisitos da norma IEC 61850 e utiliza uma rede de sincronismo externa a rede de dados.

As mensagens cliente / servidor podem utilizar todos os serviços da pilha de comunicação, ou uma combinação deles, pois têm uma restrição de tempo que permite essa implementação. Nos quadros 1 e 2, são mostrados os serviços e protocolos utilizados pelo cliente-servidor para o perfil da aplicação e transporte das mensagens.

OSI model layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Application	Manufacturing Message Specification	ISO 9506-1:2003	ISO 9506-2:2003	m
	Association Control Service Element	ISO/IEC 8649:1996	ISO/IEC 8650:1996	m
Presentation	Connection Oriented Presentation	ISO/IEC 8822:1994	ISO/IEC 8823-1:1994	m
	Abstract Syntax	ISO/IEC 8824-1:1999	ISO/IEC 8825-1	m
Session	Connection Oriented Session	ISO/IEC 8326:1996	ISO/IEC 8327-1:1997	m

QUADRO 1 - Serviços e protocolos para cliente / servidor - Aplicação

Fonte: IEC 61850-8-1 (2004, pg 23)

OSI Model Layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Transport	ISO Transport on top of TCP	RFC 1006		m
	Internet Control Message Protocol (ICMP)	RFC 792		m
	Transmission Control Protocol (TCP)	RFC 793		m
Network	Internet Protocol	RFC 791		m
	An Ethernet Address Resolution Protocol (ARP)	RFC 826		m
DataLink	Standard for the transmission of IP datagrams over Ethernet networks	RFC 894		m
	Carrier Sense Multiple Access with collision detection (CSMA/CD)	ISO/IEC 8802-3:2001		m
Physical (option 1)	10Base-T/100Base-T	ISO/IEC 8802-3:2001		c1
	Interface connector and contact assignments for ISDN Basic Access Interface. ^a	ISO/IEC 8877:1992		
Physical (option 2)	Fibre optic transmission system 100Base-FX	ISO/IEC 8802-3:2001		c1
	Basic Optical Fibre Connector. ^b	IEC 60874-10-1, IEC 60874-10-2 and IEC 60874-10-3		
^a This is the specification for the 10BaseT connector. ^b This is the specification for the ST connector. c1 It is recommended to implement at least one of the two Physical interfaces. Additional or future technologies may be used.				

QUADRO 2 - Serviços e protocolos para cliente / servidor - Transporte

Fonte: IEC 61850-8-1 (2004, pg 24)

5.4.2. Mensagens GOOSE e Valores Amostrados

As mensagens GSSE e GOOSE pertencem à classe de mensagens GSE (*Generic Substation Event*) sendo que as primeiras transportam as informações de *status* e são do tipo 1 e 1A, como as mensagens GOOSE, mas só suportam uma

estrutura fixa de dados enquanto as mensagens GOOSE transportam estruturas de dados configuráveis.

As mensagens GOOSE contêm informações que permitem ao receptor conhecer que um *status* foi modificado e o instante em que ele foi modificado.

Os valores amostrados, como corrente e tensão do transformador, são enviados nas mensagens SV que requerem atenção a restrições de tempo, pois o conjunto de valores amostrados será usado no receptor para “reconstruir” o valor original da grandeza medida.

As mensagens GOOSE não utilizam todos os serviços da pilha de comunicação, pois têm uma restrição de tempo bem “enxuta” como mostrado na tabela 4. Nos quadros 3 e 4, são mostrados os serviços e protocolos utilizados para o GOOSE e SV para o perfil da aplicação e transporte das mensagens.

OSI model layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Application	GSE/GOOSE protocol	See Annex A		m
Presentation	Abstract Syntax	NULL		m
Session				

QUADRO 3 - Serviços e protocolos para GOOSE - Aplicação

Fonte: IEC 61850-8-1 (2004, pg 26)

OSI model layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Transport				
Network				
DataLink	Priority Tagging/ VLAN	IEEE 802.1Q		m
	Carrier Sense Multiple Access with collision detection (CSMA/CD).	ISO/IEC 8802-3:2001		m
Physical (option 1)	10Base-T/100Base-T	ISO/IEC 8802-3:2001		c1
	Interface connector and contact assignments for ISDN Basic Access Interface. ^a	ISO/IEC 8877:1992		
Physical (option 2)	Fibre optic transmission system 100Base-FX	ISO/IEC 8802-3:2001		c1
	Basic Optical Fibre Connector. ^b	IEC 60874-10-1, IEC 60874-10-2 and IEC 60874-10-3		
^a This is the specification for the 10BaseT connector. ^b This is the specification for the ST connector. c1 It is recommended to implement at least one of the two physical interfaces. Additional or future technologies may be used.				

QUADRO 4 - Serviços e protocolos para GOOSE - Transporte

Fonte: IEC 61850-8-1 (2004, pg 26)

5.4.3. Retransmissão de Mensagens GOOSE

Mapear as mensagens com restrições críticas de tempo diretamente na camada de enlace resolve o problema do atraso que seria inserido pelas demais camadas no envio das mensagens, porém retira a confiabilidade que seria garantida por meios de estabelecimento de seções e confirmação de recepção que seriam feitas pelas camadas que não foram utilizadas. Para garantir, de uma forma um pouco melhor, a confiabilidade da entrega das mensagens, são inseridos alguns mecanismos de retransmissão, descritos a seguir.

Antes de apresentar o mecanismo de envio vale salientar que todos os serviços de envios de dados são feitos por exceção, ou seja, são enviados na rede sem a solicitação por outro dispositivo. Essa definição de transmissão é denominada publicador assinante, pois somente os dispositivos que forem assinantes de uma mensagem GOOSE identificada na rede é que vão poder receber e processar a informação, e os demais descartam a mensagem. Para definir o que deve ser transmitido, um conjunto de dados relacionados a todas as mensagens (cliente-

servidor, GOOSE e SV) e um evento que define o início da transmissão são definidos em bloco de controle.

Uma mesma mensagem GOOSE é enviada continuamente a cada T_{max} (tempo máximo) de 1024ms. Quando um evento ocorre, uma nova mensagem é gerada e o período de envio diminui para T_{min} (tempo mínimo) de 2ms, em seguida esse período é incrementado até que o T_{max} seja atingido ou que outro evento ocorra, gerando uma nova mensagem, conforme está ilustrado na Figura 24. Observe que caso não ocorram novos eventos uma mensagem é repetida na rede em períodos de tempo T_{max} .

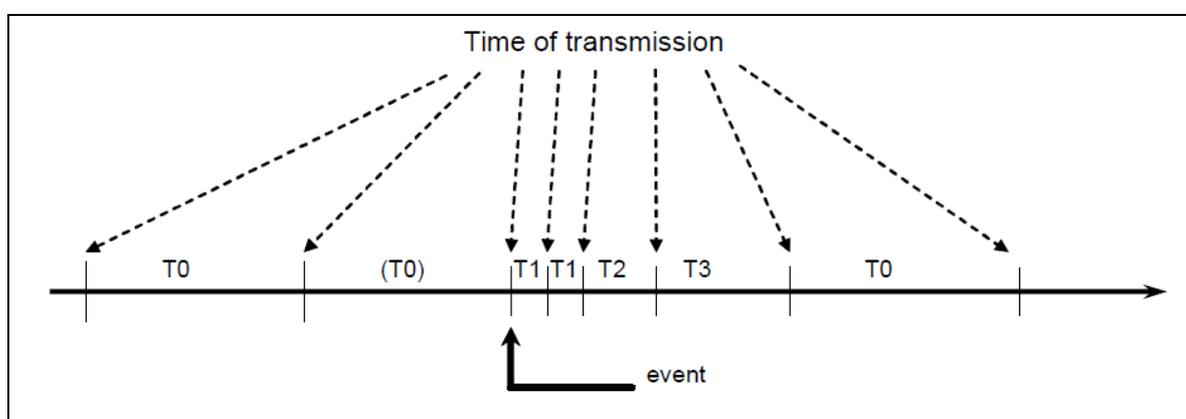


FIGURA 24 – Retransmissão de Mensagem GOOSE.

Fonte: IEC 61850-8-1 (2004, pg 68)

No caso das mensagens por valores amostrados considera-se que a perda de algumas delas possa ser recuperada pelos algoritmos que rodam nas funções de recepção. Portanto não há mecanismos de reconhecimento ou envio contínuo para esse tipo de mensagem.

5.4.4. Cabeçalho de uma Mensagem Goose

A configuração de uma mensagem GOOSE começa pelo seu cabeçalho. Nele deve-se configurar alguns itens, que vão identificar, dar prioridade, isolar nas VLANs, etc, para cada uma durante a sua propagação na rede.

SETTING	PARAMETER
GOOSEOut 1 Function	Enabled
GOOSEOut 1 ID	C3_010A_F35_MF01A_CFG1
GOOSEOut 1 Destination MAC	00 00 00 00 00 00
GOOSEOut 1 VLAN Priority	4
GOOSEOut 1 VLAN ID	14
GOOSEOut 1 ETYPE APPID	0
GOOSEOut 1 ConfRev	1
GOOSEOut 1 Retransmission Curve	Aggressive
GOOSEOut 1 Dataset Item 1	GGIO1.ST.Ind7.stVal
GOOSEOut 1 Dataset Item 2	GGIO1.ST.Ind30.stVal
GOOSEOut 1 Dataset Item 3	GGIO1.ST.Ind31.stVal
GOOSEOut 1 Dataset Item 4	None
GOOSEOut 1 Dataset Item 5	None
GOOSEOut 1 Dataset Item 6	None

FIGURA 25 – cabeçalho de uma mensagem GOOSE na interface do IED.

A Figura 25 acima mostra o cabeçalho de uma mensagem GOOSE e pode-se destacar os seguintes itens. O ID é o “nome” dessa mensagem na rede. É um dos principais itens, pois somente os IEDs que forem assinantes dessa mensagem na rede é que estão aptos a recebê-la. Como para alguns casos mais de um dispositivo na rede deve receber uma mensagem GOOSE, configura-se o item *Destination MAC* como *broadcast*, ou seja, 00 00 00 00 00 00. A prioridade da mensagem vai ser dada no campo *VLAN Priority*, e como um padrão para as mensagens GOOSE é definida como 4. A *VLAN ID* é a identificação para qual *VLAN* essa mensagem está cadastrada e a curva de retransmissão configurada como *agressive*. O padrão de retransmissão das mensagens GOOSE configuráveis, para os dispositivos utilizados nesse projeto, pode ser verificado no Anexo C.

6. DESEMPENHO DE REDE PARA MENSAGENS PRIORITÁRIAS

Nesse capítulo são apresentadas algumas características da rede local para a subestação C-3, do projeto de rede de automação de dados da Refinaria Presidente Bernardes, os resultados dos testes de desempenho de rede para mensagens prioritárias de proteção do tipo GOOSE, em situações de saturação de capacidade de tráfego de rede, e também os resultados da implementação das redes lógicas, *VLANs*, configuradas nos switches dessa subestação.

6.1. CARACTERÍSTICAS DA REDE DA SUBESTAÇÃO C-3

A rede de comunicação de dados de automação, da subestação C-3, é composta por 10 switches ópticos Multilin, da *GE Digital Energy*, modelos ML-2400, gerenciáveis e com suporte à priorização de mensagens e configuração de redes lógicas utilizando a função de VLANs, e de 49 IED's, da família UR, com porta de comunicação redundante, também da GE. A rede da C-3 é demonstrada na Figura 26, e tem arquitetura tipo estrela (radial), para interligação entre os relés e os switches ópticos, e tem arquitetura do tipo anel (*ring*), bidirecional e autorreconfigurável para caso de interrupção ou falha em algum componente do sistema.

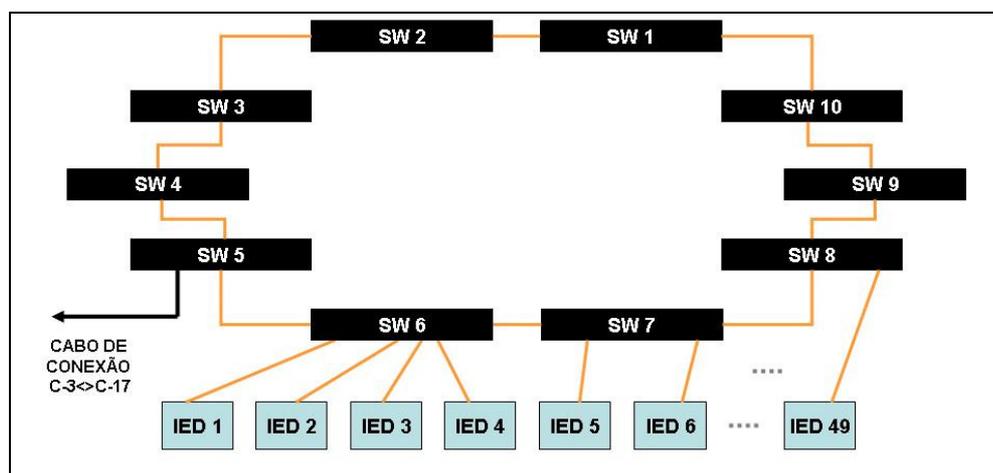


FIGURA 26 – Arquitetura de rede da subestação C-3

6.2. REQUISITOS PARA APROVAÇÃO DO DESEMPENHO DE REDE

A norma IEC61850 na sua parte 5, IEC61850-5 *Communication requirements for functions and device models*, descreve, entre outras funcionalidades, os requisitos para testes de desempenho de rede baseada nesta norma.

O item 13 da norma IEC 61850 (*Message performance requirements*), propõem primeiramente, 6 divisões para os diferentes tipos de mensagens de acordo com os requisitos do sistema de automação da subestação SAS, e também os tempos máximos de troca de mensagens para um desempenho máximo do sistema, e são descritas conforme Tabela 4 do item 5.4.

Então para aprovação do desempenho da rede do sistema digital de proteção e automação da RPBC, foram comparados os tipos de mensagens 1a e 1b, que são as mais importantes, do ponto de vista da norma, por se tratarem de mensagens que transportam informações sobre proteção do sistema elétrico..

Para execução dos testes seguintes, é necessário entender a definição de transferência de tempo total (*total transfer time*) O item 13.4 da parte 5 da norma IEC61850, define transferência de tempo como sendo:

Quando a transferência de tempo é especificada na figura 27, isto significa que a completa transmissão da mensagem inclui necessariamente o final da transmissão entre dois dispositivos. O tempo é contado desde o momento que o IED transmissor envia os dados para o topo da pilha de transmissão até o momento em que o IED receptor extrai os dados do seu pacote de transmissão, ou seja, é especificado somente o tempo de transmissão da mensagem via rede na camada de enlace.

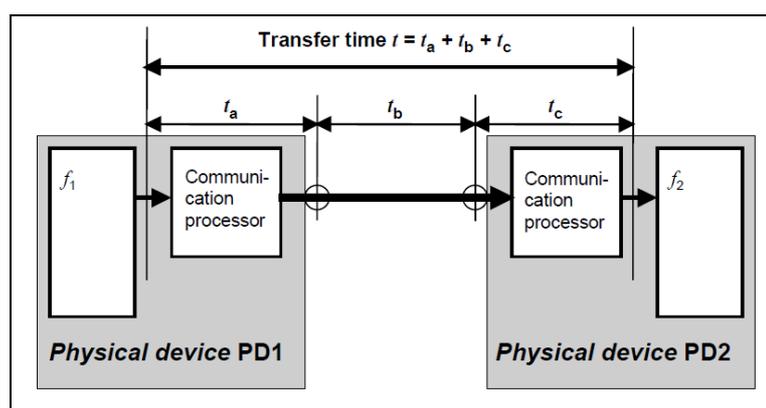


FIGURA 27 – Tempo de transferência

Fonte: IEC 61850-5 (2003, p.45).

6.3. DESCRIÇÃO DO TESTE DE DESEMPENHO DE REDE

A fim de verificar o desempenho de rede, os testes foram baseados nas estampas de tempo de mensagens GOOSE enviadas e recebidas através de IED's publicador / assinante. Os resultados dos testes contêm os tempos das trocas de mensagens sem e com carregamento da rede.

6.3.1. Carregamento da Rede

A rede foi avaliada em duas situações distintas, descritas a seguir:

Situação 1 (sem carregamento externo): Tráfego de dados normal na rede de automação de dados IEC 61850;

Situação 2 (carregamento externo): Nesta situação foi utilizado o IP Load, software *freeware* para gerar carregamento da rede ethernet de 64 Mbps, para isto foi configurado com os seguintes parâmetros:

- *Packet size* = 200 bytes;
- *Packets per second* = 40.000;
- Tráfego equivalente: $200 \times 40.000 \times 8 = 64$ Mbps;
- Endereço IP: endereço do IED a receber as mensagens.

Como a PDU do GOOSE é “transparente” para rede de switches, ou seja, não interessa o conteúdo do corpo da mensagem GOOSE, somente o cabeçalho, programa-se o envio de uma mensagem qualquer, no IED publicador, uma repetição num determinado instante de tempo, e monitora-se no IED assinante, a chegada de cada uma dessas mensagens.

Do ponto de vista do sistema elétrico da subestação C-3, e baseado nas mensagens de proteção existentes, adota-se uma troca de mensagens entre os IEDs localizados no CUB 10 do painel PN-03010 e do IED do CUB 5 do painel PN-0301, porque o primeiro IED supervisiona o disjuntor do CUB10 do painel PN-03010 que alimenta a entrada do painel PN-0301 que é supervisionada pelo segundo IED. Esses dois IEDs escolhidos, na rede de automação, segundo a arquitetura da C-3, DE-5210.00-35140-741-TFU-122 estão separados por um switch, o que é interessante para o teste, pois as mensagens GOOSE precisarão ser roteadas até o outro switch onde é encaminhada para porta onde o segundo IED está conectado. O primeiro IED está na porta C5 do switch 1 e o segundo IED está conectado na porta B1 do switch 3, conforme Figura 28 a seguir.

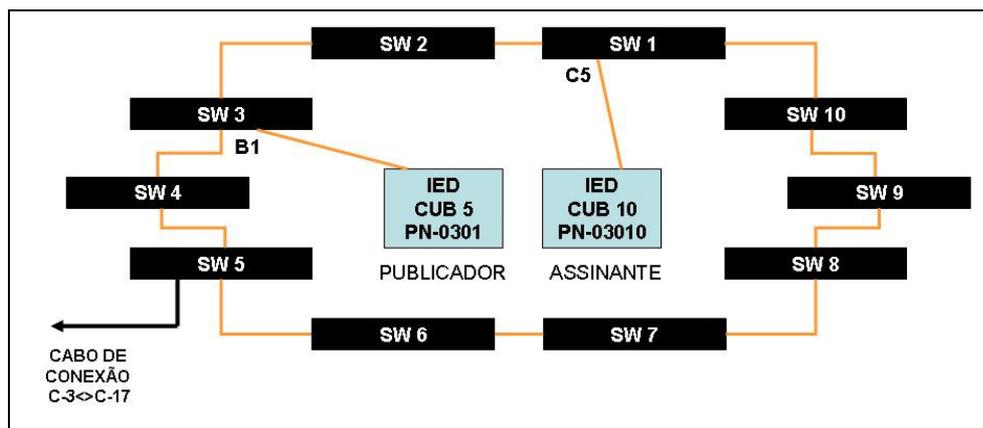


FIGURA 28 – IEDs do teste, na rede de switches da C-3

6.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Para analisar os resultados do ensaio foram amostradas 20 mensagens GOOSE, com 99% de confiabilidade como mostram os cálculos do item 6.4.1.

6.4.1. Cálculo de Amostragem

É importante calcular a quantidade de amostras à serem amostradas para obter confiabilidade nos resultados e não tomar uma quantidade muito grande ou muito pequena de amostras.

O método de análise de amostragem utilizado baseia-se na determinação do tamanho de uma amostra com base na estimativa da média populacional, e que utiliza a seguinte fórmula:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{E} \right)^2$$

Onde:

N = número de amostras;

$Z_{\alpha/2}$ = grau de confiança desejado;

σ = desvio padrão populacional da variável desejada;

E = Margem de ERRO ou erro máximo da estimativa;

Para determinação do número de amostras, parte-se de uma análise prévia, mostrada no Anexo E, em que o desvio padrão da amostragem é de 457,52, e adotando uma confiança de 99% e um erro máximo de 270 microsegundos para cada mensagem chega-se a um resultado estimado de 20 amostras como mostrado abaixo.

$$n = \left[\frac{2,575 \times 457,52}{270} \right]^2 = 19,03$$

Para o cálculo adota-se o n° 2,575 pelo grau de confiança de 99% mostrado no Quadro 5, abaixo.

Grau de Confiança	α	Valor Crítico $Z_{\alpha/2}$
90%	0,10	1,645
95%	0,05	1,96
99%	0,01	2,575

QUADRO 5 – Valores críticos associados ao grau de confiança da amostra

Fonte: Yassin (2008, p.19)

6.5. DESCRIÇÃO DO TESTE DE VLAN

O teste de VLAN tem por objetivo verificar o correto funcionamento da rede virtual criada para isolar as mensagens GOOSE de uma subestação, visando assim limitar o envio de mensagens *broadcast* para o restante da rede. As mensagens GOOSE estão parametrizadas em seus cabeçalhos com os “VLAN ID”. No caso da C-3 as mensagens que devem permanecer “circulando” internamente à subestação foram parametrizadas com VLAN ID = 4 e as mensagens que devem seguir pela rede, VLAN de transferência com VLAN ID = 14.

Com as configurações acima devidamente implementadas nos switches e relés, foi verificada com o software Wireshark, habilitando o filtro para as mensagens

GOOSE, a presença de cada uma dessas mensagens na rede. No apêndice 2 é mostrado como configurar o switch para cadastro das VLANs.

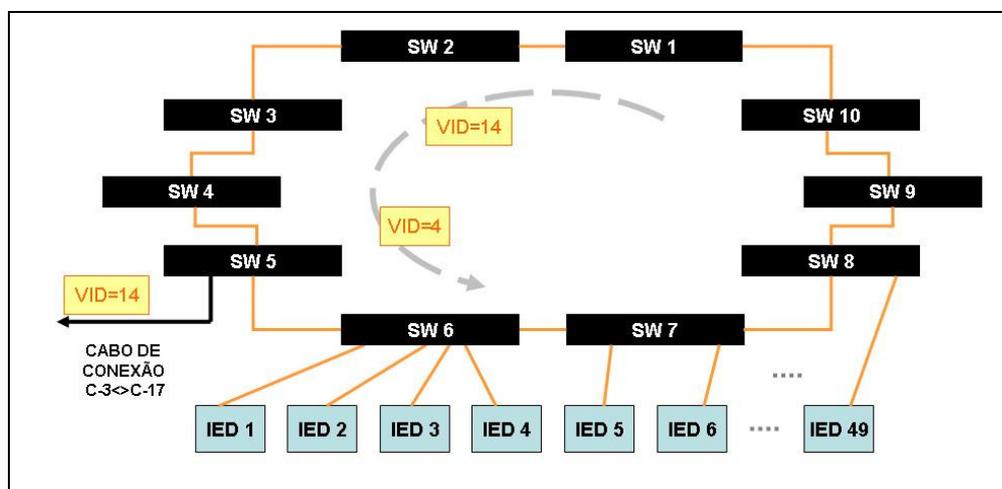


FIGURA 29 – Indicação das VLAN ID da C-3

7. RESULTADOS DOS TESTES DE DESEMPENHO DE REDE E VLAN

7.1. TESTES DE DESEMPENHO DE REDE

Conforme descrito no item 6.3, são apresentados os resultados dos ensaios de desempenho de rede, nas duas situações propostas.

7.2. TROCA DE MENSAGENS SEM CARREGAMENTO DA REDE

Primeiramente foi verificada a média de tráfego de mensagens GOOSE, MMS, etc, que trafegam na rede de dados, com a ajuda do software MRTG (*Multi Route Traffic Grapher*), instalado na estação de engenharia.

A partir desse monitoramento chegou-se ao gráfico mostrado na Figura 30.

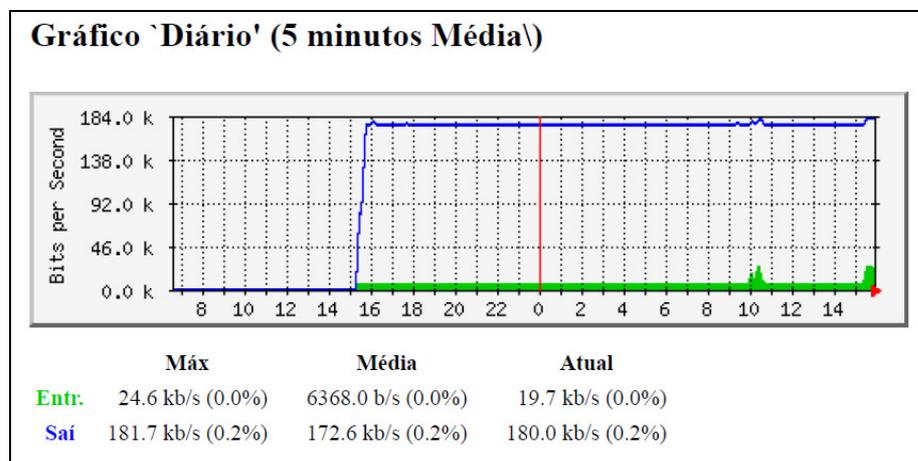


FIGURA 30 – Tráfego normal, em bps, na porta do IED destino

No gráfico acima o eixo cartesiano representam o período do dia em horas, e o eixo da abscissa a carga de processamento de dados da interface, em bits por segundo.

No gráfico acima está monitorada a interface C5 do switch 1, onde está conectado o IED do CUB 10 do PN-03010, que vai receber as mensagens GOOSE prioritárias. Nesse gráfico pode-se verificar que a porta de saída TX está enviando,

em média, 172,6 kb/s, 0,2% da capacidade de processamento da porta, para o dispositivo conectado, e que recebe em sua porta RX, em média 6,36 kbps. Lembrando que a velocidade da porta é de 100 Mbps.

Posteriormente foi monitorado, através, da lista de eventos dos IEDs envolvidos, uma mensagem GOOSE prioritária, mostradas nas figuras 31 e 32.

Event Number	Date/Time	Cause
21	Aug 17 2011 15:51:18.760384	Rem O/P UserSt 15 Off
20	Aug 17 2011 15:51:08.756497	Rem O/P UserSt 15 On
19	Aug 17 2011 15:50:58.754700	Rem O/P UserSt 15 Off
18	Aug 17 2011 15:50:48.752888	Rem O/P UserSt 15 On
17	Aug 17 2011 15:50:38.749002	Rem O/P UserSt 15 Off
16	Aug 17 2011 15:50:28.745115	Rem O/P UserSt 15 On
15	Aug 17 2011 15:50:18.743309	Rem O/P UserSt 15 Off
14	Aug 17 2011 15:50:08.741506	Rem O/P UserSt 15 On
13	Aug 17 2011 15:49:58.737620	Rem O/P UserSt 15 Off
12	Aug 17 2011 15:49:48.735814	Rem O/P UserSt 15 On
11	Aug 17 2011 15:49:38.734011	Rem O/P UserSt 15 Off
10	Aug 17 2011 15:49:28.730123	Rem O/P UserSt 15 On
9	Aug 17 2011 15:49:18.726236	Rem O/P UserSt 15 Off
8	Aug 17 2011 15:49:08.724432	Rem O/P UserSt 15 On
7	Aug 17 2011 15:48:58.722627	Rem O/P UserSt 15 Off
6	Aug 17 2011 15:48:48.718741	Rem O/P UserSt 15 On
5	Aug 17 2011 15:48:38.714854	Rem O/P UserSt 15 Off
4	Aug 17 2011 15:48:28.713048	Rem O/P UserSt 15 On
3	Aug 17 2011 15:48:18.709162	Rem O/P UserSt 15 Off
2	Aug 17 2011 15:48:08.705273	Rem O/P UserSt 15 On

FIGURA 31 – Mensagens do IED publicador IED CUB.5 PN-0301

Event Number	Date/Time	Cause
21	Aug 17 2011 15:51:18.761143	TESTE GOOSE Off
20	Aug 17 2011 15:51:08.756919	TESTE GOOSE On
19	Aug 17 2011 15:50:58.755757	TESTE GOOSE Off
18	Aug 17 2011 15:50:48.753548	TESTE GOOSE On
17	Aug 17 2011 15:50:38.749396	TESTE GOOSE Off
16	Aug 17 2011 15:50:28.744876	TESTE GOOSE On
15	Aug 17 2011 15:50:18.743225	TESTE GOOSE Off
14	Aug 17 2011 15:50:08.741201	TESTE GOOSE On
13	Aug 17 2011 15:49:58.737400	TESTE GOOSE Off
12	Aug 17 2011 15:49:48.736273	TESTE GOOSE On
11	Aug 17 2011 15:49:38.735328	TESTE GOOSE Off
10	Aug 17 2011 15:49:28.730369	TESTE GOOSE On
9	Aug 17 2011 15:49:18.727273	TESTE GOOSE Off
8	Aug 17 2011 15:49:08.724224	TESTE GOOSE On
7	Aug 17 2011 15:48:58.722237	TESTE GOOSE Off
6	Aug 17 2011 15:48:48.720416	TESTE GOOSE On
5	Aug 17 2011 15:48:38.715092	TESTE GOOSE Off
4	Aug 17 2011 15:48:28.713619	TESTE GOOSE On
3	Aug 17 2011 15:48:18.709553	TESTE GOOSE Off
2	Aug 17 2011 15:48:08.704952	TESTE GOOSE On

FIGURA 32 – Mensagem do IED assinante IED CUB.10 PN-03010

A tabela 5, apresenta o cálculo da diferença do tempo de transferência entre das mensagens GOOSE prioritárias.

TABELA 5 – Tempo de transferência sem carregamento de rede

EVENT	ENVIO	RECEPÇÃO	DIFERENÇA (us)
1	15:48:08.704952	15:48:08.705273	321
2	15:48:18.709162	15:48:18.709553	391
3	15:48:28.713048	15:48:28.713619	571
4	15:48:38.714854	15:48:38.715092	238
5	15:48:48.718741	15:48:48.720416	1675
6	15:48:58.722237	15:48:58.722627	390
7	15:49:08.724224	15:49:08.724432	208
8	15:49:18.726236	15:49:18.727273	1487
9	15:49:28.730123	15:49:28.730369	246
10	15:49:38.734011	15:49:38.735328	1317
11	15:49:48.735814	15:49:48.736273	459
12	15:49:58.737400	15:49:58.737620	220
13	15:50:08.741201	15:50:08.741506	305
14	15:50:18.743225	15:50:18.743309	84
15	15:50:28.744876	15:50:28.745115	239
16	15:50:38.749002	15:50:38.749396	394
17	15:50:48.752888	15:50:48.753548	660
18	15:50:58.754700	15:50:58.755757	1057
19	15:51:08.756497	15:51:08.756919	422
20	15:51:18.760384	15:51:18.761143	759
Média			572,15

A diferença de tempo entre o envio e o recebimento das 20 mensagens monitoradas, é mostrado no Gráfico 1, bem como a média de tempo de transferência.

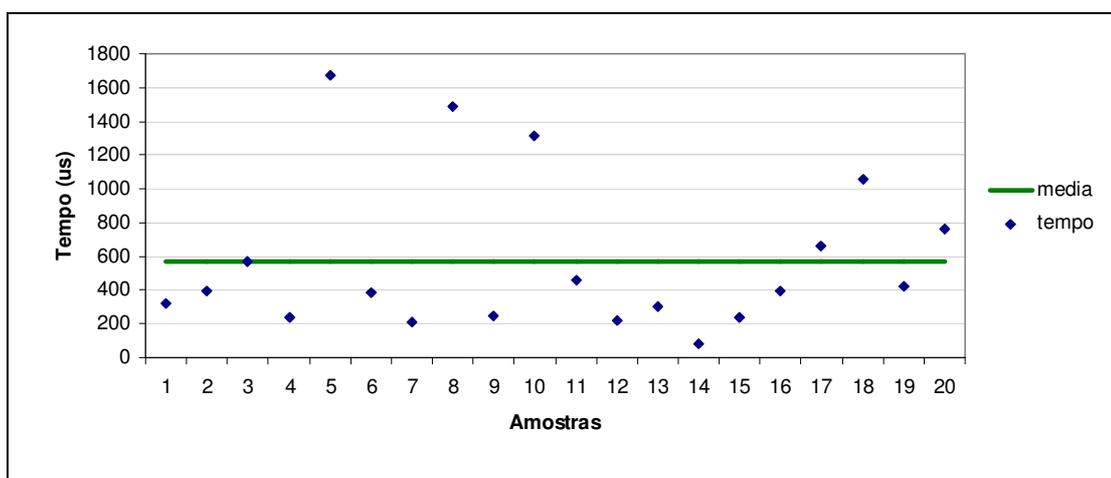


GRÁFICO 1 – Tempo de transferência sem carregamento de rede

O gráfico 1 mostra a dispersão nas diferenças de transferência de tempo das mensagens GOOSE e uma média de 572,15 μ s. Pela norma IEC 61850 o tempo máximo é de 10ms.

7.3. TROCA DE MENSAGENS COM CARREGAMENTO DA REDE

O teste de desempenho com carregamento da rede de dados, foi feito através do software IP Load, e a confirmação do efetivo carregamento se dá pela ferramenta *task manager* do Windows e pelo MRTG, que confirmam que o IED destino recebeu a carga de 64 Mbps no momento do teste.



FIGURA 33 – Configuração do IP Load

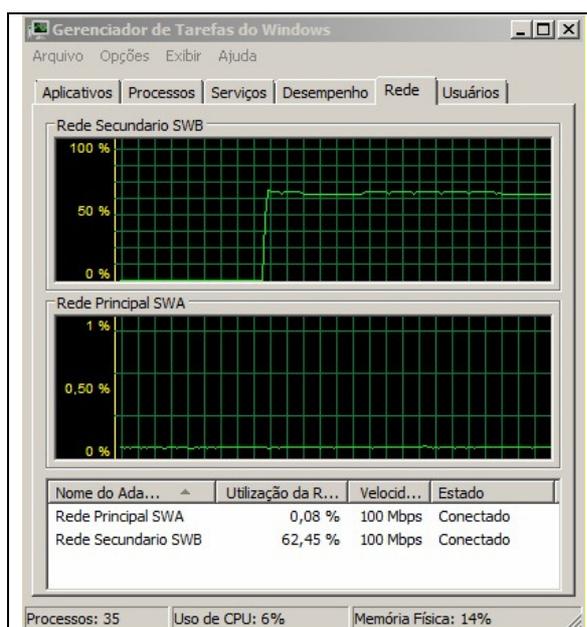


FIGURA 34 – Task Manager do Windows comprovando o carregamento

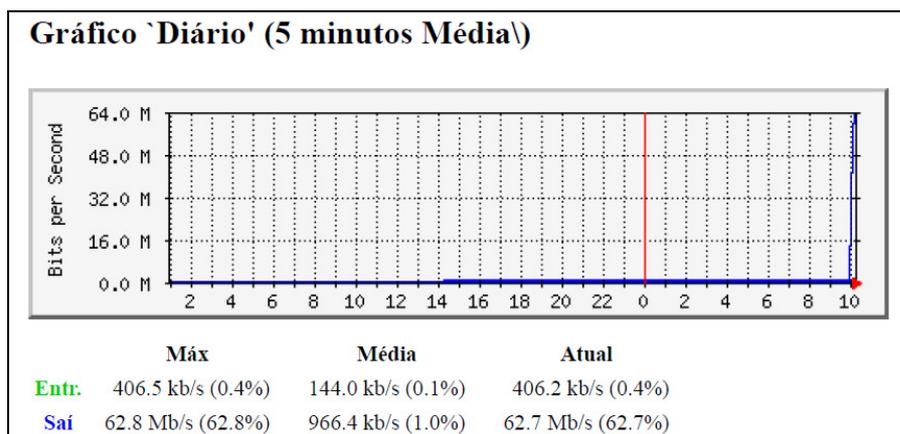


FIGURA 35 – Carregamento de rede evidenciado com o MRTG

No gráfico acima o eixo cartesiano representam o período do dia em horas, e o eixo da abscissa a carga de processamento de dados da interface, em bits por segundo.

Na Figura 35 acima, foi monitorada novamente a interface C5 do switch 1, onde está conectado o IED do CUB 10 do PN-03010, que vai receber as mensagens GOOSE prioritárias e o carregamento do IP Load. Nesse gráfico pode-se verificar que a porta de saída TX está enviando, em média, 62,8 Mbps, 62,8% da capacidade de processamento da porta, para o dispositivo conectado, e que recebe em sua porta RX, em média 144,0 kbps. Lembrando que a velocidade da porta é de 100 Mbps.

Posteriormente foi monitorada, através, da lista de eventos dos IEDs envolvidos, uma mensagem GOOSE prioritária, mostrada nas figuras 36 e 37.

Event Number	Date/Time	Cause
22	Aug 17 2011 10:27:08.602229	Rem O/P UserSt 15 Off
21	Aug 17 2011 10:26:58.598342	Rem O/P UserSt 15 On
20	Aug 17 2011 10:26:48.596538	Rem O/P UserSt 15 Off
19	Aug 17 2011 10:26:38.594733	Rem O/P UserSt 15 On
18	Aug 17 2011 10:26:28.590843	Rem O/P UserSt 15 Off
17	Aug 17 2011 10:26:18.586956	Rem O/P UserSt 15 On
16	Aug 17 2011 10:26:08.585150	Rem O/P UserSt 15 Off
15	Aug 17 2011 10:25:58.583345	Rem O/P UserSt 15 On
14	Aug 17 2011 10:25:48.579457	Rem O/P UserSt 15 Off
13	Aug 17 2011 10:25:38.577650	Rem O/P UserSt 15 On
12	Aug 17 2011 10:25:28.575845	Rem O/P UserSt 15 Off
11	Aug 17 2011 10:25:18.571957	Rem O/P UserSt 15 On
10	Aug 17 2011 10:25:08.568068	Rem O/P UserSt 15 Off
9	Aug 17 2011 10:24:58.566267	Rem O/P UserSt 15 On
8	Aug 17 2011 10:24:48.564458	Rem O/P UserSt 15 Off
7	Aug 17 2011 10:24:38.560568	Rem O/P UserSt 15 On
6	Aug 17 2011 10:24:28.558764	Rem O/P UserSt 15 Off
5	Aug 17 2011 10:24:18.556959	Rem O/P UserSt 15 On
4	Aug 17 2011 10:24:08.553070	Rem O/P UserSt 15 Off
3	Aug 17 2011 10:23:58.549182	Rem O/P UserSt 15 On
2	Aug 17 2011 10:23:48.547377	Rem O/P UserSt 15 Off

FIGURA 36 - Mensagens do IED publicador IED CUB.5 PN-0301

Event Number	Date/Time	Cause
22	Aug 17 2011 10:27:08.602331	TESTE GOOSE Off
21	Aug 17 2011 10:26:58.599399	TESTE GOOSE On
20	Aug 17 2011 10:26:48.598104	TESTE GOOSE Off
19	Aug 17 2011 10:26:38.595487	TESTE GOOSE On
18	Aug 17 2011 10:26:28.591242	TESTE GOOSE Off
17	Aug 17 2011 10:26:18.587791	TESTE GOOSE On
16	Aug 17 2011 10:26:08.586461	TESTE GOOSE Off
15	Aug 17 2011 10:25:58.584678	TESTE GOOSE On
14	Aug 17 2011 10:25:48.581021	TESTE GOOSE Off
13	Aug 17 2011 10:25:38.577681	TESTE GOOSE On
12	Aug 17 2011 10:25:28.576846	TESTE GOOSE Off
11	Aug 17 2011 10:25:18.573322	TESTE GOOSE On
10	Aug 17 2011 10:25:08.569218	TESTE GOOSE Off
9	Aug 17 2011 10:24:58.567079	TESTE GOOSE On
8	Aug 17 2011 10:24:48.565344	TESTE GOOSE Off
7	Aug 17 2011 10:24:38.560493	TESTE GOOSE On
6	Aug 17 2011 10:24:28.560325	TESTE GOOSE Off
5	Aug 17 2011 10:24:18.558175	TESTE GOOSE On
4	Aug 17 2011 10:24:08.553487	TESTE GOOSE Off
3	Aug 17 2011 10:23:58.550610	TESTE GOOSE On
2	Aug 17 2011 10:23:48.547662	TESTE GOOSE Off

FIGURA 37 - Mensagens do IED assinante IED CUB.10 PN-03010

A Tabela 6 apresenta o cálculo da diferença do tempo de transferência entre das mensagens GOOSE prioritárias.

TABELA 6 - Tempo de transferência com carregamento da rede

EVENT	ENVIO	RECEPÇÃO	DIFERENÇA (us)
1	10:23:48.547377	10:23:48.547662	285
2	10:23:58.549182	10:23:58.550610	1428
3	10:24:08.553070	10:24:08.553487	417
4	10:24:18.556959	10:24:18.558175	1216
5	10:24:28.558764	10:24:28.560325	1561
6	10:24:38.560493	10:24:38.560568	75
7	10:24:48.564458	10:24:48.565344	886
8	10:24:58.566267	10:24:58.567079	812
9	10:25:08.568068	10:25:08.569218	1150
10	10:25:18.571957	10:25:18.573322	1365
11	10:25:28.575845	10:25:28.576846	1001
12	10:25:38.577650	10:25:38.577681	31
13	10:25:48.579457	10:25:48.581021	1564
14	10:25:58.583345	10:25:58.584678	1333
15	10:26:08.585150	10:26:08.586461	1311
16	10:26:18.586956	10:26:18.587791	835
17	10:26:28.590843	10:26:28.591242	399
18	10:26:38.594733	10:26:38.595487	754
19	10:26:48.596538	10:26:48.598104	1566
20	10:26:58.598342	10:26:58.599399	1057
Média			952,3

A diferença de tempo entre o envio e o recebimento das 20 mensagens monitoradas, é mostrado no gráfico 2, bem como a média de tempo de transferência.

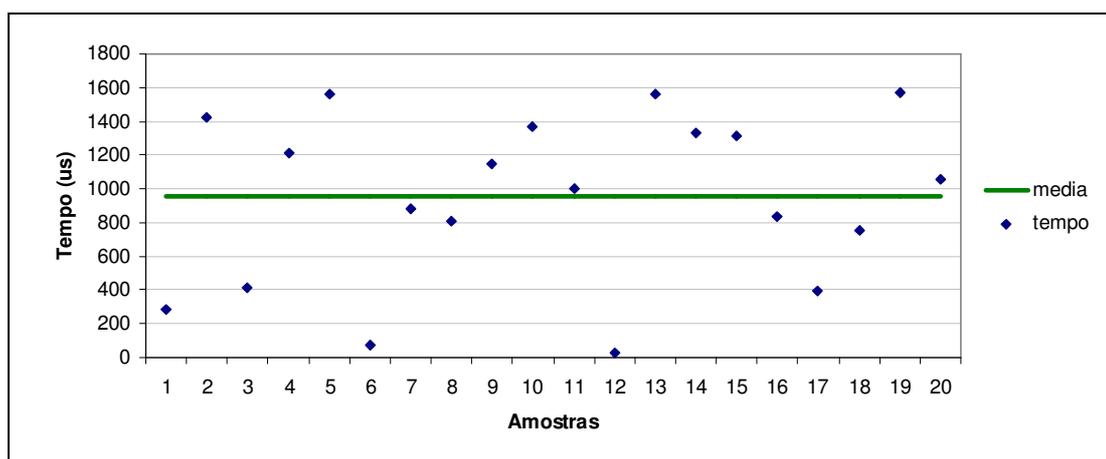


GRÁFICO 2 - Tempo de transferência de mensagem com carregamento.

O gráfico acima mostra a dispersão nas diferenças de transferência de tempo das mensagens GOOSE e uma média de 952,3 μ s. Pela norma IEC 61850 o tempo máximo é de 10ms.

7.4. RESUMO DOS RESULTADOS DE DESEMPENHO DE REDE

TABELA 7 – Resultado do desempenho de rede

	Sem Carregamento	Com Carregamento
Desempenho (μ s)	572,15	952,43

Verifica-se, pelos resultados da Tabela 7 acima, que a defasagem na transferência de tempo entre as mensagens GOOSE, da rede carregada em relação à rede normal foi de 66,47%, porém longe do limite de tempo máximo da norma IEC 61850 que é de 10ms. As mensagens GOOSE ainda poderiam ter um acréscimo de 949,45% que ainda assim estariam aprovadas pela norma.

7.5. TESTES DE VLAN

Conforme descrito no item 6, são apresentados os resultados da análise de VLAN na rede de dados de automação IEC61850 da subestação C-3.

Para o correto funcionamento das VLANs foram habilitadas nas funções de GOOSE fixo, Figura 38 e GOOSE configurável, Figura 39, dos IED's de entrada do painel 13,8KV PN-03010 da C-3, com a identificação das VLAN ID, e parametrizadas conforme lista de endereços de rede / VLAN LI-5210.00-5140-700-TFU-001.

As mensagens que devem pertencer à subestação C-3 em questão, têm seu ID igual a 4 e as mensagens de transferência entre esta subestação e a subestação C-17 têm seu ID igual a 14.

A transferência de mensagens GOOSE entre a C-3 e C-17 faz-se necessário para que o relé de proteção do disjuntor do cubículo alimentador do painel PN-03010, presente nos painéis PN-17010A / C de 13,8KV, recebam as mensagens de proteção 68 e 50BF e que o relé de proteção da C-17 envie o comando 94TT para o relé da C-3.



FIGURA 38 - Configuração do *Fixed GOOSE* do IED CUB11 do PN-03010

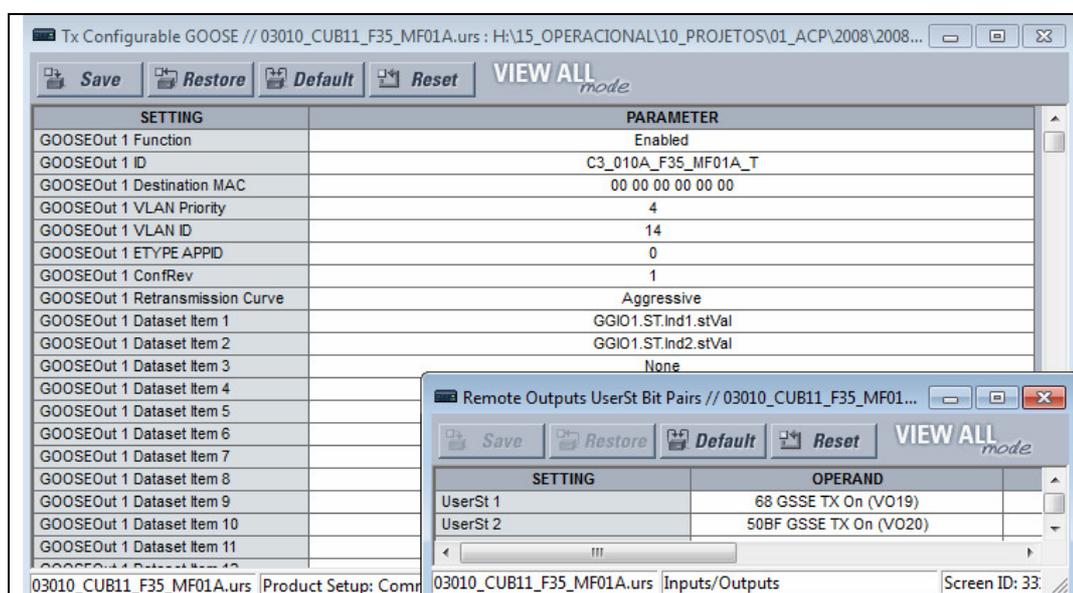


FIGURA 39 - Configuração do *Configurable GOOSE* do IED CUB11 do PN-03010

7.5.1. Análise na VLAN Interna da C-3

Conforme descrito no item 8, verifica-se, com o software analisador de protocolo, Wireshark a presença das mensagens com VLAN ID = 4 e 14, que são os *GOOSEs* “C3_010A_F35_MF01A” e “C3_010A_F35_MF01A_T” respectivamente.

Utilizou-se a porta C6 do Switch 9 para captura.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
14	0.231180	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
96	1.231029	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
175	2.230879	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
256	3.230726	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
335	4.230683	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
417	5.230612	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
500	6.230558	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
581	7.230471	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
658	8.230332	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
740	9.230136	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
819	10.230058	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	
904	11.230027	Ge_01:b2:c1	Ge_01:b2:c1	GOOSE	

Frame 175: 183 bytes on wire (1464 bits), 183 bytes captured (1464 bits)

Ethernet II, Src: Ge_01:b2:c1 (00:a0:f4:01:b2:c1), Dst: Ge_01:b2:c1 (01:a0:f4:01:b2:c1)

Destination: Ge_01:b2:c1 (01:a0:f4:01:b2:c1)

Source: Ge_01:b2:c1 (00:a0:f4:01:b2:c1)

Type: IEC 61850/GOOSE (0x88b8)

GOOSE

APPID: 0x0000 (0)

Length: 169

Reserved 1: 0x0000 (0)

Reserved 2: 0x0000 (0)

goosePdu

```

0000 01 a0 f4 01 b2 c1 00 a0 f4 01 b2 c1 88 b8 00 00 .....
0010 00 a9 00 00 00 00 61 81 9e 80 24 43 31 37 52 31 .....a..$c17R1
0020 37 30 31 30 42 43 35 43 31 37 52 31 37 30 31 30 7010Bc5c 17R17010

```

FIGURA 40 - Captura de mensagens com VLAN ID=4 no anel interno

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
17	0.266399	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
99	1.266378	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
178	2.266325	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
259	3.266295	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
338	4.266244	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
421	5.266217	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
503	6.266176	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
584	7.266124	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
661	8.266101	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
743	9.266019	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
822	10.266022	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	
907	11.265966	Ge_01:b2:eb	Ge_01:b2:eb	GOOSE	

Frame 178: 183 bytes on wire (1464 bits), 183 bytes captured (1464 bits)

Ethernet II, Src: Ge_01:b2:eb (00:a0:f4:01:b2:eb), Dst: Ge_01:b2:eb (01:a0:f4:01:b2:eb)

Destination: Ge_01:b2:eb (01:a0:f4:01:b2:eb)

Source: Ge_01:b2:eb (00:a0:f4:01:b2:eb)

Type: IEC 61850/GOOSE (0x88b8)

GOOSE

APPID: 0x0000 (0)

Length: 169

Reserved 1: 0x0000 (0)

Reserved 2: 0x0000 (0)

goosePdu

```

0000 01 a0 f4 01 b2 eb 00 a0 f4 01 b2 eb 88 b8 00 00 .....
0010 00 a9 00 00 00 00 61 81 9e 80 24 43 31 37 52 31 .....a..$c17R1
0020 37 30 31 30 41 43 38 43 31 37 52 31 37 30 31 30 7010Ac8c 17R17010

```

FIGURA 41 - Captura de mensagens com VLAN ID=14 no anel interno

7.5.2. Análise da VLAN de Transferência

Conforme descrito no item 6.4, verifica-se, com o software analisador de protocolo, Wireshark a presença da mensagem com VLAN ID = 14, que é o *GOOSE* “C3_010A_F35_MF01A_T”.

Para verificação da presença da mensagem com o VLAN ID = 14 na porta de saída D1 do Switch 5, utilizou-se o recurso de *mirror port* disponível no switch.

Dessa forma pode-se monitorar o tráfego da conexão C-3 / C-17 sem a necessidade de desconectar a fibra da porta D1 e conseqüentemente a perda de comunicação com a C-17.

Utilizou-se a porta C6, com espelho da D1, do Switch 5 para captura.

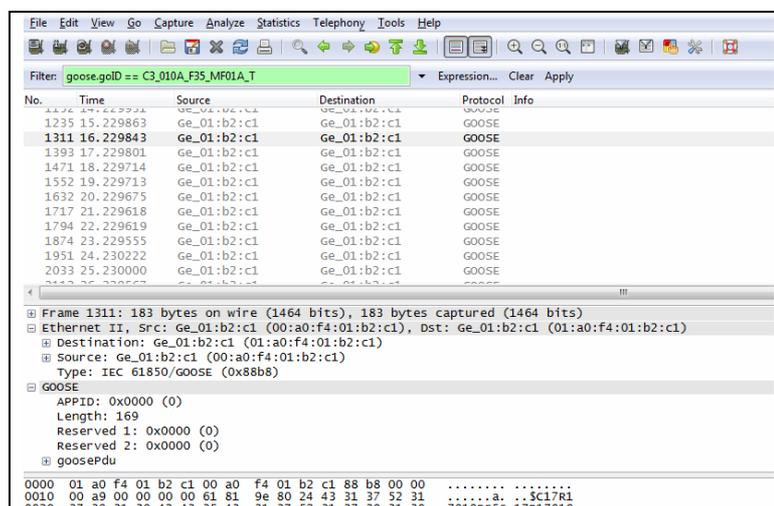


FIGURA 42 - Captura de mensagens com VLAN ID=14 fora do anel

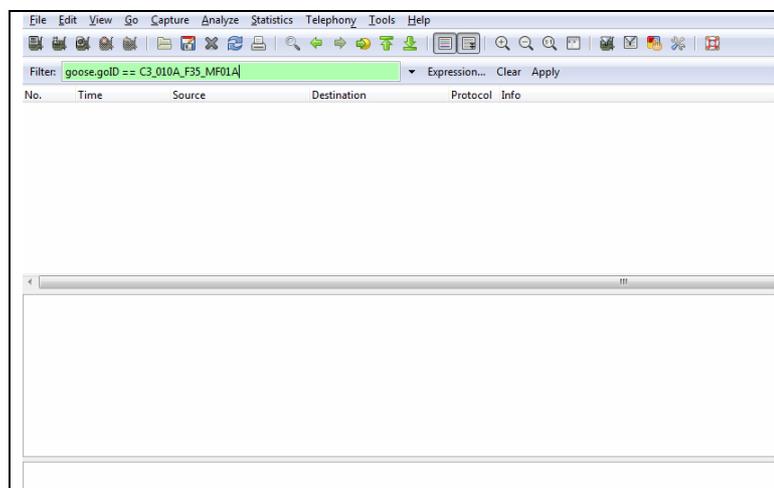


FIGURA 43 - Captura de mensagens com VLAN ID=4 fora do anel

7.6. RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE VLAN

	VLAN ID 4	VLAN ID 14
INTERNO AO ANEL C-3	PRESENTE	PRESENTE
EXTERNO AO ANEL C-3	AUSENTE	PRESENTE

QUADRO 6 – Resultado da análise de VLAN

Verifica-se, pelos resultados do Quadro 6, que a análise das VLANs apresentou-se conforme o esperado, ou seja, as mensagens “C3_010A_F35_MF01A” da VLAN ID=4 não estavam presentes na parte externa do anel e as mensagens “C3_010A_F35_MF01A_T” da VLAN ID=14, estavam, comprovando assim a eficiência da configuração das VLANs para essa subestação.

8. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, no teste de desempenho de rede, conclui-se que o carregamento efetivo da rede utilizando o software IP Load influenciou muito pouco no tempo de transferência entre as mensagens GOOSE prioritárias. Embora, no período amostral analisado, os tempos de transferência de mensagem foram um pouco maiores para rede carregada (952,43 μ s), em relação à rede com tráfego normal (572,15 μ s), o acréscimo de 66,47%, só vem confirmar que a tecnologia escolhida, com portas de transmissão full duplex, com taxa de colisão zero, mantém a eficiência de entrega de mensagens ainda que a rede esteja com carregamento efetivo de 64%. A alta eficiência da rede construída traz uma segurança maior, pois as mensagens avaliadas poderiam ter uma defasagem de tempo de até 10ms, ou seja, em comparação com o tempo obtido de 952,43 μ s, mesmo com o carregamento de 64% da rede, as mensagens GOOSE poderiam sofrer um acréscimo de 949,95% no tempo de defasagem, que ainda assim estariam aprovadas pela norma.

A maior contribuição, para que a rede continue eficiente, vem da ativação da função de prioridade nos cabeçalhos das mensagens GOOSE. Essa função permitiu que as mensagens fossem priorizadas no processamento das placas de rede nos switches e relés. Isso faz com que seja criado um canal virtual para as mensagens priorizadas, mantendo a fila de processamento muito menor do que aquela das mensagens sem priorização. O resultado disso foi provado nos testes de rede real, visto que as mensagens GOOSE não obtiveram uma degradação significativa no seu processamento. Essa configuração garante a disponibilidade da rede para o processamento de mensagens GOOSE e por fim a aprovação perante à norma IEC 61850.

Quanto às análises das mensagens perante às VLANs o resultado obtido foi realmente o esperado. Obteve-se o isolamento de mensagens identificadas para permanecer internas ao anel da C-3, provado através de analisador de protocolo, e com isso evitou-se a transmissão de mensagens indesejadas para outras partes da rede onde elas não teriam necessidade.

Esse trabalho focou na avaliação da defasagem de transferência de tempo para as mensagens de proteção do tipo 1 e 1A perante ao carregamento de rede.

Fica a recomendação para trabalhos futuros de verificar a eficiência das mensagens do tipo 2, 3, 4, 5, 6 e 7, que envolvem o servidor de dados OPC para uma completa referência de desempenho de um sistema de automação de dados de uma subestação implementado através da norma IEC 61850.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTECHE, D. **DE-5210.00-5140-700-TFU-001 – Arquitetura do sistema de proteção e automação elétrica**. Rev. 0E. Cubatão, RPBC – Refinaria Presidente Bernardes, 2010.

BRAND; P. ETER, K. H, **ow to use IEC 61850 in protection and automation**. Electra-Cigre, October 2005.

BTTSOFTWARE. **Programa IP Load, version 1.2**. 1999. Disponível *Freeware* em <http://www.bttsoftware.co.uk/ipload.html>. Acessado em Setembro, 2011

COMER, Douglas. **Redes de computadores e Internet: abrange transmissão de dados, ligação inter-redes e WEB**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 522 p.

GURJÃO, E. C; CARMO, U. A; SOUZA, B. A. **Aspectos de comunicação da norma IEC 61850**. Florianópolis: 2007.

JCC Projectus; RICARDO. **ET-5210.00-5140-700-JCC-001-Sistema digital de proteção e automação elétrica baseado em redes de IED's e em protocolo IEC61850**. Rev A. Cubatão, RPBC – Refinaria Presidente Bernardes, 2005.

FIBERSUL. **Catálogo de produtos linha óptica**. 2010.

GE. **Multilink ML2400 Ethernet communications switch – instruction manual**. Ge Multilin Manual P/N: 1601-0220-AB, 2008.

GE. **F35 Multiple feeder protection system – UR series instruction manual**. Ge Multilin Manual P/N: 1601-0106-w1, 2011.

HAFFERMANN, L. **Segmentação de redes com VLAN**. 2009. Monografia (Especialização em Redes e Segurança de Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2009.

IEC61850-5. **Communication networks and systems in substations – Part 5:** Communication requirements for functions and device models, 2003, 138p

IEC 61850-8-1. **Communication networks and systems in substations – Part 8-1:** Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3, 2004, 140p.

IEC 61850-9-1. **Communication networks and systems in substations – Part 9-1:** Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over serial unidirectional multidrop point to point link, 2003, 36p.

ROSS, K. W.; KUROSE, J. F. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Nova Abordagem**. 3. ed. São Paulo: Pearson do Brasil, 2005.

RECH FILHO, A. **Redes de computadores e protocolos de comunicação**. Notas de Aula. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

SOUTO A. O. **Automação de Subestações Industriais**. ABM Brasil, 28 mai, 2007. Disponível em: <<http://www.abmbrasil.com.br/materias/download/811201.pdf>>. Acessado em: 30 ago. 2011.

TANEMBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

WILLE, E. C. G. **Introdução à comunicação de dados**. Notas de Aula. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Eletrônica, 2010.

YASSIN, N. **Métodos Quatitativos e Estatísticos para a Tomada de Decisão**. Universidade de Goiás, Santa Helena de Goiás, 2008.

APÊNDICE 1 – PROTOCOLO TCP/IP

A tecnologia inter-rede se tornou uma das idéias mais importantes na área moderna de redes. A maioria das grandes organizações utiliza inter-redes como meio de comunicação entre computadores. As inter-redes e o protocolo TCP/IP possibilitaram a Internet.

Os pesquisadores desenvolveram o protocolo de comunicação TCP/IP com 5 camadas. O modelo de camadas do TCP/IP é também chamado de modelo de camadas inter-redes e é representado na Figura 44, como segue:

Aplicativo	Camada 5
Transporte	Camada 4
Rede	Camada 3
Enlace	Camada 2
Físico	Camada 1

FIGURA 44 – As cinco camadas modelo de referência TCP/IP

Fonte: Comer (2001)

Camada 1 – Físico

A camada 1 corresponde ao hardware de rede básico.

Camada 2 – Enlace

Os protocolos da camada 2 especificam como organizar dados em quadros e como um computador transmite quadros através da Internet.

Camada 3 – Rede

Os protocolos da camada 3 especificam o formato dos pacotes enviados através da Internet como também os mecanismos usados para encaminhar pacotes a partir de um computador até um destino final.

Camada 4 – Transporte

Os protocolos da camada 4 especificam como assegurar transferência confiável.

Camada 5 – Aplicação

Os protocolos da camada 5 especificam como um aplicativo usa uma inter-rede.

Os protocolos de comunicação TCP/IP possibilitam que qualquer host se comunique, apesar das diferenças de hardware. Podemos ter um servidor com uma CPU “lenta” e outra “rápida” que a comunicação estará estabelecida com o protocolo TCP/IP.

Para fornecer um endereçamento uniforme em uma inter-rede, o *software* de protocolo define um esquema de endereçamento abstrato que atribui a cada host um endereço único. Usuários, programas e aplicativos e camadas mais altas de *software* de protocolo usam os endereços abstratos para se comunicar.

Na pilha de protocolos TCP/IP, o endereçamento é especificado pelo *protocolo de internet (IP)*. O padrão IP especifica que cada host é atribuído um número de 32 bits único. Cada pacote enviado através da Internet contém o endereço de IP de 32 bits do remetente como também do receptor pretendido (destino). Deste modo sempre é necessário saber o endereço de IP do computador remoto para o qual as informações estão sendo enviadas (COMER, 2001).

Conceitualmente cada endereço de IP de 32 bits é dividido em duas partes: prefixo e sufixo: a hierarquia é projetada para fazer uso eficiente do roteamento. O prefixo do endereço identifica a rede física, enquanto o sufixo identifica um computador individual naquela rede. Em uma mesma rede não é possível ter dois computadores com o mesmo sufixo.

Atualmente a Internet possui 5 classes de endereço de IP como pode-se ver na figura 38.

Bits	0	1	2	3	4	8	16	24	31				
Classe A	0	Prefixo					Sufixo						
Classe B	1	0	Prefixo					Sufixo					
Classe C	1	1	0	Prefixo					Sufixo				
Classe D	1	1	1	0	Endereço Multicast								
Classe E	1	1	1	1	Reservado para uso Futuro								

FIGURA 45 - As cinco classe de endereço de IP.

Fonte: Comer (2001)

As classes A, B e C são chamadas de classes primárias porque são usadas para endereços de hosts. A classe D é usada para *multicasting*, que permite a entrega a um conjunto de computadores.

Os endereços de IP de 32 bits são representados para o usuário através de uma nomenclatura chamada notação decimal pontilhada como representado na figura 39 a seguir:

Número Binário de 32 bits	Notação Decimal Pontilhada Equivalente
10000001 00110100 00000110 00000000	129.52.6.0
11000000 00000101 00110000 00000011	192.5.48.3
00001010 00000010 00000000 00100101	10.2.0.37
10000000 00001010 00000010 00000011	128.10.2.3
10000000 10000000 11111111 00000000	128.128.255.0

FIGURA 46 - Exemplo número de IP

Fonte: Comer (2001)

APÊNDICE 2 – CONFIGURANDO OS SWITCHS

O switches são os principais equipamentos de rede na constituição do projeto da RPBC. As redes locais nas subestações só dependem deles para encaminhar as mensagens aos dispositivos corretos. Dentro desse apêndice é mostrado como configurar esses dispositivos para uma correta aplicação das VLANs e também mostrar a interface do switch.

Os switches da GE, linha multilink ML-2400 permitem a programação via linha de comando, com conexão serial via console, e também via interface gráfica, web.

A interface gráfica, Figura 47, permite verificar as características de cada porta do switch.

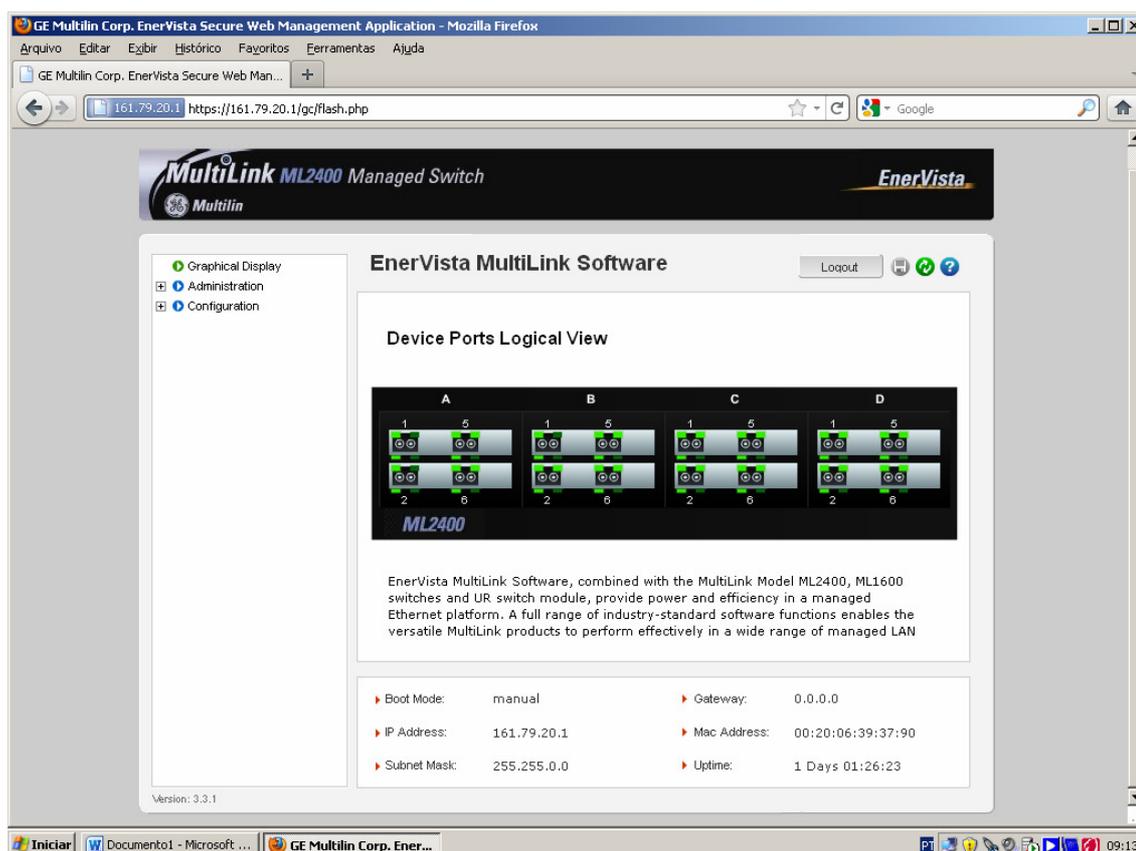


FIGURA 47 – Interface gráfica do switch via web

A interface gráfica para configuração do switch está dividida em duas partes principais, como mostra a Figura 48. A tela da esquerda mostra todas as funções que podem ser parametrizadas no switch e a tela da direita a interface de configuração da função escolhida.

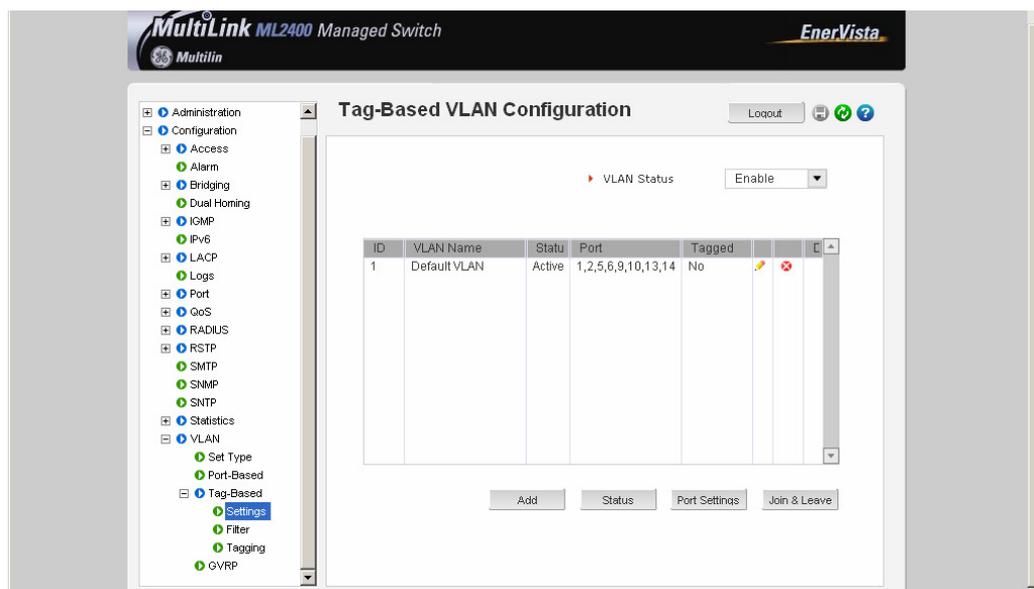


FIGURA 48 – Layout da interface gráfica.

Como mencionado no item 6.5 sobre as VLANs pode-se configurar as portas do switch sob dois tipos. VLAN tipo porta e VLAN tipo TAG. A seguir, como mostrado nas Figuras 49 a , configuram-se as VLANs tipo TAG.

Primeiro, na opção TAG-Based > Settings, no Botão Add, são cadastradas todas as VLANs envolvidas para aquele switch.

Posteriormente, no botão, Port Settings são “taggeadas” todas as VLANs associadas às portas.

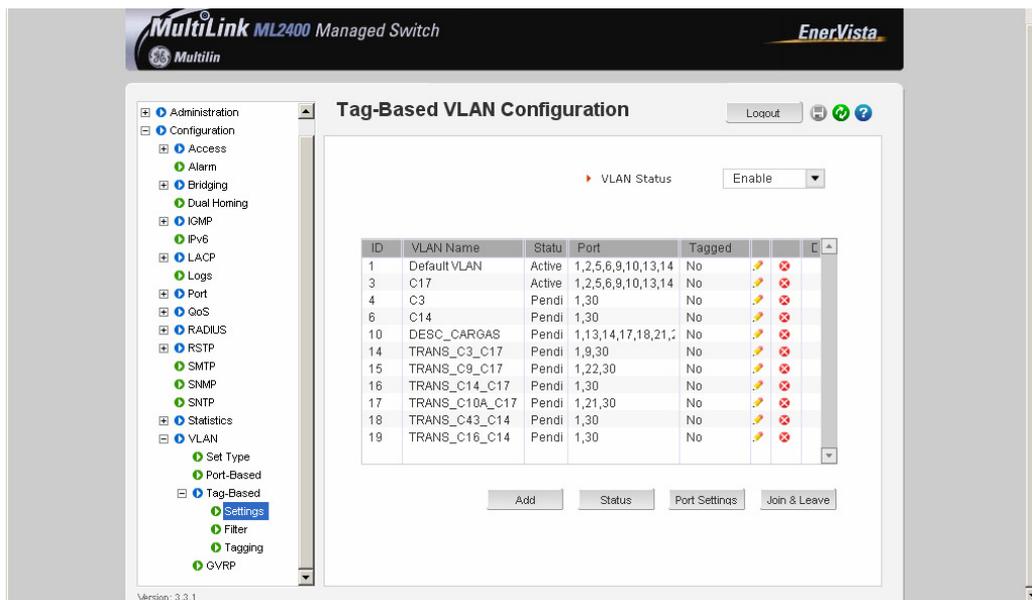


FIGURA 49 – VLAN Tag-Based cadastrando VLANS

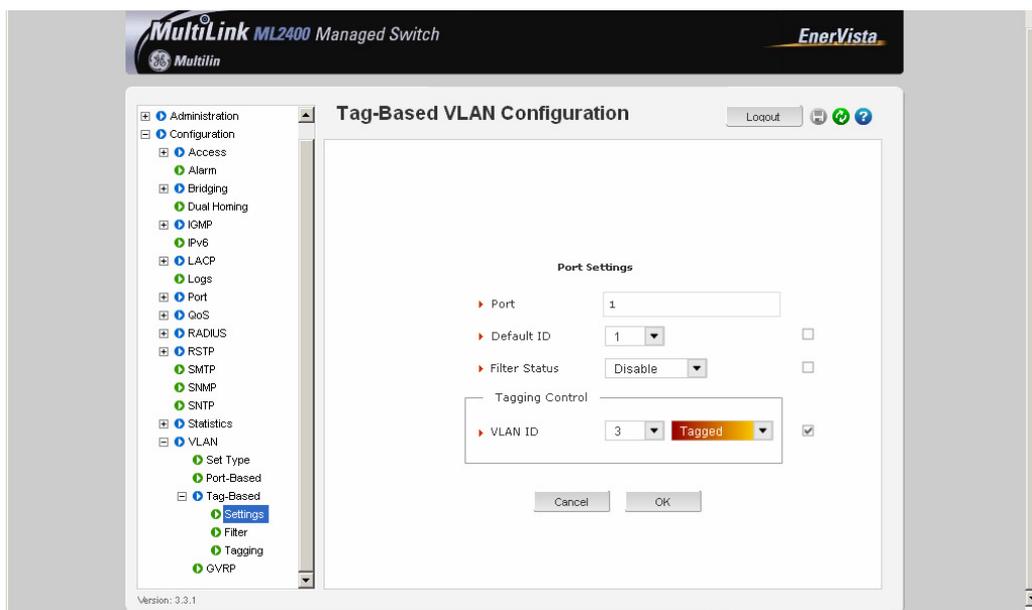


FIGURA 50 – “taggeando” VLANS

MultiLink ML2400 Managed Switch EnerVista

Administration Configuration

- Access
- Alarm
- Bridging
- Dual Homing
- IGMP
- IPv6
- LACP
- Logs
- Port
- QoS
- RADIUS
- RSTP
- SMTP
- SNMP
- SNTP
- Statistics
- VLAN
 - Set Type
 - Port-Based
 - Tag-Based
 - Settings
 - Filter
 - Tagging
 - GVRP

Tag-Based VLAN Configuration

Logout

Tagging Information

Port: All

Port	VLAN ID	Status	Tagging
1	3	Active	Tagged
1	4	Active	Tagged
1	6	Active	Tagged
1	10	Active	Tagged
1	14	Active	Tagged
1	15	Active	Tagged
1	16	Active	Tagged
1	17	Active	Tagged
1	18	Active	Tagged
1	19	Active	Tagged
30	3	Active	Tagged
30	4	Active	Tagged
30	6	Active	Tagged
30	14	Active	Tagged

Version: 3.3.1

FIGURA 51 – Painel *tagging* VLANS

ANEXO A – EXEMPLOS DE NÓS LÓGICOS DE PROTEÇÃO

11.1 Logical Nodes for protection functions

11.1.1 Protection

Logical Node	IEC 61850	IEEE C37.2-1996	Description or comments
Transient earthfault protection	PTEF		Transient earth faults happen if there is a fault to ground (isolation breakdown) in compensated networks. The fault disappears very fast since there is not sufficient current to feed it. No trip happens but the fault direction/location has to be detected to repair the faulted part. At least the degradation of the impacted line/cable is reported.
Zero speed and underspeed protection	PZSU	14	An underspeed device is a device that functions when the speed of a machine falls below a pre-determined value.
Distance protection	PDIS	21	A distance relay is a relay that functions when the circuit admittance, impedance, or reactance increases or decreases beyond a predetermined value. The change of the impedance seen by PDIS is caused by a fault. The impedance characteristic is a closed line set in the complex impedance plane. The reach of the distance protection is normally split into different zones (for example 1 to 4 forward and 1 backward) represented by dedicated characteristics.
Volt per Hz protection	PVPH	24	Voltage per Hertz relay is a relay that functions when the ratio of voltage to frequency exceeds a preset value. The relay may have an instantaneous or a time characteristic.
(Time) Undervoltage protection	PTUV	27	An undervoltage relay is a relay which operates when its input voltage is less than a predetermined value.
Directional power/reverse power protection	PDPR	32	A directional power relay is a relay which operates on a predetermined value of power flow in a given direction, or upon reverse power flow such as that resulting from the motoring of a generator upon loss of its prime mover.

Nesta lista estão representados alguns dos nós lógicos listados na Norma IEC 61850, os demais nós lógicos podem ser vistos na parte 5 da Norma IEC 61850 da página 26 até 37.

ANEXO B - NORMA ANSI / TIA / EIA – 568 – B

TIA/EIA-568-B.3

Optical Fiber Cabling Components

Optical Fiber Cabling Systems			
Optical Fiber Cabling Media			
<ul style="list-style-type: none"> Horizontal – 62.5/125 or 50/125 μm multimode optical fiber (minimum of two fibers) Backbone – 62.5/125 or 50/125 μm multimode or single-mode optical fiber 			
Cable Transmission Performance Parameters Multimode (Horizontal and Backbone)			
Wavelength (nm)	Maximum Attenuation (dB/km)	50 μm Minimum Bandwidth (MHz/km)	62.5 μm Minimum Bandwidth (MHz/km)
850	3.5	500	160
1,300	1.5	500	500
Cable Transmission Performance Parameters Single-mode (Backbone)			
Wavelength (nm)	Inside Plant Maximum Attenuation (dB/km)	Outside Plant Maximum Attenuation (dB/km)	
1,310	1.0	0.5	
1,550	1.0	0.5	

Optical Fiber Bend Radius	
Fiber Type	Bend Radius
Small Inside Plant Cable (2–4 fibers)	1" (no load)
	2" (with load)
All Other Inside Plant Cable	10 x diameter (no load)
	15 x diameter (with load)
Outside Plant Cable	10 x diameter (no load)
	20 x diameter (with load)

Outside plant cable must be water-blocked and have a minimum pull strength of 600 lbs. (Drop cable pull strength may be 300 lbs.)

Optical Fiber Connector

No specified connector: 568SC and other duplex designs may be used.

Color Identification

- Beige – multimode connector/coupling
- Blue – single-mode connector/coupling

Note: The ISO/IEC standard now specifies the 568SC-type fiber connector in the work area.

Optical Fiber Telecommunications Outlet

Required Features

- Capability to terminate minimum of two fibers into 568SC couplings or other duplex connection
- Means of securing fiber and maintaining minimum bend radius of 25 mm (1")

Optical Fiber Splices, Fusion or Mechanical

- Maximum insertion loss 0.3 dB
- Minimum return loss:
 - Multimode: 20dB
 - Single-mode: 26dB
 - Single-mode: 55dB (analog CATV)

Optical Fiber Connector (mated pair)

- Maximum insertion loss 0.75 dB

Patch Cords

- Shall be dual fiber of the same type as the horizontal and backbone fiber
- Polarity shall be keyed duplex

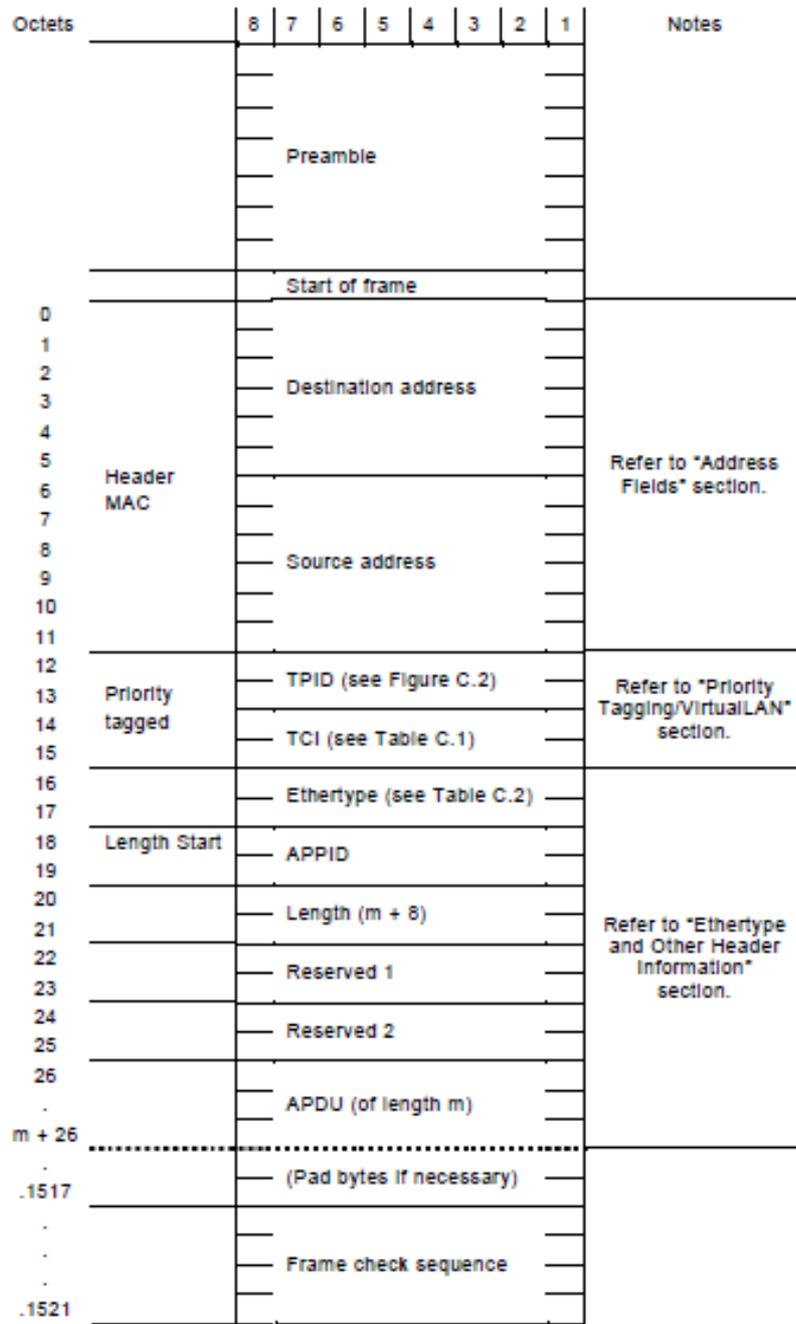
ANEXO C - PARAMETROS DE RETRANSMISSÃO DO GOOSE

SCHEME	SQ NUM	TIME FROM THE EVENT	TIME BETWEEN MESSAGES	COMMENT	TIME ALLOWED TO LIVE IN MESSAGE
Aggressive	0	0 ms	0 ms	Event	2000 ms
	1	4 ms	4 ms	T1	2000 ms
	2	8 ms	4 ms	T1	2000 ms
	3	16 ms	8 ms	T2	Heartbeat * 4, 5
	4	Heartbeat	Heartbeat	T0	Heartbeat * 4, 5
Medium	0	0 ms	0 ms	Event	2000 ms
	1	16 ms	16 ms	T1	2000 ms
	2	32 ms	16 ms	T1	2000 ms
	3	64 ms	32 ms	T2	Heartbeat * 4, 5
	4	Heartbeat	Heartbeat	T0	Heartbeat * 4, 5
Relaxed	0	0 ms	0 ms	Event	2000 ms
	1	100 ms	100 ms	T1	2000 ms
	2	200 ms	100 ms	T1	2000 ms
	3	700 ms	500 ms	T2	Heartbeat * 4, 5
	4	Heartbeat	Heartbeat	T0	Heartbeat * 4, 5
Heartbeat	0	0 ms	0 ms	Event	2000 ms
	1	Heartbeat	Heartbeat	T1	2000 ms
	2	Heartbeat	Heartbeat	T1	2000 ms
	3	Heartbeat	Heartbeat	T2	Heartbeat * 4, 5
	4	Heartbeat	Heartbeat	T0	Heartbeat * 4, 5
	5	Heartbeat	Heartbeat	T0	Heartbeat * 4, 5

The configurable GOOSE feature is recommended for applications that require GOOSE data transfer between UR-series IEDs and devices from other manufacturers. Fixed GOOSE is recommended for applications that require GOOSE data transfer between UR-series IEDs.

Fonte: GE (2011, p. 5-25)

ANEXO D – ISO / IEC 8802-3 Estrutura do Quadro para GOOSE



Fonte: IEC 61850-9-1 (2003, p. 114)

Priority tagging / Virtual LAN

De acordo com a IEEE 802.1Q a prioridade é usada para separar as mensagens de alta prioridade de tráfego, com tempo crítico, para aplicações de proteção relevantes das mensagens de baixa prioridade.

A estrutura do cabeçalho do *tag* é definido na figura 52 abaixo.

FIGURA 52 – Detalhes do Quadro *Priority Tagged*

Octets		8	7	6	5	4	3	2	1
0	TPID	0x8100 (as per 802.1Q)							
1									
2	TCI	User priority			CFI	VID			
3		VID							

Fonte: IEC 61850-9-1, 2003. p 115.

TPID (Tag Protocol Identifier) Field:

Indicates the Ethertype assigned for 802.1Q Ethernet encoded frames. This value shall be 0x8100.

TCI (Tag Control Information) Fields:

User Priority: BS3; user priority value shall be set by configuration to separate sampled values and time critical protection relevant GOOSE messages from low priority busload. If the priority is not configured, then the default values of Table C.1 shall be used.

CFI (Canonical Format Indicator): BS1 [0]; a single bit flag value. For this standard the CGI bit value shall be reset (value = 0).

NOTE 1 If set (value = 1), an Embedded Resource Identification Field (E-RIF) follows the Length/Type field in the ISO/IEC 8802-3 tagged frame.

VID: The use of Virtual LAN support is optional. If this mechanism will be used the VLAN Identifier (VID) shall be set by configuration, if it is not used it shall be set to zero (0).

NOTE 2 As IEEE 802.1Q allows implementation with a restricted set of priorities, the higher priority frames should have a priority of values in the range of 4 to 7 and the lower priority should have a priority of 1 to 3. The value 1 is the priority of untagged frames, thus 0 should be avoided as it may cause unpredictable delay due to normal traffic.

Additionally, since Sampled Values need to have potentially its own bandwidth allocation, its configured VID will be different from GOOSE and GSE.

ANEXO E – DESVIO PADRÃO DAS AMOSTRAS

AMOSTRAS	n	MÉDIA	desvio	QUADRADO do desvio	variância	desvio padrão
1	321	572,15	-251,15	63076,32		
2	391	572,15	-181,15	32815,32		
3	571	572,15	-1,15	1,32		
4	238	572,15	-334,15	111656,22		
5	1675	572,15	1102,85	1216278,12		
6	390	572,15	-182,15	33178,62		
7	208	572,15	-364,15	132605,22		
8	1487	572,15	914,85	836950,52		
9	246	572,15	-326,15	106373,82		
10	1317	572,15	744,85	554801,52		
11	459	572,15	-113,15	12802,92		
12	220	572,15	-352,15	124009,62		
13	305	572,15	-267,15	71369,12		
14	84	572,15	-488,15	238290,42		
15	239	572,15	-333,15	110988,92		
16	394	572,15	-178,15	31737,42		
17	660	572,15	87,85	7717,62		
18	1057	572,15	484,85	235079,52		
19	422	572,15	-150,15	22545,02		
20	759	572,15	186,85	34912,92		
				3977190,55	209325,82	457,52

$$s^2(q) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2$$

amostras ?
nível de confiança de 99% 2,575

n 19,04

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{E} \right)^2$$

Equação 1

Onde:

- n = Número de indivíduos na amostra
- $Z_{\alpha/2}$ = Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado.
- σ = Desvio-padrão populacional da variável estudada (no exemplo, RENDA).
- E = Margem de erro ou ERRO MÁXIMO DE ESTIMATIVA. Identifica a diferença máxima entre a MÉDIA AMOSTRAL (\bar{X}) e a verdadeira MÉDIA POPULACIONAL.

GLOSSÁRIO

802.1Q	padrão de rede criado para otimização de VLANs, a fim de que larguras de banda de transmissão sejam devidamente otimizadas de acordo com os tipos de serviços.
802.1P	é uma tarefa ativa responsável por adicionar classe de tráfego nas PDUs e acelerar a filtragem das mensagens no processamento de rede. Essencialmente, é um mecanismo para implementar o Quality of Service (QoS) no nível da camada física (MAC).
arp	<i>Address Resolution Protocol</i> , é um protocolo que mapeia endereços IP para endereços de rede fixa (MAC).
<i>broadcast</i>	informação que é enviada a toda rede de comunicação
<i>Ethertype</i>	é um campo de pacote <i>Ethernet</i> , que define qual protocolo de camada superior o pacote transporta. O tamanho do campo <i>Ethertype</i> é de dois bytes.
<i>host</i>	computador
IEC 60870-5	norma da IEC que trata de protocolos de telecontrole, teleproteção e sistemas de telecomunicação associados a sistemas elétricos de potência.
IEC 61850	norma da IEC que trata de sistemas de comunicação para automação de subestações
Publicador-assinante	diferentemente da arquitetura cliente-servidor, as mensagens são publicadas em um domínio de multicast ou broadcast e somente as estações interessadas, ou seja, assinantes do serviço, estão habilitadas a receber as mensagens
Relé F35	Relé, IED, de fabricação GE, para proteção de alimentadores
Relé M60	Relé, IED, de fabricação GE, para proteção de motores
Relé T60	Relé, IED, de fabricação GE, para proteção de transformadores
Switch ML-2400	Switch, de fabricação GE, linha Multilin
Switch	é um dispositivo utilizado em redes de computadores para reencaminhar <i>frames</i> entre os diversos nós. Possuem portas, assim como os concentradores (hubs) e a principal diferença entre o comutador e o concentrador é que o comutador segmenta a rede internamente, sendo que a cada porta corresponde um domínio de colisão diferente, o que significa que