

REQUISITOS PARA INTEROPERABILIDADE DE IEDS E SISTEMAS BASEADOS NA NORMA IEC61850

Marcelo E de C Paulino(*) **Iony P. de Siqueira** **Ubiratan A. do Carmo**
ADIMARCO **CHESF** **CHESF**

PALAVRAS-CHAVE

IEC61850, Interoperabilidade, proteção, automação de subestação, redes de comunicação

RESUMO

Esse trabalho aborda os requisitos para interoperabilidade de sistemas, descrevendo pontos da norma IEC61850 que podem definir a interoperabilidade. Mostra que os requisitos que garantem interoperabilidade de um sistema são a conformidade com a norma; a documentação formal da configuração do sistema, a padronização dos requisitos de dados do tipo *private*, definição e projeto da topologia e arquitetura da rede de subestação e de processo, e a validação do sistema através dos testes adequados.

1.0 - INTRODUÇÃO

A norma IEC61850 para redes de comunicação e sistemas de automação permite às empresas considerarem novos projetos de subestações, tanto para as novas subestações, como para expansões ou retrofits. A norma pode ser aplicada em todos os níveis de comunicação, promovendo a cobertura de todo o sistema de automação e controle. Capacita o projetista a adotar inovações que resultam em vantagens significativas nos custos em todas as fases de um projeto. Isto é resultado direto das soluções de comunicação flexíveis implementadas em todos os níveis de integração funcional.

Essa integração não afeta exclusivamente o projeto da subestação, mas afeta quase todos os componentes e sistemas de proteção e controle. Basicamente interfere na conexão entre os componentes, substituindo as interfaces com cabeamento rígido por conexões através de links de comunicação.

A utilização de comunicações de alta velocidade ponto-a-ponto usando mensagens de Eventos Genéricos de Subestação (Generic Substation Event - GSE) e Valores Amostrados (Sample Values – SV) permite, entre outras coisas, o desenvolvimento de aplicações distribuídas.

Podem ser usados componentes de diversas tecnologias na instalação física do sistema, como sensores convencionais ou não convencionais, permitindo a diminuição do uso de cabeamento rígido e sua substituição por links de redes ópticas.

Para implementar essa estrutura de comunicação é necessário se certificar que os componentes do sistema irão atender a requisitos de desempenho específicos. Neste caso, a definição das funções distribuídas tem o importante papel de impor diferentes requisitos de desempenho para diferentes configurações do sistema. Esses requisitos devem ser considerados no processo de concepção do projeto da subestação.

Uma das principais razões para o sucesso da IEC 61850 é que pela primeira vez se introduziu um conjunto de ferramentas que permite o alto desempenho e adaptação nos sistemas de automação de subestação (SAS), baseados na mais recente tecnologia de comunicações e equipamentos multifuncionais de diferentes fornecedores. Esses sistemas de automação e a proteção distribuída não são algo novo, e têm sido tipicamente concebidos e implementados como soluções de um único fornecedor, utilizando-se fiação rígida ou protocolos de comunicação de propriedade do fornecedor do sistema.

Devido à necessidade do uso de novas soluções de comunicações, utilizando mais de um fornecedor, sem perder funcionalidade ou desempenho do sistema, foram desenvolvidos os modelos e serviços para comunicações ponto-a-ponto conhecidos como GOOSE (Eventos Genéricos de Subestação Orientados a Objeto) e transmissão dos SV (Valores Amostrados) no domínio da IEC 61850.

É importante compreender que o objetivo da IEC61850 é garantir a interoperabilidade, ou seja, a capacidade de dois ou mais IEDs do mesmo fornecedor, ou de diferentes fornecedores, de trocar informações e usar essa informação para a execução correta das funções especificadas, mas nem sempre os projetos são dotados de especificações suficientemente detalhadas para garantir a interoperabilidade entre IEDs ou entre sistemas. É necessário que o responsável pelo sistema especifique corretamente o sistema. Esse trabalho aborda o tema, descrevendo pontos da norma que podem definir a interoperabilidade, requisitos necessários em uma especificação, e também aborda os testes para indicação se um sistema é ou não interoperável.

2.0 - O ESTABELECIMENTO DA NORMA IEC61850 E DEFINIÇÕES

A padronização dos protocolos de comunicação em Sistemas digitais de Automação de Subestações resultou na norma IEC61850 quanto a IEC (*International Electrotechnical Engineers*) e o EPRI (*Electric Power Research Institute*), junto com fabricantes de sistemas e proprietários de instalações, concordaram em ter uma única normalização, estabelecendo o modelo de dados e a pilha de protocolos para troca de informações, definindo o padrão de interface da comunicação.

A norma IEC61850 define caminhos para o intercâmbio de dados entre IEDs que pode ser usado de diferentes formas no controle distribuído e aplicações de proteção. Esses caminhos introduzem um novo conceito que requer uma abordagem e tecnologia diferente para serem aplicados aos componentes individuais do SAS.

A norma deixa de lado o uso do relé multifuncional como um elemento único e utiliza o conceito funcional para modelar o sistema e sua comunicação. Para permitir a comunicação pela rede, realizando o mapeamento e configuração de todo o sistema de automação, a norma IEC61850 possui uma abrangência superior a qualquer outra tentativa de criar mecanismos para cobrir as necessidades de operação do SAS, garantindo características como:

- Uso de uma estrutura de dados representando informações específicas (data object). Esses dados são representações de elementos do sistema de potência, como valores de medidas e estados de atuadores;
- Uso de protocolos não-proprietários. Esses protocolos devem ser capazes de realizar a auto-descrição dos dispositivos e permitir a adição de novas funcionalidades;
- Uso de sintaxe padronizada, referindo-se às regras que regem a composição dos textos em uma linguagem formal, e da semântica das informações baseado no uso de dados de objetos comuns no sistema de potência;
- A comunicação baseada no perfil de padrões existentes (IEC/IEEE/ISO/OSI);
- Suportar a implementação de novas tecnologias

Com o novo modelo de dados e a utilização da comunicação via rede, a IEC 61850 realiza a separação das aplicações em três níveis hierárquicos:

- Nível estação: definido pela parte 8-1 da norma, com o mapeamento das camadas de comunicação (TCP/IP), mensagens GOOSE/GSSE (link) e sincronização de tempo (SNTP).
- Nível vão: definido pelo modelo de dados e aplicação das funções do sistema (capítulo 7)
- Nível processo: definido pelo capítulo 9 da norma, com os valores analógicos de tensão e corrente amostrados trafegando pela rede (9-2) e mensagens GOOSE/GSSE (9-1), também com a realização de sincronização de tempo (SNTP).

Vale ressaltar que esta separação ocorre somente para os níveis hierárquicos. Na instalação pode-se ter apenas um link físico onde trafegarão as informações dos barramentos de estação, vão e processo para uma implementação completa da IEC 61850, conforme mostra a figura 1.

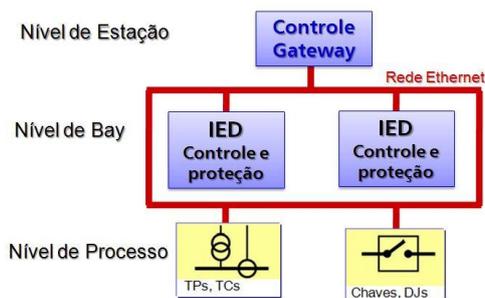


Figura 1 – Barramento de rede único na Subestação.

2.1 Requisitos Gerais da Comunicação em Rede

A parte 3 da norma IEC61850 define os requisitos gerais de comunicação, descrevendo recomendações específicas sobre especificações e normas [1]. A seguir são descritas alguns deles, tais como:

- Os dados transmitidos devem ter sua integridade garantida. O sistema deve prover a detecção de erros na transmissão e a recuperação frente ao congestionamento.
- A falha de um componente não deve impedir a atuação de funções críticas no sistema, ou seja, as funções de proteção devem trabalhar de forma autônoma;
- A norma exige que a falha de um componente da comunicação não deve afetar a capacidade de operação do sistema. Redundância de diferentes níveis pode ser aplicada dependendo dos requisitos de confiabilidade e da filosofia de operação;
- A norma propõe que os dispositivos de comunicação devem suportar os níveis presentes de interferência eletromagnética (EMI) presentes na subestação, além de estabelecer que se devam observar as influências mecânicas, climáticas e elétricas incidentes nas interfaces de comunicação usadas para monitoramento e controle na subestação.

2.2 Requisitos de Comunicação

A parte 5 da norma IEC61850 define os requisitos para comunicação das funções implementadas nos diversos níveis do sistema de automação da subestação e para os modelos dos dispositivos [2]. As funções são estabelecidas e determinadas de acordo com as tarefas a serem executadas na subestação, como monitoramento, controle e proteção dos equipamentos na subestação. E podem ser alocadas nos níveis hierárquicos mostrados na figura 1. A seguir, a figura 2 mostra as interfaces lógicas e os níveis da subestação.

O modelo de dados da IEC61850 especifica automaticamente todos os dados obrigatórios para a descrição dessas funções. Esses dados obrigatórios compõem uma lista mínima de sinais que pode ser controlada com a ajuda de *Logical Nodes*, LN. Em resumo, um nó lógico é a menor parte capaz de trocar informações, ou seja, trata-se do elemento funcional simples que compõe todo sistema de automação, proteção e controle. A descrição dessas funções e a nomenclatura dos nós lógicos podem ser obtidas da parte 7-4 da norma IEC 61850 [3].

Através desta hierarquia funcional são estabelecidos os nós lógicos como funções básicas do SAS. A implementação da função de um fabricante específico não é modificada. Em outras palavras, a função de proteção

é projetada e implementada pelo fabricante do IED. A norma padroniza os dados de configuração, entrada e saída dessa função.

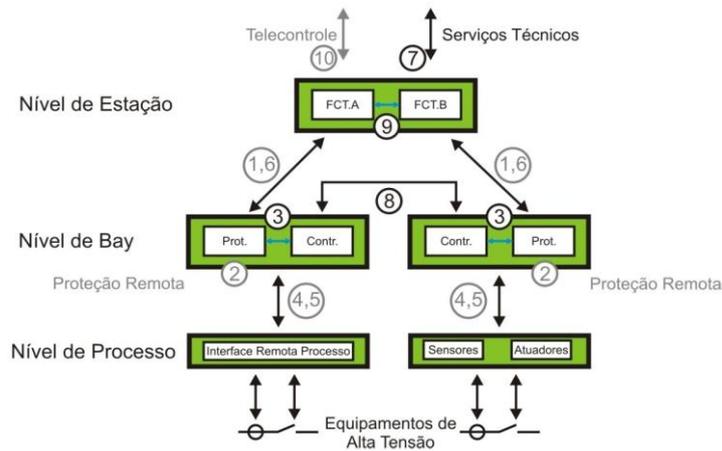


Figura 2 – Interfaces lógicas e os níveis da subestação [2].

A informação é trocada entre os dispositivos que compõem o sistema através das Conexões Lógicas (LC do inglês *Logical Connections*). Mais precisamente, os dados são trocados entre funções e sub-funções residentes nos dispositivos físicos. A menor parte da função que troca informações é chamada de nó lógico. A figura 3 mostra graficamente a separação da função básica com os elementos de comunicação baseados na norma IEC61850.

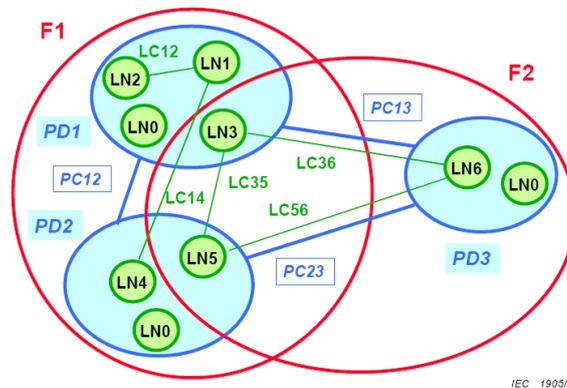


Figura 3 – O conceito de *Logical Node* e *Logical Connection* – links de comunicação entre os elementos funcionais[2].

Os nós lógicos LN estão alocados nas funções F e nos dispositivos físicos (*Physical Devices – PD*), mostrados em azul. Os LN estão conectados através das conexões lógicas LC. Os dispositivos físicos PD estão conectados por conexões físicas (*Physical Connections – PC*). Quaisquer nós lógicos LN são partes de um dispositivo físico PD e quaisquer conexões lógicas LC são partes de uma conexão física PC. Cada dispositivo físico PD possui um nó lógico LN dedicado denominado LN0. Esses nós lógicos são agrupamentos de dados e aplicações relacionadas dentro de uma função lógica do sistema de automação. Os modelos de dados completos, incluindo as regras de extensão e nomes, estão na parte IEC 61850-7-4 e na parte IEC 61850-7-3 [3] [4].

2.3 Linguagem de Configuração de Subestação

A parte 6 da norma IEC 61850 define a configuração da linguagem SCL. Esta habilita a configuração da subestação e possibilita facilmente a especificação da relação da comunicação entre as unidades que compõem o SAS. Possibilita, com a ajuda de testes e ajustes adequados, que novos ajustes possam ser implementados imediatamente no projeto. Um dos principais objetivos do formato da SCL é a uniformização da nomenclatura utilizada através de um modelo único de descrição de dados, criando um vocabulário comum.

Essa modelagem é essencial para integração de aplicações, pois diferenças de modelo implica no uso de dispositivos para tradução e, inevitavelmente, falha de comunicação em um primeiro momento. Uma grande inovação foi a troca de informações entre as ferramentas de engenharia dos IEDs e as ferramentas de engenharia do Sistema. Essas ferramentas são softwares de parametrização dos dados do sistema e ajustes do relé usados em diferentes etapas no estabelecimento do SAS. Vale ressaltar que a troca de informações, numa forma compatível, entre ferramentas de diferentes fabricantes é possível devido a elaboração de arquivos comuns a todos esses fabricantes. A Figura 4 mostra a estrutura da SCL, com a utilização desses arquivos, definida pela norma.

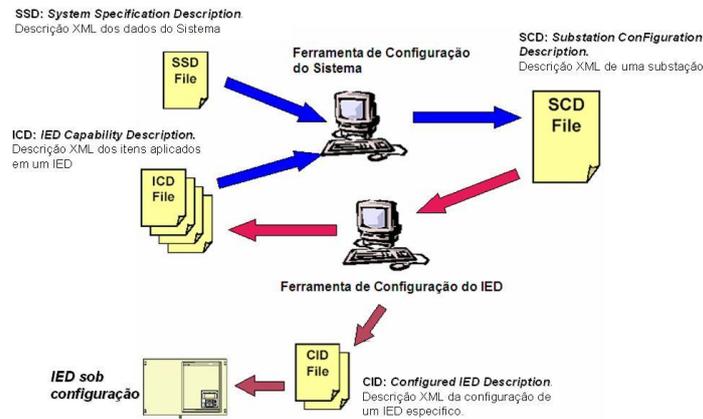


Figura 4 – Estrutura da Linguagem de Configuração da Subestação definido na IEC61850-6 [5]

Assim, o processo de especificação oferece um enorme potencial para racionalização das diferentes praticas existentes na implementação dos projetos utilizando os arquivos descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Arquivos da Linguagem de Configuração da Subestação

Arquivo	Definição
SSD: <i>System Specification Description</i>	Descrição dos dados do Sistema. Descreve o diagrama e a funcionalidade da automação associado aos nós lógicos.
SCD: <i>Substation Configuration Description</i>	Descreve a configuração da subestação incluindo a rede de comunicação e informações sobre o fluxo de dados de comunicação.
ICD: <i>IED Capability Description</i>	A Descrição da Capacidade do IED descreve as capacidades e pré-configurações dos IEDs. Neles estão descritas todas as funções que poderão ser utilizadas no sistema.
CID: <i>Configured IED Description</i>	Descrição da configuração de um IED específico. Neste arquivo estão descritas as funções parametrizadas ou habilitadas pelo usuário no IED.

Todos os arquivos são formatados em XML - *Extensible Markup Language*, definidos pela IEC61850-6 [6]. Isto permite que a descrição da configuração de um IED seja passada a uma ferramenta de engenharia de aplicação e comunicação, no nível de sistema, e retorna com a descrição da configuração do sistema completo para a ferramenta de configuração do IED.

2.4 Modelo de Dados e Modelo de Comunicação da Norma IEC 61850

Para possibilitar a comunicação entre dois sistemas normalmente utiliza-se um conjunto de regras que define o tipo das mensagens e a ordem que elas devem ser trocadas. Esse conjunto de regras é conhecido como um protocolo. 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. O objetivo principal de um protocolo (ou uma pilha de protocolos) é fazer com que sistemas (ou equipamentos) mesmo que tenham arquiteturas internas distintas falem a mesma regra de comunicação e assim consigam trocar informações e se entenderem.

Porém, se não houver um consenso que defina regras básicas que os protocolos de uma determinada aplicação devam seguir, é possível que soluções proprietárias sejam propostas, ou seja, cada fabricante pode definir um protocolo específico para os seus produtos e isso pode impedir a comunicação com equipamentos de outros fabricantes.

Conforme já descrito anteriormente, a norma IEC 61850 especifica o conjunto de funções e protocolos necessários para as funções de um sistema de automação de subestação. O protocolo na norma IEC 61850 define dois modelos: o modelo de dados e o modelo de comunicação. O modelo de dados define funções, os nós lógicos, que modelam as funções de automação e controle de uma subestação que possuem atributos e serviços seguindo a técnica de orientação a objetos.

A norma abandona o paradigma de equipamento físico e especifica funções (LN) que são hospedadas no hardware (IED). O IED pode abrigar diferentes arranjos de nós lógicos. Um agrupamento de nós lógico forma um Dispositivo Lógico (*Logical Device - LD*). A norma utiliza uma estrutura hierárquica para referenciar os dados (atributos) dos nós lógicos. A figura 5 ilustra a estrutura hierárquica do modelo de dados na norma IEC 61850.

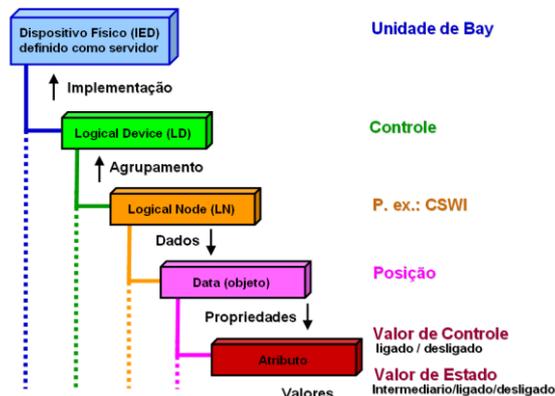


Figura 5 - Estrutura Hierárquica do modelo de dados da norma IEC 61850

Um nó lógico tem vários atributos que são definidos como classes de dados. A norma classificou inicialmente os nós lógicos em 13 grupos e definiu 86 classes de nós lógicos e 355 classes de dados. Novas versões da norma tendem a aumentar esses números.

Tabela 2 – Lista dos Grupos de Nós Lógicos [3]

Grupo Indicador	Grupo dos Logical Nodes	Número de Lógico Nodes
A	Controle Automático	4
C	Controle	5
G	Genéricos	3
I	Interfaceamento e arquivamento	4
L	Nós lógicos do sistema	3
M	Medição	8
P	Funções de proteção	28
R	Nós lógicos relacionados com proteção	10
S	Sensoriamento e monitoração	8
T	Transformadores de Instrumentação	2
X	Chaveamento	2
Y	Transformadores de Potência	4
Z	Equipamentos adicionais do sistema de potência	15

Além disso, a especificação do usuário poderá listar quaisquer dos nós lógicos declarados na norma como também poderá criar novos dados e atributos para eles se solicitados para o sistema de automação subestação em estudo.

O modelo de comunicações da norma IEC 61850 é baseado no conceito de definição abstrata. A interação entre o modelo de dados e modelo de comunicação é realizada pelo a interface dos serviços abstratos de comunicação em inglês *Abstract Communication Service Interface* (ACSI). Para se tornar parte do mundo real deve-se mapear estes serviços sobre um protocolo real. O ACSI é responsável por realizar o mapeamento para os protocolos ISO 9607 (MMS) e IEEE 802.3.

A figura 6 mostra a interface abstrata que descreve a comunicação entre um cliente e um servidor remoto e a interface de comunicação para sistemas cujo tempo de troca de dados é um fator crítico, como funções de proteção.

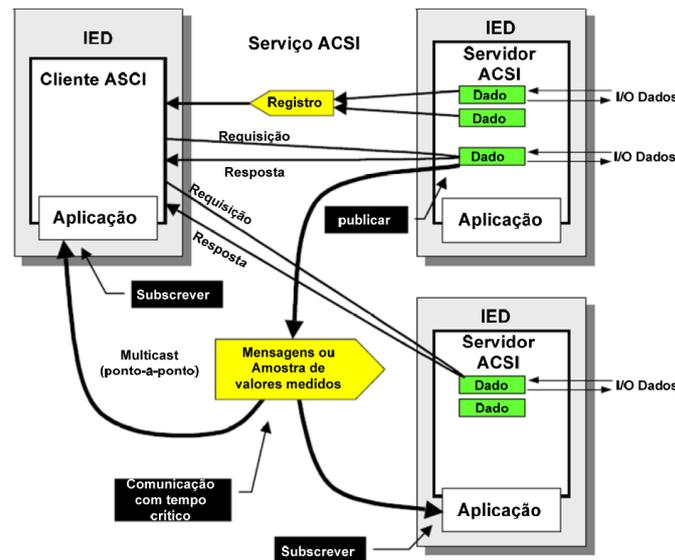


Figura 6 – Interface abstrata que descreve o método de comunicação ACSI [7]

Conforme mostrada na figura 5 deste trabalho, a parte 7-2 da norma expõe os modelos de classe hierárquica que estabelecem domínios específicos de informações. Como exposto anteriormente, as informações produzidas e recebidas pelos domínios específicos estão contidas na descrição do nó lógico correspondente.

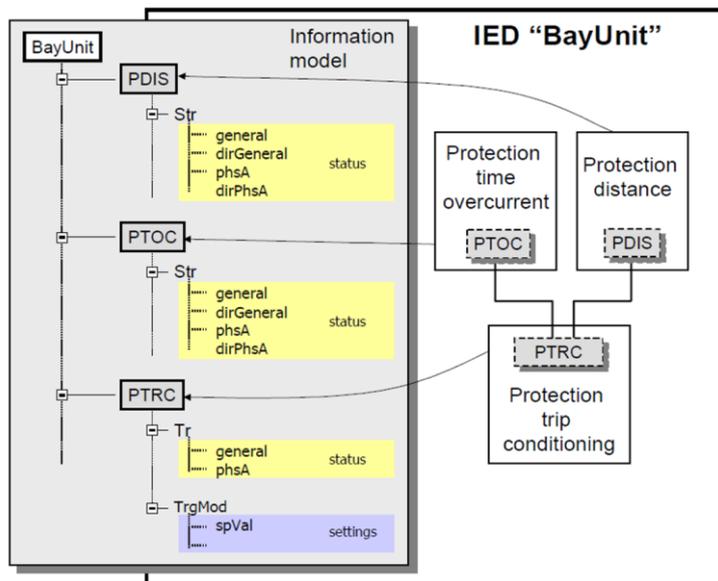
Os dados são referenciados segundo o modelo de orientação objeto mantendo a sua hierarquia iniciada pelo dispositivo físico em um nível superior até alcançar o nível inferior de atributo de dados. A seguinte sintaxe pode referenciar de forma genérica um determinado dado de um nó lógico:

DispositivoFísico.NóLógico.ObjetodeDados.AtributodeDados

A definição dos elementos de dados característica desse nó lógico é feita de acordo com a especificação de uma classe de dados comum (*Common Data Class*: CDC) descrita na parte 7-3 da norma IEC61850 [4]. Cada CDC tem um nome determinado e define o tipo de estrutura de dados, dentro de um nó lógico, como informação de parametrização, controle, estado, etc.

Para exemplificar a modelagem de um nó lógico, a figura 7 mostra um exemplo de uma dispositivo real "BayUnit", com funções de proteção como proteção de distância (Distance protection: **PDIS**), proteção de sobrecorrente (Time Overcurrent: **PTOC**) e disparo condicional (Trip conditioning: **PTRC**).

Os dados do processo destas funções básicas e outros aspectos importantes do dispositivo "BayUnit", são modelados como dados em uma estrutura de árvore. O dado "BayUnit" contém proteção de distância **PDIS**, proteção de sobrecorrente **PTOC** e disparo condicional **PTRC**. A função de proteção de distância contém, por exemplo, o dado de partida (Start: **Str**) com diferentes atributos como geral (general) e o atributo relacionado com a fase A (Phase A: **phsA**).



IEC 952/03

Figura 7 – Exemplo de modelagem [7]

A parte 7-4 da norma IEC61850 explicita os modelos de informação dos dispositivos e funções relacionadas nas aplicações em subestações. O objetivo principal é estabelecer a compatibilidade entre nomes dos nós lógicos e o nome dos dados para comunicação entre os IEDs. Desta forma possibilita a interoperabilidade na comunicação. O nome dos dados e atributos, as classes de dados comuns utilizadas, o tipo de informação e os outros elementos são determinados conforme o exemplo mostrado pela tabela 3 a seguir para o nó lógico PDIF, proteção diferencial.

Tabela 3 – Anatomia do nó lógico PDIF, proteção diferencial [3]

PDIF class				
Attribute Name	Attr. Type	Explanation	T	M/O
LNNName		Shall be inherited from Logical-Node Class (see IEC 61850-7-2)		
Data				
Common Logical Node Information				
		LN shall inherit all Mandatory Data from Common Logical Node Class		M
OpCntRs	INC	Resetable operation counter		O
Status Information				
Str	ACD	Start		O
Op	ACT	Operate	T	M
TmASt	CSD	Active curve characteristic		O
Measured Values				
DifAClc	WYE	Differential Current		O
RstA	WYE	Restraint Current		O
Settings				
LinCapac	ASG	Line capacitance (for load currents)		O
LoSet	ING	Low operate value, percentage of the nominal current		O
HiSet	ING	High operate value, percentage of the nominal current		O
MinOpTmms	ING	Minimum Operate Time		O
MaxOpTmms	ING	Maximum Operate Time		O
RstMod	ING	Restraint Mode		O
RsDITmms	ING	Reset Delay Time		O
TmAcrv	CURVE	Operating Curve Type		O

A primeira coluna, **Attribute Name**, mostra o nome dos Dados e Atributos. A coluna **Attr.Type** trás a Classe de Dados Comum, CDC. A terceira coluna **Explanation** mostra a descrição do dado relacionado ao nó lógico e de como ele é utilizado. A última coluna informa se o atributo é mandatório (M), opcional (O) ou condicional (C). Esta estratégia garante a robustez da norma para suportar futuras mudanças do tipo de protocolo em que os serviços são mapeados garantindo a mesma seja prova de futuro. Além disso, a norma IEC61850 não restringe apenas aos nós lógicos previstos, pois suporta que novos nós lógicos sejam criados pelo usuário, desde que seguindo os padrões estabelecidos pela norma.

2.4 Mapeamento dos Serviços de Comunicação da Norma IEC 61850

A parte 8.1 da norma IEC 61850 define o serviço de mapeamento específico (SCSM) para os protocolos ISO 9506-1 e ISO 9506-2 (MMS) e ISO/IEC 8802-3 [6] e utiliza a filosofia de cliente e servidor. Este tipo de aquisição

normalmente é realizada para atender os sistemas de aquisição de dados (SCADA) dos centros de controles ou outras funções que não necessitem de requisitos de tempo.

Os clientes emitem solicitações de serviço e recebem confirmações do serviço que foi processado no servidor. Um cliente também pode receber indicações de relatório de um servidor. Todas as solicitações de serviço e respostas são comunicadas pela pilha de protocolo que está sendo usada por um mapeamento de serviço de comunicação específico.

Existem vários serviços explicitados na parte 7-2 da norma IEC61850 que são mapeados para protocolos e perfis de comunicação que não fazem uso da norma ISO 9506 (MMS, devido a informações com restrições crítica de tempo [8].

De acordo com a parte 7-2, os serviços são mapeados em quatro diferentes combinações:

- **Cliente/Servidor:** núcleo de serviços ACSI com o uso do conjunto de protocolos MMS
- **Time Sync:** realiza o sincronismo de tempo com o protocolo Simple Network Time Protocol - SNTP
- **Sampled Values (SV):** valores amostrados de corrente e tensão transmitidos na rede
- **GOOSE** (*generic object oriented substation events*) e **GSSE** (*generic substation status event*): mensagens da classe GSE (*generic substation event*)

No modelo OSI apenas as duas primeiras camadas, física e de enlace, são comuns a todos os serviços e suas respectivas mensagens sendo que na camada física utilizam-se dados do tipo Ethernet.

Com o objetivo de permitir a cobertura de diferentes requisitos no sistema de comunicação da subestação, as mensagens definidas na parte 5 da norma IEC61850 são classificadas conforme o desempenho.

Existem dois grupos independentes: o primeiro para controle e proteção e o segundo para medidas e aplicações de qualidade de energia. As classes de desempenho são definidas de acordo com as funcionalidades requeridas na subestação.

Na tabela 4 são descritos os tipos de mensagem, classes de desempenho e os respectivos serviços para cada tipo descrito.

Tabela 4 – Tipo e classes de desempenho para cada mensagem [6]

Tipo	Classe de Desempenho	Serviço
1	Mensagem rápida	GOOSE/GSSE
1A	Trip	GOOSE/GSSE
2	Mensagem de média Velocidade	Cliente/Servidor
3	Mensagens lentas	Cliente/Servidor
4	Raw Data	SV
5	Funções de transferência de arquivo	Cliente/Servidor
6	Mensagens de sincronismo de tempo	Time sync

A norma IEC 61850 especifica dois tipos de mensagem para atender aplicações com requisitos de tempo críticos: GOOSE e GSSE. A mensagem GOOSE manipula grande quantidade de dados organizados em *Data Set* (blocos de dados) e a mensagem GSSE manipula estado da subestação organizado em par de bits.

A mensagem GOOSE foi implementada como um datagrama ISO não orientado a conexão, contendo em seu princípio as informações de endereço e nome do emissor, tempo do evento que disparou a mensagem GOOSE e o tempo esperado para uma nova mensagem. Cada IED da rede de comunicação deve determinar o emissor da mensagem e se o dado recebido é de seu interesse. Isto caracteriza uma mensagem como *multicast* e a mensagem GOOSE enviada pode ser recebida e utilizada para diferentes dispositivos na rede, ou para um destinatário apenas.

É realizada uma filtragem pelo endereço MAC para aumentar o desempenho de recepção das mensagens *multicast*. Na norma IEC61850, parte 8-1, no anexo B - *Multicast address selection*, os endereços possuem a seguinte composição [6]:

- Os três primeiros octetos são atribuídos pelo IEEE com : 01-0C-CD
- O quarto octeto será 01 para mensagens GOOSE, 02 para mensagens GSSE, e 04 para valores amostrados (SV)
- Os últimos dois octetos devem ser usados como endereços individuais atribuídos pelo intervalo definido na tabela 5

Tabela 5 – Exemplo de endereços multicast recomendados [6]

Serviço	Recomendação do range de endereços para distribuição	
	Início do Endereço (hexadecimal)	Fim do Endereço (hexadecimal)
GOOSE	01-0C-CD-01-00-00	01-0C-CD-01-01-FF
GSSE	01-0C-CD-02-00-00	01-0C-CD-02-01-FF
SV	01-0C-CD-04-00-00	01-0C-CD-04-01-FF

No caso de valores amostrados a parte 9.2 da IEC-61850 LE para circuitos de proteção especifica 80 amostras por ciclo em 80 mensagens por ciclo. Para circuitos de qualidade de energia 256 amostras por ciclo emitidas em grupo de 08 amostras em uma única mensagem requerendo 32 mensagens por ciclo. Cada mensagem tem amostras de corrente e tensões trifásicas.

Tendo em vista que o objetivo é eliminar qualquer tipo de latência no processo de transmissão da mensagem, a comunicação é do tipo editor (Publisher) e subscritor (Subscriber). Neste tipo de comunicação não existe nenhum tempo gasto estabelecendo conexão ou de negociação para iniciar uma seção de comunicação. O emissor publica as mensagens e os usuários subscritos capturam a mensagem que tem interesse. A figura 8 ilustra a mensagem SMV emitida pelo publicador. A comunicação adotada para a Merging Unit (UM) é serial e multidrop, onde a UM pode-se conectar a mais de um elemento, além de ser simplex e ponto a ponto.

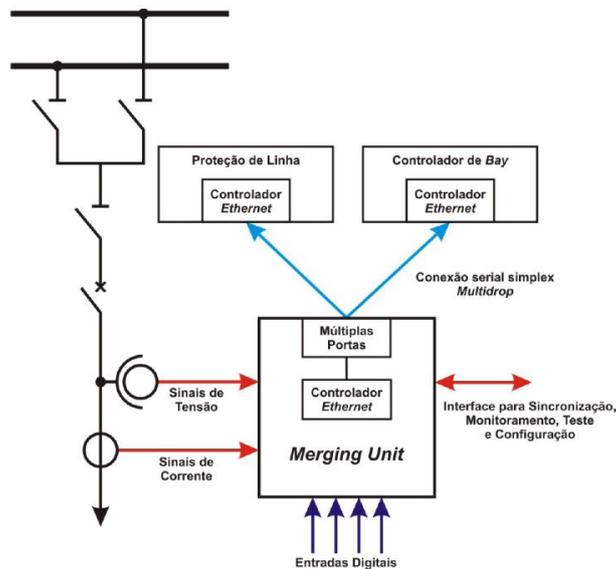


Figura 8 – Exemplo de utilização de um link ponto a ponto multidrop serial unidirecional [9]

3.0 - OS REQUISITOS PARA INTEROPERABILIDADE

A interoperabilidade definida pela norma [5] consiste na habilidade de dois ou mais dispositivos eletrônicos inteligentes de um mesmo fornecedor, ou de diferentes fornecedores, que trocam informação e usa essa informação para a correta operação conjunto desses IEDs.

Interoperabilidade entre os diferentes dispositivos é um dos principais objetivos da norma IEC61850. Isto somente é possível com dispositivos preparados, testados e certificados. Entretanto, apenas a garantia de conformidade com a norma não garante a interoperabilidade, isto é apenas o primeiro passo. É importante ressaltar que a conformidade com a norma IEC 61850 não implica em conformidade com as necessidades funcionais do usuário[10].

A parte 5 da norma IEC61850 descreve as funções no sistema de automação de subestação que são atribuídas como nós lógicos. O conteúdo dos dados trocados entre os nós lógicos são chamados de PICOM (*Piece of Information for COMmunication*). O PICOM descreve uma informação transferida em uma determinada conexão lógica com atributos de comunicação entre dois nós lógicos. Ele também contém as informações a serem transmitidas e, além disso, o requisito de atributos como, por exemplo, requisitos de desempenho. O PICOM não representa uma estrutura real e o formato de dados que são trocados através da rede de comunicação.. Esta informação pode ser encontrada nas partes 8 e 9 da norma IEC61850.

A figura 9 mostra os dados trocados entre os nós lógicos. Isto ocorre independente de qualquer modelo que é usado para definir a semântica e sintaxe na troca de dados, como no modelo cliente/servidor.

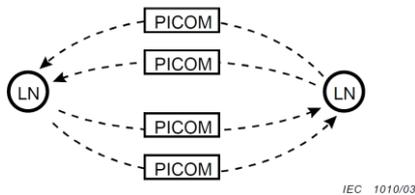


Figura 9 – Dados trocados entre os nós lógicos [5]

O conteúdo e a semântica dos dados trocados são determinados pelos nós lógicos descritos internamente no servidor. Seus componentes, os objetos de dados, contem todas as informações do processo que está relacionado com o conteúdo do PICOM.

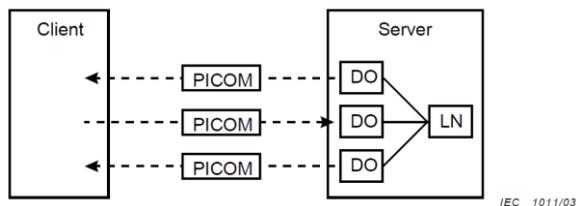


Figura 9 – Relação entre PICOMs e modelo cliente/servidor [5]

A norma IEC 61850, em sua Parte 10, estabelece os requisitos para os testes de conformidade a serem realizados em um IED ou em um sistema de automação. Entretanto, a comprovação das necessidades funcionais requeridas pelo usuário do IED é garantida com os testes funcionais.

O modelo de dados e os serviços de comunicação requeridos pelo usuário são independentes do comportamento das funções, por isso um IED pode estar conforme com a norma IEC 61850 e também pode não atender a uma determinada aplicação funcional requisitada pelo usuário.

Uma importante questão no planejamento e implementação da comunicação é a correta atribuição das funções e subfunções nos nós lógicos com a livre alocação nos dispositivos físicos. O modelo PICOM apresenta-se como uma ferramenta muito útil para essa finalidade.

A utilização de funções distribuída permite que um projeto de SAS tenha diversas soluções de implementação. Cada solução de projeto busca o melhor desempenho e segurança do SAS. A fase de planejamento do SAS é composta pela subfase da engenharia de arquitetura das redes de comunicação. Nesta fase é que se define a arquitetura e topologia das redes de processo de subestação. Por outro lado além da garantia da conformidade do IED a norma IEC 61850 e da realização da documentação formal do projeto de engenharia de comunicação conforme citado acima um item muito importante como requisito de interoperabilidade é a padronização da especificação de requisitos da engenharia de comunicação dos SAS.

Desta forma garante-se a compatibilidade entre as informações trocadas pelos dispositivos. A especificação dos arquivos feitos sobre a norma IEC61850 através da Linguagem de Configuração de Subestação promove essa descrição.

Deve-se lembrar que as ferramentas de engenharia devem atender os mesmos requisitos do processo de automação. Entende-se por ferramentas de engenharia como os softwares utilizados para definir o escopo e descrever os atributos da comunicação entre IEDs e/ou sistemas, gerando os arquivos SCL descritos na tabela 1. Uma importante ferramenta é a de Especificação de Sistema, usada para especificar o escopo do diagrama unifilar da subestação, gerando um arquivo SSD ou SCD, contendo os equipamentos primários e permitindo a definição dos demais dispositivos utilizados no sistema (IEDs, medidores, etc.).

Após a seleção dos IEDs é realizada a implementação das funções de proteção, com o uso de uma ferramenta de configuração do IED. Essa ferramenta deverá fornecer o arquivo ICD ou CID contendo as características do IED. Assim, de posse dos arquivos ICD de todos os IEDs que compõe o sistema, e dos arquivos SSD ou SCD, a ferramenta de configuração do sistema terá a especificação de toda subestação e de todos os IEDs de forma padronizada.

4.0 - VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA GARANTIA DA INTEROPERABILIDADE

Para o teste de interoperabilidade devem ser conectados à LAN dois ou mais IEDs, devendo ser geradas e transmitidas mensagens no padrão IEC 61850. Para isto, o equipamento de teste deve ser capaz de simular estas mensagens. Quando possível, uma solução mais realista será utilizar os próprios equipamentos do Sistema de Automação da Subestação para gerar as mensagens, desde que se disponha de um analisador compatível com a norma IEC 61850 capaz de analisar as mensagens GOOSE, SV e demais mensagens geradas pelos IEDs [11].

O teste de interoperabilidade é usado para detectar qualquer problema potencial de interoperabilidade entre os elementos funcionais e/ou subfunções que são integradas no IED ou no sistema sob teste. A figura 10 a seguir apresenta um possível arranjo para o teste de interoperabilidade, mostrando seus principais componentes.

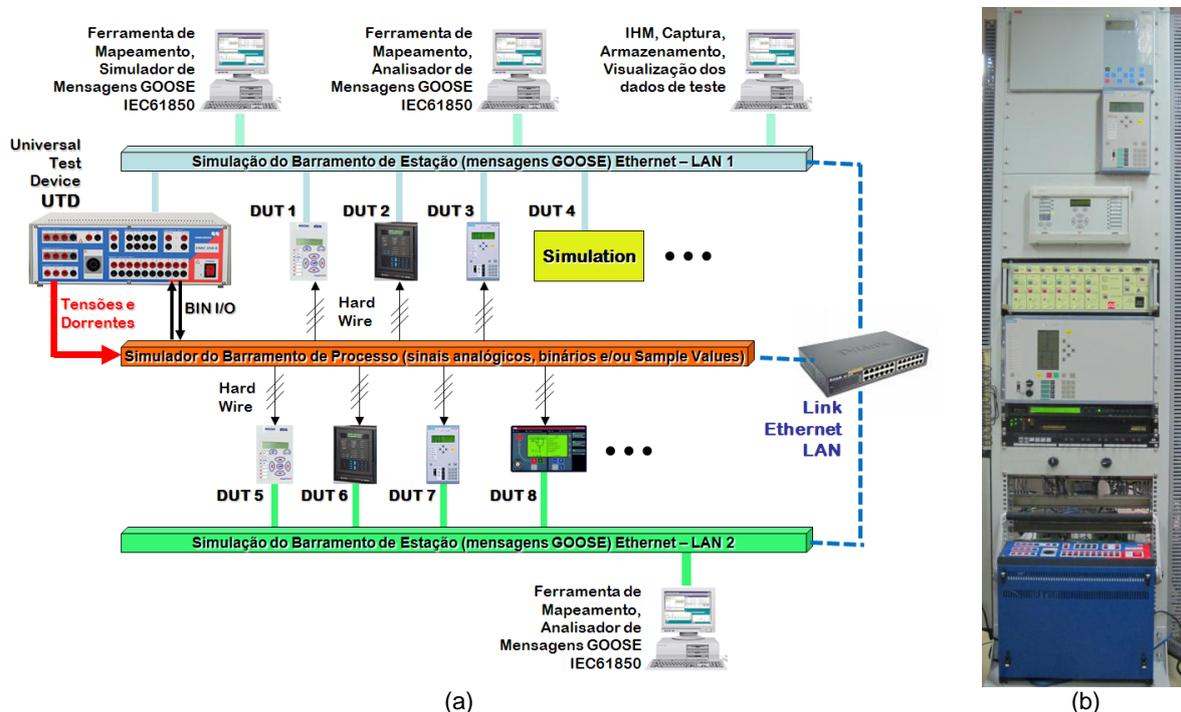


Figura 10 – (a) Arranjo para teste de interoperabilidade, (b) Estação de teste de interoperabilidade, CHESF, Recife.

5.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um exemplo de padronização da comunicação pode ser descrito com uma determinada rede de subestação formada por IEDs com definição de algum nó lógico, *data object* e qualquer tipo de *private data* criado pelo responsável da implementação. Tem-se a necessidade da elaboração da documentação para que a especificação e um novo IED componente desta rede obedeça aos mesmos requisitos dos IEDs existentes na rede. Essa prática, adicionada aos procedimentos antes descritos, forma o conjunto de procedimentos que garantirá a interoperabilidade dos IEDs e das funções do Sistema de Automação da Subestação.

No Brasil, grandes empresas de energia elétrica federais formam a base do sistema elétrico brasileiro. Estas empresas estão submetidas a um sistema que obriga que as aquisições de equipamentos e IEDs do Sistema de Automação da Subestação sejam realizadas por um processo de licitação pública. Neste caso a documentação e padronização dos requisitos de comunicação do Sistema de Automação da Subestação são de fundamental importância para garantir a interoperabilidade dos IEDs.

Outro fator importante para garantir a interoperabilidade é a engenharia de projeto das redes de estação e de processo. Um projeto de rede inadequado pode ocasionar congestionamento e grande atraso nas informações que trafegam nas redes do Sistema de Automação da Subestação. Mesmo que os IEDs estejam conforme a norma IEC 61850 e com um conjunto de dados compreensível por todos os IEDs a rede poderá entrar em colapso por problema de um projeto inadequado.

Podemos então resumir que os requisitos que garantem interoperabilidade de um sistema são:

- Conformidade com a norma;
- Documentação formal;
- Padronização dos requisitos dados do tipo *private*;
- Topologia e arquitetura da rede de subestação e de processo;
- Validação do sistema através dos testes adequados.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC-61850, part 3: general requirements*. 2002. CEI/IEC 61850-3:2002

(2) —. *IEC-61850, part 5: communication requirements for functions and device models*. 2003. IEC 61850-5:2003(E)

(3) —. *IEC-61850, part 7-4: basic communication structure for substation and feeder equipment – compatible logical node classes and data classes*. 2003. IEC 61850-7-4:2003(E)

(4) —. *IEC-61850, part 7-3: basic communication structure for substation and feeder equipment – common data classes*. 2003. IEC 61850-7-3:2003(E)

(5) PAULINO, Marcelo Eduardo de Carvalho. *Teste de IEDs Baseados na norma IEC-61850*. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, SBSE2008, Campina Grande, 2008.

(6) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC-61850, 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. IEC 61850-8-1:2004(E)

(7) —. *IEC-61850, part 7-1: basic communication structure for substation and feeder equipment – principle and models*. 2003. IEC 61850-7-1:2003(E)

(8) —. *IEC-61850, part 7-2: basic communication structure for substation and feeder equipment – abstract communication service interface (ACSI)*. 2003. IEC 61850-7-2:2003(E)

(9) —. *IEC-61850, part 9-1: specific communication service mapping (SCSM) – sampled values over serial unidirectional multdrop point to point link*. 2003. IEC 61850-9-1:2003(E)

(10) PAULINO, Marcelo Eduardo de Carvalho, CARMO, U. A. *Solução de Arquitetura para Testes Automatizados a Distância de IEDs Utilizando Equipamento de Teste*, In: Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, VIII SIMPASE, Rio de Janeiro, 2009.

(11) PAULINO, Marcelo Eduardo de Carvalho, SIQUEIRA, Iony P. de, PEREIRA, Allan Cascaes. *Diretrizes para Ensaios de Interoperabilidade e Testes Funcionais em Relés Multifuncionais Baseados na Norma IEC61850*, In: IX Seminário Técnico de Proteção e Controle, IX STPC, Belo Horizonte, 2008.