



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GPC/19  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

## **GRUPO - V**

### **GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC**

#### **UMA VISÃO HIERÁRQUICA E ORIENTADA A OBJETOS DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO BASEADOS NA NORMA IEC 61850**

**Iony Patriota de Siqueira(\*)  
CHESF**

## **RESUMO**

Neste informe apresenta-se uma visão hierárquica da modelagem orientada a objetos de Sistemas de Automação de Subestações (SAS) utilizando a norma IEC 61850. Espelhando-se nas sete camadas tradicionais do modelo OSI (Open Systems Interconnection) para comunicações em redes, este informe desenvolve um modelo unificado de todas as classes de software definidas na norma IEC 61850, agrupadas em camadas superpostas, abrangendo desde as camadas mais altas vistas pelos usuários e integradores de sistemas, às camadas mais baixas de interface com as redes de comunicação e middleware. Estes modelos compõem quatro visões concorrentes, vistas por diferentes interessados, que sumarizam a arquitetura da norma IEC 61850.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Modelo Orientado a Objetos, UML, SCL, XML, IEC 61850, Sistemas de Automação de Subestações

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

Uma das dificuldades relacionadas à norma IEC 61850 deve-se à sua dimensão e complexidade. Reunindo mais de 1000 páginas impressas de conteúdo gráfico e textual, a norma tem desafiado a compreensão de engenheiros de proteção e automação, bem como desenvolvedores de softwares, sejam eles fabricantes, integradores ou usuários. Desde a sua primeira edição, com o foco principal em subestações, novas funcionalidades e nós lógicos têm sido acrescentados, estendendo sua aplicação a outros domínios, tais como energia eólica, hidrelétrica e distribuída, até a automação residencial, ou para comunicação entre subestações e centros de controle. Novas extensões estão em discussão para monitoramento de condição, modelagem lógica, etc.

A inexistência de uma versão digital, ainda em discussão na IEC, também tem criado dificuldades para desenvolvedores de softwares e ferramentas de integração, gerando diferenças e dúvidas em sua interpretação, e reduzindo a interoperabilidade de modelos compilados por diferentes ferramentas. Este cenário motivou o Comitê Técnico 57 da IEC a iniciar a discussão de uma versão digitalizada da norma IEC 61850, que será disponibilizada on-line como um modelo automaticamente interpretável da norma. Este modelo irá facilitar o trabalho do computador e dos desenvolvedores de software, mas não reduzirá a dificuldade encontrada por engenheiros de automação e proteção para entender e aplicar a norma. Consultores e professores em universidades continuarão a ter dificuldades em explicar seus principais aspectos a estudantes e engenheiros de campo, devido ao seu tamanho, novidade e complexidade.

(\*) Rua Prof. José Brandão, n° 269 – apto 902 - Boa Viagem – CEP 51.020-180 Recife, PE, – Brasil  
Tel: (+55 81) 3213-2624 – Fax: (+55 81) 3213-2627 – Email: [iony@tecnix.com.br](mailto:iony@tecnix.com.br)

Uma forma tradicional de entender um processo complexo é observá-lo com uma visão hierárquica, permitindo uma modelagem progressiva com níveis crescentes de detalhes. Para aplicar este método à norma IEC 61850, e facilitar seu entendimento e uso generalizado, este informe apresenta um modelo UML em camadas de todas as classes que compõem a norma. O modelo replica a ideia e organização do modelo de comunicação ISO, apresentando uma visão fatiada de cima para baixo dos objetos definidos na norma, organizados em camadas de classes similares. Cada camada é suportada por camadas de níveis inferiores, enquanto suportam as camadas superiores, imitando um middleware de dados organizados hierarquicamente, das camadas de níveis inferiores até as classes SCL superiores. Este princípio de modelagem conduz a uma visão geral de todas as classes abstratas, desenhadas em um único diagrama de classes UML adequado para um pôster em uma sala de aula, ou como um mapa pessoal de navegação para toda a norma.

Os modelos são formados por classes organizadas em sete camadas (por coincidência o mesmo número dos níveis do modelo ISO), também chamados de modelos, compreendendo, de cima para baixo, o Modelo de Subestação, o Modelo de Produtos, o Modelo de Tipos, o Modelo de Comunicações, o Modelo Funcional, o Modelo de Dados e o Modelo de Mensagens. O nível superior, o Modelo de Subestação, é formado por todas as classes SCL usadas para descrever o Sistema de Automação da Subestação (SAS) com sua comunicação interna e entre subestações. Estas classes são expandidas e interfaceadas com as classes de níveis inferiores, aumentando os detalhes do modelo em termos de classes e tipos de dados. O nível mais inferior inclui todas as classes de mensagens de baixo nível, tipo Goose e SMV, usadas para interfacear com o software de middleware da rede.

## 2.0 - VISÕES UML

A linguagem UML (Unified Modeling Language), conforme definida pela OMG (Object Managing Group) é um formalismo gráfico para especificação, visualização, construção e documentação de sistemas baseados em software. Sendo uma linguagem de modelagem ela permite ao usuário definir vários modelos de um sistema, como visões distintas do mesmo objeto de acordo com os interesses do usuário. Na UML um modelo captura a visão de um sistema para um objetivo específico. Consiste de uma descrição completa dos aspectos relevantes para o objetivo do modelo, em um nível adequado de detalhe. Os modelos podem fornecer visões diferentes de um mesmo sistema para diferentes usuários ou interessados, focando em aspectos particulares de cada vez, ou expressando os resultados de estágios diferentes no processo de desenvolvimento de software. Para definir um modelo é necessário especificar seu objetivo, fornecer um retrato completo do sistema, omitindo informações irrelevantes. Normalmente quatro visões genéricas são necessárias para modelar um negócio ou projeto em UML, chamadas de Visões Estratégica, Estrutural, Funcional e Processual, neste caso, de um Sistema de Automação de Subestação (SAS). (Figura 1)

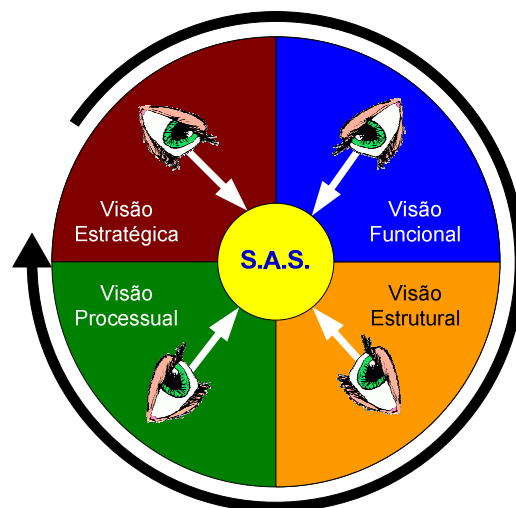


Figura 1 – Visões Diferentes de um Sistema de Automação de Subestação

As visões são normalmente construídas segundo um processo sequencial de cima para baixo (top-down) mostrado na direção horária na Figura 1, iniciando na Visão Estratégica e progredindo através da Visão Funcional e Estrutural, até a Visão Processual detalhada. Quando aplicada a um projeto de SAS, a Visão Estratégica (ou de Negócio) mostra uma perspectiva ou modelo conceitual externo ou visto pelo integrador, proprietário ou interessado (stakeholder) da instalação inteira e dos objetivos do projeto. Clientes e desenvolvedores de softwares também se beneficiam desta visão externa para modelar os requisitos de usuários para novos projetos. Isto é detalhado em seguida na Visão Funcional, com os blocos lógicos e operacionais que formam as principais funções do SAS visando atender os objetivos estratégicos da Visão Estratégica. Usuários, operadores e mantenedores estão entre

os interessados que usam a Visão Funcional para administrar e operar a subestação. Uma perspectiva mais detalhada é fornecida em seguida pela Visão Estrutural, com as peças construtivas dos objetos estáticos e dados que formam cada bloco funcional. Fabricantes, projetistas e fornecedores de IEDs (Intelligent Electronic Devices) são responsáveis pela estrutura de dados usada nos dispositivos da subestação com suporte a interoperabilidade. Finalmente, a Visão Processual detalha os métodos, serviços, dados dinâmicos e mensagens trocadas entre os blocos construtivos e o ambiente externo para implementar as funções do SAS. Classes de mensagens são modeladas também como pacotes de transmissão de dados utilizando o middleware ou suporte de comunicação, sendo específicos de cada aplicação. O meio ambiente, no contexto de um SAS, pode abranger todos os equipamentos de processo na subestação ou usina, incluindo operadores locais e remotos, centros de controle etc. Engenheiros de campo e pessoal de comunicação são responsáveis por fornecer a rede e o middleware para suportar esta visão. Se estas visões forem implementadas em IEC 61850 então utilizarão objetos instanciados de uma coleção de sete pacotes de classes, definidas na norma e nomeados e numerados neste artigo de acordo com os seguintes modelos:

1. Modelo da Subestação;
2. Modelo do Produto;
3. Modelo de Tipo;
4. Modelo de Comunicação;
5. Modelo Funcional;
6. Modelo de Dados; e
7. Modelo de Serviços.

Estes pacotes podem ser numerados e organizados em uma estrutura hierárquica particionada, de acordo com as quatro visões da UML e interessados definidos acima, conforme a Figura 2.

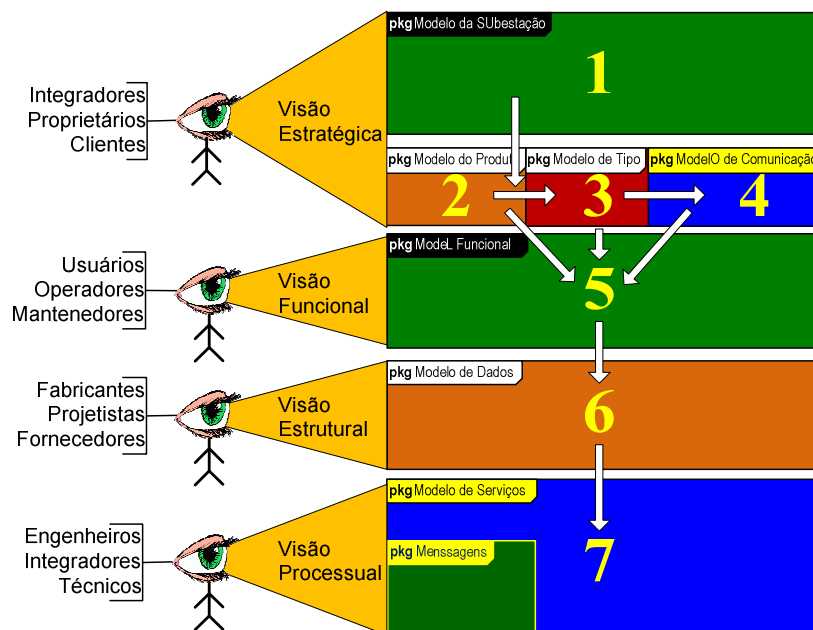


Figura 2 – Organização Hierárquica em Camadas das Visões e Modelos de SAS

Uma Visão Estratégica de um SAS pode ser construída com classes instanciadas dos Modelos de Subestação, Produto, Tipo e Comunicação, conforme especificado em SCL (Substation Configuration Language), a linguagem baseada em XML (eXtensible Markup Language) da norma IEC 61850. Isto é detalhado por uma Visão Funcional do SAS, construída de objetos instanciados do Modelo Funcional usando principalmente os nós lógicos da norma IEC 61850. A Visão Estrutural seguinte detalha todos os objetos de dados usados pelos nós lógicos e objetos funcionais, herdados das classes abstratas definidas no Modelo de Dados da norma IEC 61850. Finalmente, a Visão Processual coleta todos os objetos derivadas das classes definidas no Modelo de Serviços e seu pacote de Mensagens para suportar os métodos das camadas acima. Estas visões, ou coleções de pacotes de classes, são organizadas por relacionamentos entre camadas hierárquicas definidos em um único diagrama de classes mostrado na Figura 4 deste artigo, e descrito nos parágrafos subsequentes. Os pacotes nesta figura também seguem a mesma numeração da Figura 2. As relações seguem os seis padrões de conexões entre classes definidas pela UML, conforme mostradas na Figura 3.

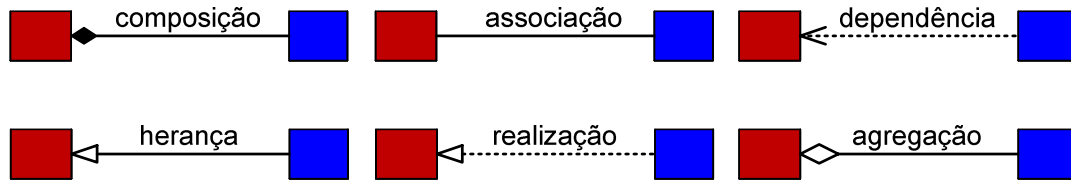


Figura 3 - Relacionamento entre Classes UML

### 3.0 - MODELO DA SUBESTAÇÃO

O Modelo da Subestação é uma hierarquia de objetos baseada na estrutura funcional de uma subestação que usa a Linguagem de Configuração de Subestação para descrever uma Visão Estratégica de um SAS. Ele conecta as funções de automação aos equipamentos da subestação, atribuindo designações para nós lógicos da estrutura da subestação. Seus objetos são instanciados das classes SCL abstratas Substation, VoltageLevel, Bay, Equipment, SubEquipment, ConnectivityNode e Terminal. Estas classes são relacionadas no diagrama UML de classes da Figura 4, compondo o pacote do Modelo da Subestação, parte da Visão Estratégica da primeira camada superior do modelo UML. A documentação da norma IEC 61850 contém a descrição detalhada destas classes, neste e nos pacotes seguintes.

Usando estas classes é possível modelar uma subestação fisicamente - por níveis de tensão (VoltageLevels) incluindo os Bays conectados eletricamente, com os equipamentos instanciados da classe Equipments; ou funcionalmente, instanciando os equipamentos que realizam as subfunções (classe Subfunctions) das funções principais (classe Functions) realizadas na subestação (classe Substation). Estas classes são conectadas pelos objetos ConnectivityNode e ConductngEquipments entre os dispositivos primários e seus terminais (Terminals), e pelas conexões elétricas entre os dispositivos primários de um mesmo nível de tensão. Estes objetos são adicionalmente implementados usando as classes definidas no Modelo de Produto, na segunda camada do modelo integrado, como parte da Visão Estratégica e de Negócios de um SAS.

### 4.0 - MODELO DE PRODUTO

O Modelo de Produto é usado para especificar as características de todos os IEDs (Intelligent Electronic Devices) como parte da Visão Estratégica do SAS. Ele descreve a configuração de cada IED, com seus pontos de acesso, dispositivos e nós lógicos. Também define as capacidades de cada IED pelos serviços de comunicação suportados, bem como as configurações e valores default adotados. As seguintes classes abstratas são descritas na norma IEC 61850 para o Modelo de Produto: IED, Server, LDevice, LNode, LN0, Router and Clock. Estas classes são relacionadas no diagrama UML do pacote do Modelo do Produto, parte da Visão Estratégica da Camada 2 do modelo UML geral em camadas da Figura 4.

IEDs são dispositivos de Automação de Subestações que realizam funções por meio de nós lógicos (LNs) instalados em Servidores (classe Servers). Em um Servidor, uma classe LDevice modela um Dispositivo Lógico (LD) composto de LNodes, ou nós lógicos com objetos de dados. Roteadores, um dos componentes da rede de comunicação, conectam subredes diferentes e limitam o espaço das mensagens, enquanto a classe Clocks indica onde o relógio de cada subsubrede se localiza. A Figura 4 mostra como esta camada se relaciona com a camada superior pela associação da classe LNode com as classes correspondentes da Visão da Subestação na camada superior, modelando sua implementação por nós lógicos em IEDs específicos. Estes objetos são implementados também em SCL referindo a classes de dados definidas no Modelo de Tipo, na terceira camada do modelo integrado, como parte da Visão Estratégica de um SAS.

### 5.0 - MODELO DE TIPO

O Modelo de Tipo representa uma visão externa da informação da subestação e os formatos adotados, parte da Visão Estratégica do SAS. Ele descreve, em forma abstrata, o tipo de cada item de dado do SAS, declarado em SCL. Apenas duas classes abstratas são incluídas no Modelo de Tipo da norma IEC 61850: Data e Type. Todas os tipos concretos de dados são derivados destas classes, relacionadas no diagrama UML da Figura 4, como parte do pacote de Modelo de Tipo, na camada 3 do modelo hierárquico. Tipos específicos de dados para cada aplicação são modelados na camada seguinte. A Figura 4 mostra como esta camada está relacionada com a camada 2 superior pela associação ascendente da classe Data com a classe Lnode do Modelo de Produto, modelando a

estruturação de cada nó lógico em objetos de dados com seus tipos. O comportamento destes objetos depende verticalmente das classes do Modelo de Comunicação, na camada 4 do modelo integrado como parte da Visão Estratégica do SAS.

## 6.0 - MODELO DE COMUNICAÇÃO

O Modelo de Comunicação é usado para especificar as características das redes locais e pontos de acesso, completando a Visão Estratégica do SAS. Inclui as possibilidades de comunicação direta entre nós lógicos por meio de barramentos lógicos (SubNetworks) e pontos de acesso de IEDs, bem como quais dispositivos lógicos e nós lógicos são acessíveis através de um ponto de acesso. O Modelo de Comunicação descreve também que pontos de acesso de IEDs são conectados a cada subrede. As seguintes classes abstratas são incluídas no Modelo de Comunicação da norma IEC 61850: SubNetwork, PhysConn, Address, GSV e SMV. Estas classes são relacionadas pelo diagrama de classes da Figura 4, formando o pacote de Modelo de Comunicação da camada 4 do modelo hierárquico. Neste modelo um objeto Subnetwork é um nó de conexão para comunicação direta (link layer) entre pontos de acesso. Contém todos os pontos de acesso que podem (logicamente) se comunicar com o protocolo da subrede e sem um roteador intermediário. Define a conexão lógica através de um determinado protocolo. Um ponto de acesso (Access) é um ponto de comunicação do dispositivo lógico de um IED para uma subrede. Uma classe Router no Modelo de Produto estende o acesso a servidores conectados a outras subredes em outro ponto de acesso daquele IED que hospeda a função de roteador, enquanto uma classe Clock na segunda camada sincroniza os relógios internos de todos IEDs conectados a esta subrede. Uma classe PhysConn modela o endereço físico do servidor, enquanto uma classe Address define o endereço lógico do servidor. As classes GSVs e SMVs definem os endereços dos blocos de controle Goose e GSSE, e dos blocos de controle de Valores Amostrados, respectivamente. A Figura 4 mostra como este modelo se relaciona com as camadas superiores por associação da classe AccessPoint com as classes LNode e Router do Modelo de Produto, modelando os pontos de acesso dos nós lógicos e roteadores de cada IED. Estas classes e os objetos restantes da Visão Estratégica são descritas em SCL e implementadas pelas classes definidas na 5ª camada do modelo integrado, como parte da Visão Funcional de um SAS.

## 7.0 - MODELO FUNCIONAL

Um Modelo Funcional define as tarefas realizadas pelo SAS pelas funções de aplicação ou as características do SAS que garantem objetivos específicos, como parte da Visão Funcional. Geralmente funções permutam dados com outras funções realizadas por IEDs (dispositivos físicos). Funções podem ser divididas em partes residentes em diferentes IEDs que trocam dados, formando funções distribuídas. Estas funções comunicantes são modeladas por Nós Lógicos, a menor parte de uma função capaz de permutar dados. As classes abstratas incluídas no Modelo Funcional da norma IEC 61850 estão representadas no diagrama UML de classes da Figura 4, formando a camada 5 do modelo integrado da norma IEC 61850. A Figura 4 também mostra como esta camada se relaciona com as camadas superiores por associação de classes, modelando a implementação completa do SAS descrito em SCL nos modelos superiores. Estes objetos são implementados por classes definidas no Modelo de Dados da 6ª camada do modelo integrado, como parte da Visão Estrutural do SAS.

## 8.0 - MODELO DE DADOS

Um Modelo de Dados representa o conhecimento concreto sobre a informação da subestação e sua representação em classes, formando uma Visão Estrutural dos dados de um SAS. Descreve de forma abstrata a informação usada pelas funções e dispositivos da subestação. Estas classes são incluídas no Modelo de Dados da norma IEC 61850, relacionadas no diagrama UML da Figura 4, formando o pacote do Modelo de Dados da 6ª camada do modelo integrado.

O espaço de nomes (Namespace) é um elemento chave do Modelo de Dados da norma IEC 61850, formando um ambiente para agrupamento lógico de identificadores, delimitando contextos diferenciados para nomes idênticos residentes em diferentes espaços. A Figura 4 mostra como esta camada se relaciona com as camadas superiores por associação de classes, e como um Namespace é herdado pelos Dispositivos e Nós Lógicos da Camada Funcional superior. Os métodos destas classes são suportados por objetos implementados nas classes de dados definidas no Modelo de Serviço, na camada sete do modelo integrado da Figura 4, formando a Visão de Processo do SAS.

## 9.0 - MODELO DE SERVIÇOS

Um Modelo de Serviços é um conjunto de funções e procedimentos disponibilizados para o usuário de um Modelo de Dados para acessar ou mudar os componentes de dados e configurações como parte da Visão de Processo de um SAS. A norma IEC 61850 define dois tipos de serviços: Abstratos e Concretos, descritos pelas interfaces ACSI (Abstract Communication Service Interface) e SCSM (Specific Communication Service Mapping). Estes serviços são implementados nas classes ilustradas no diagrama UML da Figura 4, formando o pacote do Modelo de Serviço da camada 7 do modelo integrado da norma IEC 61850.

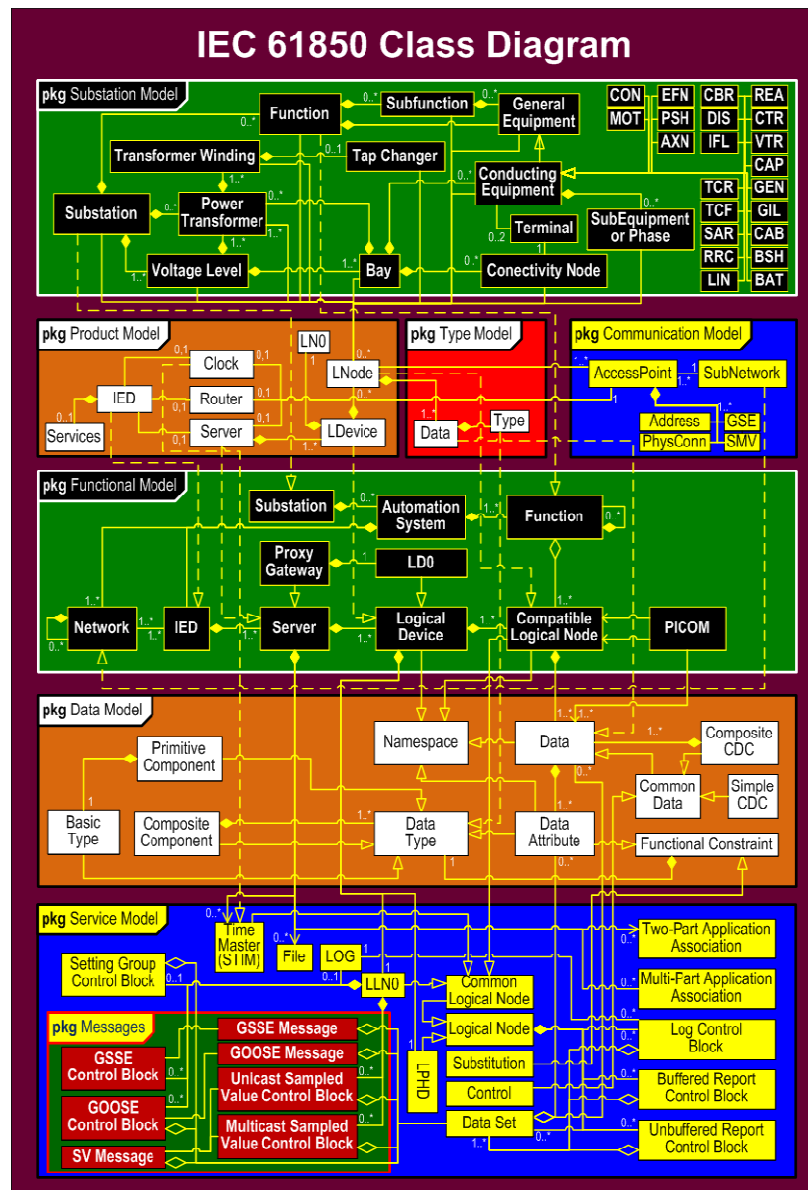


Figure 4 – Visão Hierárquica Orientada a Objetos da Norma IEC 61850

## 10.0 - CONCLUSÃO

Este artigo detalhou um modelo hierárquico orientado a objetos da norma IEC 61850 similar ao modelo OSI de sete camadas para sistemas de comunicação. Todas as principais classes definidas pela norma são agrupadas em camadas sobrepostas, abrangendo destes as camadas superiores vistas pelos usuários e integradores de sistemas, às camadas inferiores que interagem com o middleware de comunicação e equipamentos de campo e processo. Estes sete modelos formam quatro visões concorrentes de um SAS, denominadas de Estratégica, Funcional, Estrutural e Processual, agrupadas em um único diagrama de classes, cobrindo todas as principais demandas de interessados e classes definidas na norma, sendo adequadas para uma visão e guia unificado da norma. Este modelo integrado tem sido usado com sucesso pelo autor em treinamentos realizados sobre Sistemas de Automação de Subestações usando a norma IEC 61850.

## 11.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CIGRE WG B5.32, Functional Testing of IEC 61850-Based Systems, Cigré Technical Brochure 401, ISBN: 978-2-85873-088-9, December 2008.
- (2) SIQUEIRA, I. P., Model Based Testing and Diagnosis of IEC 61850 Systems, PAC World Magazine, December 2010 Issue, available at PAC World website [http://www.pacw.org/issue/december\\_2010\\_issue/model\\_based\\_testing/model\\_based\\_testing\\_and\\_diagnosis\\_of\\_iec\\_61850\\_systems.html](http://www.pacw.org/issue/december_2010_issue/model_based_testing/model_based_testing_and_diagnosis_of_iec_61850_systems.html).
- (3) IEC 61850: Communication networks and systems in substations, International Electrotechnical Commission, Switzerland, 2004.
- (4) OMG, Unified Modeling Language, The Object Management Group, available on [www.omg.org](http://www.omg.org), 2005.
- (5) W3C, Extensible Markup Language (XML), The World Wide Web Consortium, available on [www.w3.org](http://www.w3.org), 2006.

## 12.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Iony Patriota de Siqueira é Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pós-graduado em Informática pela Universidade Católica de Pernambuco, com Especialização em Sistemas de Informações, e Engenheiro Eletricista pela UFPE. Atualmente é Gerente de Sistemas de Proteção e Automação da CHESF e Coordenador do Comitê de Estudos de Proteção e Automação do CIGRE.