

Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Mecânica – ENM
Programa de Pós-graduação em Sistemas Mecatrônicos
Linha de Pesquisa em Automação e Controle de Sistemas de Fabricação
Projeto de Tese de Doutorado

**Desenvolvimento de Metodologia para conversão do ambiente
tradicional de automação de processos em Usinas Hidrelétricas para um
novo ambiente com recursos de inteligência artificial aderente ao Padrão**

IEC61850

Candidato:
Antonio Bernardo de Vasconcellos Praxedes

Orientador (proposto):
Dr. Eng. Alberto José Álvares (Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília - UnB)

Brasília, Fevereiro de 2011

1. INTRODUÇÃO

O presente Projeto de Tese de Doutorado visa atender às exigências do Edital No.1/2011 do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos. Este projeto enquadra-se na linha de pesquisa Automação e Controle de Sistemas de Fabricação.

Uma usina hidrelétrica assemelha-se a uma planta industrial com diversos equipamentos e dispositivos mecânicos, elétricos e eletrônicos. Estes equipamentos e dispositivos fazem parte do processo de geração de energia elétrica, devendo ser controlados e supervisionados por operadores e engenheiros a partir de um nível hierárquico superior. Normalmente, são utilizados equipamentos de diversos fabricantes tais como Controladores Lógicos Programáveis, medidores e demais dispositivos que possuem diferentes protocolos e meios de comunicação. Este projeto tem por finalidade padronizar todas as informações de supervisão e controle através do modelamento dos dispositivos de acordo com a norma IEC61850 [1]. Segundo Schwarz [19]: “Process automation solutions are widely accepted for power systems. They are mostly based on a huge number of proprietary specifications or (de facto) standards. Globally, utility deregulation is expanding. It requires integrating, consolidating, disseminating and interpreting real time information quickly and accurately within a utility – from power plants to the power consumer in the shop floor or domestic user. Future electric power systems face a growing demand of configuration information (meta information) that describes the process data. The automation device, and – possibly – the primary equipment. To meet the future requirements, three new standards have been defined: IEC 61850, IEC 61400-25, and IEC 61970.”

Além da padronização e do modelamento dos dispositivos, deseja-se aplicar recursos de inteligência artificial para auxílio na operação, configuração e para a detecção de padrões úteis nos diagnósticos de falhas. O projeto deverá definir também o desenvolvimento de dois equipamentos próprios para uso no ambiente de usinas. Cada vez mais, exige-se confiabilidade e adaptabilidade dos sistemas de supervisão e automação, com redução de pessoal para aumento da competitividade, portanto, a inclusão da inteligência nos sistemas de supervisão, controle e automação é cada vez mais necessária. De acordo com Schwarz [19]: “Systems that only produce, transmit or distribute electric power need more and more – seamless supervised – automation systems that require little or no human intervention for the configuration and operation”.

A principal inovação dessa proposta é o uso de recursos de inteligência artificial para auxílio de procedimentos de operação, manutenção e configuração no ambiente dos objetos padrão IEC61850 em usinas hidrelétricas. Com isso deseja-se criar ferramentas que poderão ser usadas em sistemas de supervisão e controle em todo o mundo, já que o padrão IEC61850 deverá ser adotado em larga escala. De acordo com Calvo et. al [14] o "Remote access to industrial plants has proven a serious competitive advantage. However, building efficient and safe systems is not a trivial task." Em função deste fato, novas metodologias estão sendo propostas e muitas pesquisas associadas estão em desenvolvimento em todo o mundo.

O desenvolvimento deste trabalho poderá ser feito em ambiente de laboratório existente no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília utilizando-se como simulador de usina hidrelétrica a planta de automação de processos composta por rede de CLPs, sensores, atuadores, medidores e demais dispositivos. Os equipamentos incluindo o hardware e o software poderão ser desenvolvidos utilizando-se ferramentas de projeto eletrônico para desenvolvimento das placas de circuito impresso e ambientes de desenvolvimento de software. O Departamento de Engenharia Mecânica, através de projeto de Pesquisa e Desenvolvimento com a Eletronorte, pode viabilizar a implantação dos recursos previstos neste trabalho em um projeto piloto em uma usina hidrelétrica.

1.1 Questão a Responder

Como integrar o novo padrão de supervisão, controle, automação e configuração IEC61850 no ambiente de controle de processos de uma usina hidrelétrica de forma gradual, segura e que permita a utilização de recursos de inteligência artificial para funções de auxílio à operação, configuração e manutenção?

1.2 Hipótese a Comprovar

O ambiente de controle de processos, supervisão e automação de uma usina hidrelétrica normalmente é composto por uma variedade de dispositivos eletrônicos, elétricos e mecânicos, além de controladores com diversos protocolos de comunicação. Todos os dispositivos deste ambiente poderão ser convertidos para objetos no padrão IEC61850. Os novos equipamentos que atendem ao novo padrão já entram diretamente no sistema.

No ambiente IEC61850 poderão ser utilizadas ferramentas de inteligência artificial para auxiliar nos procedimentos de operação, configuração e de manutenção (identificação de falhas) dos dispositivos da usina. Um exemplo de aplicação pode ser a detecção de erros de medidas e inconsistências na rede de aquisição de dados analógicos utilizando-se redes neurais. Os dados podem ser as amostras de aquisição direta (Sample Values) definidas pela norma IEC61850, o que pode tornar o processo de detecção muito mais rápido.

A conversão deverá ser feita em duas fases apresentadas a seguir:

Na primeira fase, um equipamento a ser desenvolvido denominado Concentrador deverá fazer a intermediação completa entre o ambiente IEC 61850 e o ambiente de controle de processos, supervisão e automação existente nas usinas. Entenda-se o ambiente IEC 61850 como os dispositivos do nível de estação (station level devices), ou seja, o computador com a base de dados, a interface com o operador (IHM) e interfaces para comunicação remota. As interfaces para comunicação remota são também disponibilizadas pelo concentrador através dos canais para centro de operação com os protocolos padrão da área elétrica.

Na segunda fase, deverá ser desenvolvido um equipamento denominado Unidade Conversora (UC), o qual permitirá a qualquer dispositivo e subsistema entrar em rede já no contexto da norma IEC 61850. Estes dispositivos e subsistemas incluem CLPs, demais dispositivos microprocessados, dispositivos elétricos e eletromecânicos. A aquisição analógica deverá incluir também a amostragem em tempo real (Sample Values).

O Concentrador e a Unidade Conversora deverão possuir os seguintes recursos:

- Mecanismos de implementação dos dispositivos lógicos e nós lógicos referentes aos equipamentos conectados. Através dos dispositivos lógicos e dos nós lógicos são criados os modelos de informação dos equipamentos da usina;
- Interpretação e geração dos arquivos de configuração no padrão SCL. Auto-descrição (self-description): as informações de configuração são padronizadas e acessíveis via comunicação no padrão IEC61850. O Concentrador e Unidade Conversora deverão efetuar a conversão dos parâmetros definidos na Linguagem de Configuração de Subestação (SCL) para cada um dos dispositivos conectados. Portanto, a base de dados deverá conter informações de parametrização e configuração de todos os IED's conectados que não atendem à norma IEC 61850;
- Serviços de comunicação através da Interface de serviço de comunicação abstrata (abstract communication service interface – ACSI). A ACSI é uma interface virtual que proporciona métodos de modelagem de informação abstratos para dispositivos lógicos (logical devices), nós lógicos (logical nodes), dados, atributos dos dados, e serviços de comunicação. Exemplos de serviços de comunicação são: conexão, acesso variável, transferência de dados não solicitados, controle de dispositivos e transferência de arquivos;
- Serviços de comunicação de alta velocidade e alta prioridade para envio/recebimento de eventos. Quando ocorre qualquer mudança de estado em um ponto de indicação digital configurado para gerar este tipo de evento, é gerada uma mensagem específica (GOOSE - generic object oriented substation event ou evento de subestação orientado a objeto genérico). Esta mensagem contém um objeto binário, sendo de alta velocidade não orientada à conexão. A mensagem é enviada do servidor (UC ou dispositivo IEC61850) para um conjunto selecionado de clientes. A mensagem do tipo GOOSE é de alta

prioridade e utiliza um mecanismo chamado “priority tagging” para separar o tráfego das mensagens que tem prioridade de recebimento (mensagens de atuação de proteção). Existe também um mecanismo de re-envio da mensagem após intervalos de 2, 4, 8...60000ms para aumentar a probabilidade de recebimento;

- Serviços de comunicação de alta velocidade e alta prioridade para envio/recebimento de estado de dispositivos (GSSE - generic substation state event ou evento de estado de subestação genérico). Esta mensagem é similar ao GOOSE, porém contém apenas informações de estado de pontos duplos de equipamentos tais como disjuntores e chaves seccionadoras (estados: aberto, fechado, transição e inválido);
- Serviço de Registro (Logging): é o registro de dados ordenados cronologicamente. Estes registros de dados normalmente são uma seqüência de eventos de alteração de estado de pontos de indicação digital (SOE) com as etiquetas de tempo e as anotações referentes à identificação do ponto e informações adicionais;
- Serviço de Relatório (Reporting): é um conjunto de dados compilados para transmissão para um cliente. A transmissão pode ser feita em intervalos regulares, em intervalos especificados ou pode ser enviada sob demanda. Um relatório também pode ser gerado como resultado da ocorrência de um ou mais eventos que podem ser pré-definidos pelo cliente.
- Serviços de comunicação para o envio/recebimento de dados brutos de amostras de TC's e TP's. Este serviço somente estará disponível na Unidade Conversora. As mensagens do tipo Sample Values do tipo dado bruto (raw data) transportam as amostras de aquisição direta dos sinais de corrente e tensão dos TC's e TP's. Estas mensagens são enviadas das Unidades Conversoras de Aquisição pela rede ethernet para uma Unidade Conversora de Monitoração que deverá fazer o processamento das amostras (merging). Este processamento permite obter as grandezas elétricas (tensão, corrente, potência, frequência, energia, fator de potência) e informações de qualidade de energia. As amostras também podem ser armazenadas em arquivos;
- Serviços de Manutenção Local e Manutenção Remota. Caso exista conexão de rede do centro de manutenção com a subestação também deverão estar disponíveis os serviços de manutenção remota do sistema através de uma Estação de Manutenção Remota para monitoração e manutenção (TMI);
- Serviços de Comunicação com dispositivos microprocessados (IED) de diversos fabricantes em diversos protocolos e diversos meios físicos de comunicação. Um IED pode ter um ou mais nós lógicos implementados dentro do seu contexto e das suas interfaces;
- Interface com os dispositivos da subestação através da leitura do estado de contatos, acionamento de contatos, leitura de sinais analógicos e envio de sinais analógicos de controle.

1.3 Justificativa

A norma IEC61850 tem por objetivo principal uniformizar o ambiente de supervisão, controle e configuração de usinas e subestações, facilitando a instalação, configuração e manutenção de dispositivos.

Os recursos de inteligência artificial e reconhecimento de padrões deverão facilitar os procedimentos de operação, configuração e manutenção, por efetuar um prévio reconhecimento de padrões que podem indicar diversas situações específicas tanto no processo que está sendo supervisionado como nos equipamentos de supervisão.

1.4 Objetivos

1. Modelar no Nível de Estação (Station Level) no padrão IEC61850 todos os tipos de dispositivos que existam ou possam ser instalados em uma usina hidrelétrica;

2. Utilizar recursos de inteligência artificial para auxílio nos procedimentos de configuração e de identificação de falhas em dispositivos já no ambiente dos objetos do padrão IEC61850;
3. Desenvolver os equipamentos: Concentrador e Unidade Conversora, utilizando os recursos mais avançados de tecnologia disponíveis para equipamentos de alta confiabilidade. Estes equipamentos deverão atender as recomendações de compatibilidade eletromagnética, condições ambientais, choque e vibração recomendados pela da norma IEC61870 para equipamentos de usinas e subestações.

O Concentrador deverá modelar todos os subsistemas e dispositivos dentro do contexto da norma IEC 61850. Esta modelagem inclui, além das operações de supervisão e controle, também as operações de parametrização e configuração. Desta forma, o concentrador inicialmente deverá intermediar toda a troca de informações das Funções do Nível de Estação Relacionadas ao Nível do Processo com as Funções do Nível de Estação Relacionadas ao Nível da Interface. O software do concentrador deverá modelar todos os dispositivos da subestação em dispositivos lógicos e nós lógicos e prover os serviços de comunicação. O concentrador também atua como gateway operando no nível de estação, viabilizando a comunicação com os centros de operação existentes utilizando os protocolos padrão da área elétrica IEC61870-5-101, IEC61870-5-104, DNP3.0 em interface serial assíncrona e DNP3.0 em TCP/IP rede. A Unidade Conversora atuando no nível de processo deverá efetuar a modelagem de dois tipos de dispositivos: dispositivos não inteligentes e IED's que não atendam ao padrão IEC61850. Os dispositivos do nível do processo (process level devices) são tipicamente módulos de aquisição e controle remotos, sensores inteligentes, atuadores inteligentes, etc.

1.5 Contribuições Esperadas

1. Facilitar a introdução de novos dispositivos na rede de supervisão e controle da usina através das ferramentas de configuração automática. Estas ferramentas deverão utilizar recursos de inteligência artificial para gerar os arquivos de configuração em formato XML a partir das informações obtidas dos próprios dispositivos e das bases de dados. Deseja-se com isso, reduzir a probabilidade de falhas de configuração causadas por entrada de dados incorreta;
2. O ambiente padronizado IEC61850 deverá permitir o desenvolvimento de ferramentas de reconhecimento de padrões e de configuração automática que podem ser utilizados em outras instalações que possuam o mesmo padrão. Esta é a principal característica inovadora desta proposta, aplicar os recursos de inteligência artificial e reconhecimento de padrões em objetos de informação que obedecem ao padrão IEC 61850 especificamente para usinas hidrelétricas;
3. Aumento da confiabilidade de todo o sistema de geração de energia através da detecção automática de possíveis situações de falha ou pré-falha do sistema como um todo e dos dispositivos individualmente. Estas situações deverão ser detectadas automaticamente e informadas aos operadores através de mensagens específicas. Este recurso é muito importante, já que frequentemente os operadores são sobrecarregados com excesso de informações e com pouco tempo para analisá-las. Desta forma, os algoritmos de reconhecimento de padrões identificam as ocorrências padrão através de um conjunto de eventos e informam ao operador para que ele tome as providências necessárias.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A introdução da Norma IEC61850 no setor elétrico tem possibilitado o desenvolvimento de novos conceitos e filosofias de aplicação no ambiente de sistemas de automação de subestações e usinas hidrelétricas. Particularmente, os recursos de comunicação atualmente disponíveis oferecem novas soluções na integração de sistemas de proteção, controle, medição, monitoramento e supervisão de sistemas elétricos de geração, transmissão e distribuição.

Um dos principais objetivos da nova norma internacional IEC61850 é o de garantir a interoperabilidade entre dispositivos microprocessados (IEDs) de diferentes fabricantes, permitindo o uso e a troca irrestrita de dados a fim de que sejam realizadas suas funcionalidades dedicadas individuais. Assim, por interoperabilidade entende-se a habilidade de dois ou mais IEDs de um mesmo fabricante, ou de fabricantes diferentes, de trocar informações e usar estas informações para uma correta cooperação. De acordo com Brand et al. [17] “Interoperability according to the standard IEC 61850 means the capability of two or more intelligent electronic devices (IEDs) to exchange information and to use it in the performance of their functions for correct cooperation.”

Esta necessidade surge, basicamente, da dificuldade encontrada nos processos de integração de informações durante as diferentes etapas de implementação na automação de usinas geradoras e subestações, principalmente quando distintos objetos, freqüentemente de diferentes fornecedores, devem ser integrados. A Norma IEC61850 surge então como um requisito de mercado, e é baseada em fortes argumentos de funcionalidades comprovadas, evolução tecnológica, especificações de clientes e de métodos de engenharia disponibilizados pelos fabricantes.

A Norma IEC61850 estabelece um padrão aberto, à prova de futuro, permitindo salvaguardar os investimentos com relação aos fornecedores e acompanhar a tecnologia para futuras extensões de “bays” ou funções. Particularmente, esta norma não apenas estabelece o mais avançado e universal padrão para comunicação, mas também um padrão orientado a sistemas para automação de usinas geradoras e subestações e seus aspectos, tais como:

- ⌚ Recomendações para gerenciamento de sistemas e projetos;
- ⌚ Modelo de dados de domínio específico, incluindo regras para extensão funcional;
- ⌚ Serviços do sistema de domínio específico;
- ⌚ Linguagem de configuração da subestação;
- ⌚ Testes de conformidade.

Na abordagem de comunicação, o principal aspecto está relacionado com o fato de que a norma não se prende à rápida mudança da tecnologia de comunicação, mas sim no modelo de dados de objetos, ou seja, em partes de funções que são comuns em usinas geradoras, tais como turbinas, geradores, disjuntores, controladores e proteção, e que podem trocar dados entre si. Estes dados, por sua vez, possuem atributos como estampas de tempo ou validade, que devem ser conhecidos ou ajustados para a correta operação do sistema de automação de processos. O acesso ou troca de dados é então definido pela padronização de serviços. Isto garante a Estabilidade de Longo Prazo: a norma deve ser à prova de futuro, isto é, deve estar apta a seguir o progresso na tecnologia de comunicação, assim como a evolução das exigências do sistema.

Na abordagem de modelo, o fator fundamental é a identificação das exigências de comunicação e da modelagem de dados. Para isso, todas as funções na usina foram divididas em objetos menores denominados Nós Lógicos ou LN, do inglês Logical Node, que comunicam entre si e possuem todas as informações a serem transmitidas. Os Nós Lógicos podem estar alocados em múltiplos dispositivos e níveis de controle, permitindo por parte do usuário a utilização de qualquer filosofia de sistema. Isto garante a Livre Alocação de Funções: a norma deve

suportar diferentes filosofias e permitir uma livre alocação de funções, isto é, deve trabalhar igualmente para conceito centralizado ou descentralizado.

Finalmente a abordagem de engenharia estabelece a linguagem de configuração (SCL) que descreve o modelo de dados com todas as suas opções, a alocação dos nós lógicos (LNs) aos diferentes dispositivos, todos os canais de comunicação, e a alocação de funções aos equipamentos. Esta linguagem é usada para garantir a troca de dados entre as ferramentas de configuração de sistemas de diferentes fabricantes durante o processo de engenharia. Isto garante a Interoperabilidade: habilidade dos dispositivos microprocessados de um ou diversos fabricantes em trocar informações e utilizar as informações para suas próprias funções. A SCL é baseada na Extensive Mark-up Language (XML). A XML é uma linguagem de alto nível que pode ser usada para construir arquivos de texto que descrevem dados estruturados específicos para as aplicações. Esta linguagem é composta por arquivos de dados que podem ser gerados e lidos diretamente pelo usuário. A linguagem XML é independente do hardware, do software e da aplicação.

A norma internacional IEC 61850, teve o início de sua elaboração no ano de 1995 pelo comitê técnico TC57, que trata de equipamentos e sistemas para controle do sistema de potência, grupo de trabalho WG18, e seguiu o processo completo de discussões, votações e aprovações, conforme apresentado abaixo, até chegar em 2003 quando teve o seu rascunho final (FDIS – *Final Draft International Standard*) emitido e posteriormente, e ainda neste ano para algumas de suas partes, a sua versão definitiva (IS – *International Standard*). Seqüência evolutiva dos documentos dentro da IEC:

- New Work Item Proposal (NWIP)
- Working Draft (WD)
- Committee Draft (CD)
- Committee Draft for Voting (CDV)
- Final Draft International Standard (FDIS)
- International Standard (IS)

Esta norma trouxe uma quantidade significativa de inovações para a integração de equipamentos e sistemas no ambiente de subestações e usinas geradoras. Em sua primeira edição a norma IEC 61850 foi emitida consistindo das seguintes partes, sob o título genérico de *Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações*:

Parte 1: Introdução e visão geral

Parte 2: Glossário

Parte 3: Requerimentos gerais

Parte 4: Gerenciamento de sistema e projeto

Parte 5: Requerimentos de comunicação para funções e modelos de dispositivos

Parte 6: Linguagem descritiva de configuração para comunicação em subestações elétricas relacionados a dispositivos eletrônicos inteligentes

Parte 7-1: Estrutura básica de comunicação para subestação e equipamentos de alimentadores – Princípios e modelos

Parte 7-2: Estrutura básica de comunicação para subestação e equipamentos de alimentadores – Interface de serviço de comunicação abstrata (ACSI – em inglês)

Parte 7-3: Estrutura básica de comunicação para subestação e equipamentos de alimentadores – *Common Data Classes*

Parte 7-4: Estrutura básica de comunicação para subestação e equipamentos de alimentadores – Classes de *Logical Nodes* e classes de dados compatíveis

Parte 8-1: Mapeamento do Serviço de Comunicação Específico (SCSM – em inglês) – Mapeamento para MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) e para ISO/IEC 8802-3

Parte 9-1: Mapeamento do Serviço de Comunicação Específico (SCSM – em inglês) – Valores amostrados sobre enlace serial unidirecional *multidrop* ponto-a-ponto

Parte 9-2: Mapeamento do Serviço de Comunicação Específico (SCSM em inglês) – Valores amostrados sobre ISO/IEC 8802-3

Parte 10: Teste de conformidade

A necessidade de criação de uma nova parte deu-se principalmente porque as partes acima listadas foram desenvolvidas visando padronização de sistemas de automação de subestações apenas. A parte 7-410: ***Plantas Hidrelétricas – Comunicação para monitoramento e controle***, que inicialmente foi chamada de IEC 62344, teve início de sua elaboração no ano de 2003 passando pelas etapas de discussões e votações no ano de 2005, tendo seu rascunho final emitido no ano de 2007. Esta parte trouxe consigo alterações importantes, tendo como escopo principal especificar, *Logical Nodes*, *Data Objects* e *Common Data Classes* para aplicação integral da norma IEC 61850 em usinas hidroelétricas [13]. A previsão para emissão da segunda edição completa da norma IEC 61850, incluindo a Parte 7-410, está prevista para metade de 2011, de acordo com o planejamento do IEC *Working Group* 18.

A unidade geradora, no modelo proposto, é composta de turbina, gerador e um conjunto de equipamentos auxiliares. Já o transformador elevador não tem uma relação unívoca com a unidade geradora, como pode ser observado no caso de pequenas centrais hidrelétricas, onde mais de um conjunto turbina-gerador estão associados ao mesmo transformador. Por este motivo ele é tratado independentemente, como parte integrante da subestação. Observa-se também no modelo proposto que a subestação é parte integrante da usina e assim sendo, para este subsistema, a base da norma IEC 61850 é aplicada sem alterações. Estas e outras definições iniciais foram estabelecidas de princípio como base estrutural para construção da toda a modelagem da parte 7-410. Foram estabelecidos também princípios de controle para:

- Controle da água em rios: Controle de Fluxo, Controle de Nível e Controle em Cascata (várias usinas no mesmo rio);
- Controle do sistema elétrico e determinação dos estados estáveis: Unidades geradoras podem ser operadas em diferentes modos: Potência ativa, Compensador síncrono e Bombeando água de volta para o reservatório (gerador operando como motor e a turbina como bomba) o Unidades geradoras podem encontrar-se em diferentes estados estáveis: Excitada não conectada; Sincronizada; Sincronizada em compensação síncrona; Operação isolada; Operação para suprimento de energia local apenas.

Os recursos de inteligência artificial que serão utilizados no ambiente IEC61850 basicamente deverão efetuar o reconhecimento de padrões na sequência de eventos (SOE) de proteção e sinalização de estado e também nas informações de medições provenientes de dispositivos elétricos e mecânicos. As informações de aquisição de tempo real juntamente com informações históricas deverão, a princípio, ser aplicados a algoritmos de ANN (Artificial Neural Networks), com o objetivo de reconhecer e prever um conjunto de situações específicas de anomalias tanto nos dispositivos como nos sistemas elétrico e mecânico de geração. Outros recursos de inteligência artificial poderão ser utilizados no decorrer do projeto. Segundo M; Fast e T. Palmé em [24]: “By linking historical operational data to the analysis of plant condition, an optimization of maintenance and performance of a plant becomes possible. Deviations from an expected data pattern could indicate for instance a faulty component or degradation, whereupon warnings and/or alarms can be generated.”

3. ESTUDO DE CASO

A aplicação dos recursos previstos nesse projeto a uma usina geradora podem ser feitos com o mínimo de interferência nos procedimentos de operação. O objetivo é modelar todos os dispositivos eletrônicos, elétricos e mecânicos da usina no padrão IEC61850 e aplicar os recursos de reconhecimento de padrões para auxílio dos procedimentos de operação, configuração e manutenção. As diversas ocorrências que deverão ser reconhecidas automaticamente, serão aprendidas pelo software ANN com o auxílio dos operadores, técnicos e engenheiros responsáveis pela operação e manutenção da usina.

Em uma primeira fase, o equipamento concentrador deverá receber as informações de supervisão dos dispositivos através de canais de comunicação secundários ou pela rede ethernet e efetuar o modelamento dos dispositivos para o ambiente IEC61850. O software do concentrador, desta forma, poderá gerar as informações para supervisão do sistema e permitir o desenvolvimento dos recursos de reconhecimento de padrões a partir de situações reais de ocorrências. Os operadores da usina deverão interagir com o software através de uma interface homem máquina específica, para auxiliar o aprendizado da rede neural com as diversas situações de ocorrências na usina.

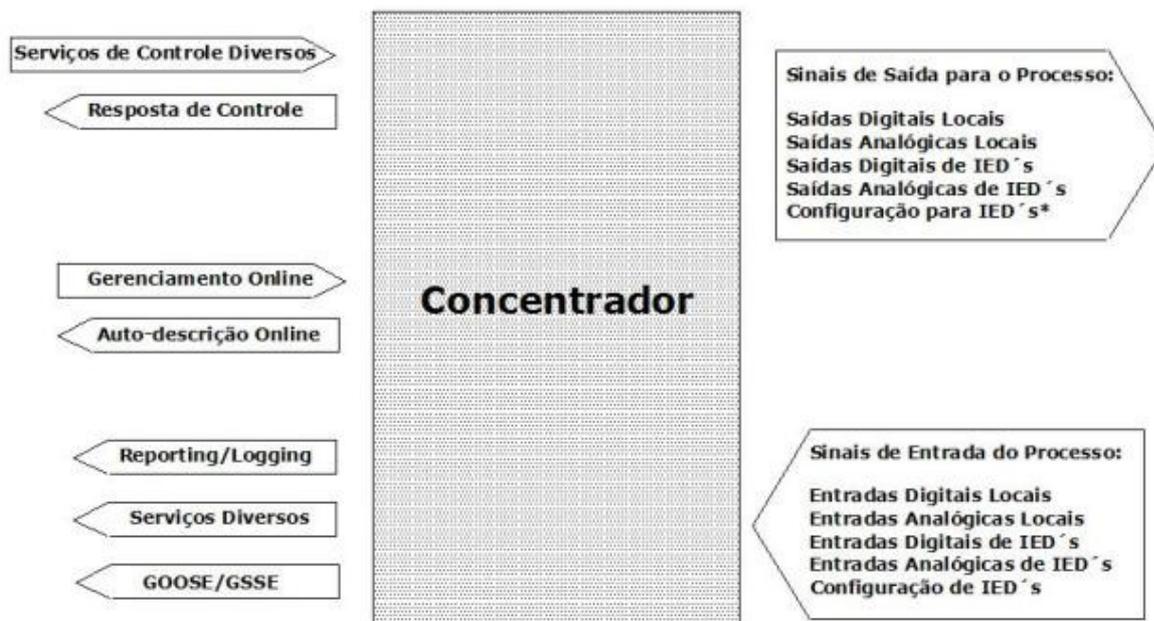
O concentrador deverá efetuar a conversão dos parâmetros definidos na Linguagem de Configuração de Subestação (SCL) para cada um dos IED's conectados. Portanto, a base de dados da CPU mestre deverá conter informações de parametrização e configuração de todos os IED's conectados que não atendem à norma IEC 61850. Esta primeira fase permite ao pessoal da manutenção começar a trabalhar e se familiarizar com Linguagem de Configuração de Subestação (SCL). Esta primeira fase de implantação também permite a instalação de IHM's locais com softwares SCADA e estações de trabalho já no padrão IEC 61850. É importante observar que a possibilidade de configuração e parametrização dos IED's dependerá da disponibilidade da documentação das mensagens usadas para este propósito pelos fabricantes. No caso do Concentrador, as mensagens do tipo GOOSE e GSSE geradas são enviadas somente para os equipamentos do nível de estação.

Tabela 1 - Interfaces Utilizadas no Concentrador

Número	Descrição
IF1	Troca de dados de proteção entre o nível de bay e o nível de estação
IF3	Troca de dados dentro do nível de bay (interno)
IF5	Troca de dados de controle entre o nível de processo e o nível de bay (interno)
IF6	Troca de dados de controle entre o nível de bay e o nível de estação
IF7	Troca de dados entre o nível de subestação e uma estação de trabalho de engenharia remota
IF10	Troca de dados de controle entre os dispositivos da subestação e um centro de controle remoto. O Concentrador pode efetuar a tarefa de gateway, disponibilizando canais de comunicação para o mundo exterior

Tabela 2 - Tipos de Mensagens Utilizadas no Concentrador

Tipo	Nome	Exemplos
1 ^a	Mensagens rápidas - trip	Trips
1b	Mensagens rápidas – outras	Comandos e mensagens simples
2	Mensagens de média velocidade	Medidas
3	Mensagens de baixa velocidade	Parâmetros
5	Funções de transferência de arquivos	Grandes arquivos
6b	Mensagens de Sincronização de Tempo b	Sincronização de tempo: barramento do processo
7	Mensagens de comando com controle de acesso	Comandos provenientes da IHM



Modelo de Entrada/Saída para o Concentrador

Na segunda fase, os equipamentos já convertidos utilizando-se o equipamento Unidade Conversora e os novos equipamentos já no novo padrão IEC61850 deverão trocar informações com o equipamento concentrador utilizando-se os recursos IEC61850 através da rede ethernet da usina. Desta forma, ao final da migração, todos os dispositivos e equipamentos deverão estar conectados a uma rede ethernet duplicada por segurança, a qual permitirá que as informações sejam trocadas entre os próprios dispositivos e entre estes e o Concentrador. As Unidades Conversoras poderão também efetuar o reconhecimento de padrões utilizando-se as informações disponíveis, mas o equipamento Concentrador deverá centralizar os procedimentos de reconhecimento de ocorrências e situações específicas. Nesta fase, o sistema deverá ser descentralizado, ou seja, deverá ser criada uma rede ethernet na subestação para receber a conexão de todos os dispositivos. Para isto deverão ser instalados switches e conversores de fibra ótica onde estes equipamentos não existam ou onde a capacidade de conexões não seja suficiente. A utilização de cabo UTP ou fibra ótica deverá ser feita de acordo com as condições do local.

Os novos equipamentos que atendem ao padrão IEC 61850 deverão ser conectados diretamente à rede e os equipamentos que não atendem ao padrão deverão receber Unidades Conversoras (UC's). Deverá ser instalada uma Unidade Conversora (UC) para cada IED que não atenda ao padrão IEC 61850 e para cada dispositivo não inteligente para permitir a direta conexão à rede da subestação. A Unidade Conversora poderá operar no nível de processo e no nível de bay. Deverá ser feito um planejamento de instalação gradual das Unidades Conversoras.

A Unidade Conversora atuando no nível de processo deverá efetuar a modelagem de dois tipos de dispositivos: dispositivos não inteligentes e IED's que não atendam ao padrão IEC61850. Os dispositivos do nível do processo (process level devices) são tipicamente módulos de aquisição e controle remotos, sensores inteligentes, atuadores inteligentes, etc.

- Os dispositivos não inteligentes normalmente são os seguintes: disjuntores, chaves seccionadoras, relés de proteção eletromecânicos ou eletrônicos, relés de proteção digitais que não possuem interface de comunicação, transformadores de corrente (TC's), transformadores de potencial (TP's). A UC deverá fazer a interface com estes dispositivos através de entradas digitais, saídas digitais, entradas analógicas e saídas analógicas;

- Os dispositivos inteligentes ou IED's que não atendem ao padrão IEC 61850 normalmente são relés de proteção digitais, multimetrodigitais, UTR's e UAC's que utilizam os protocolos DNP3.0, MODBUS, IEC60870-5-103, IEC60870-5-101, IEC60870-5-104 ou qualquer protocolo proprietário em interface serial assíncrona ou em TCP/IP. As informações de alta velocidade e alta prioridade tais como a atuação de contato de trip de relés digitais podem ser obtidas por leitura de contatos de saída destes equipamentos.

O hardware da UC deverá ser de alta confiabilidade atendendo aos requisitos recomendados pelo IEC60870 de compatibilidade eletromagnética, alimentação, condições climáticas, choque e vibração. A instalação poderá ser feita em cubículos e caixas externas. Requisitos de performance: alta velocidade de processamento, alta confiabilidade. Envio e Recebimento de mensagens de alta velocidade. Geração de mensagens do tipo Sample Values a partir de TC's e TP's em tempo real. Função de merging, combinando mensagens de SV's de TC's e TP's para cálculo das medidas elétricas. Deverão existir diversas versões da UC para cada aplicação. Uma UC poderá converter somente um dispositivo ou um conjunto de dispositivos ou todos os dispositivos de um bay. O Concentrador deverá entrar no contexto da segunda fase de migração com as seguintes atribuições:

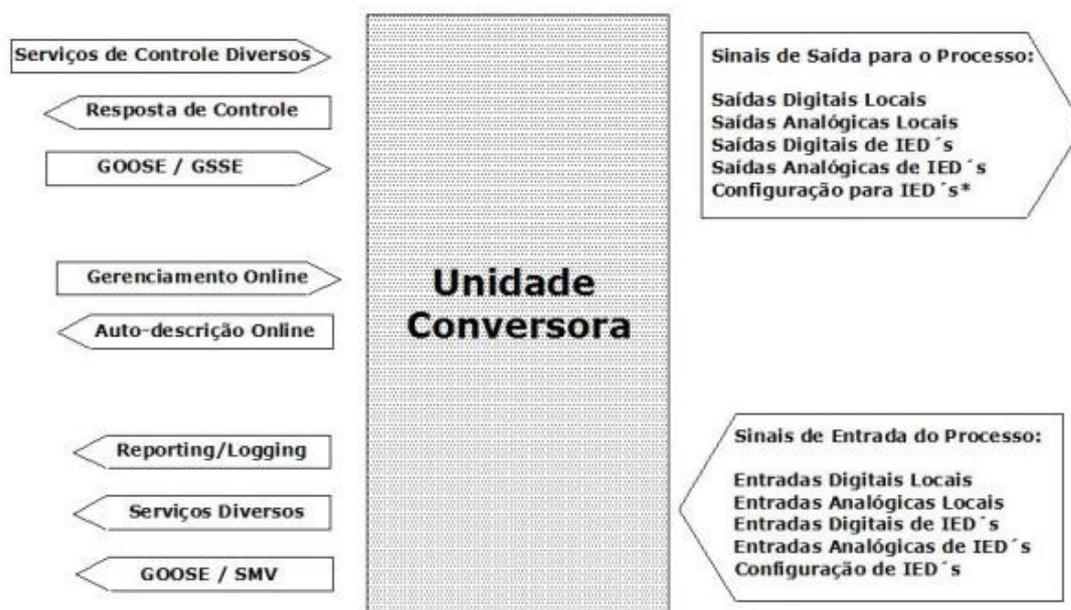
- Servir como gateway para o mundo exterior, possibilitando a comunicação com os centros de controle utilizando os protocolos padrão da área elétrica;
- Servir como uma Unidade Conversora de Bay de alta capacidade;
- Rodar o software de reconhecimento de padrões para toda a usina.

Tabela 3 - Interfaces Utilizadas na Unidade Conversora

Número	Descrição
IF1	Troca de dados de proteção entre o nível de bay e o nível de estação
IF3	Troca de dados dentro do nível de bay
IF4	Troca de dados instantâneos entre os TC's e TP's e o nível de bay (principalmente amostras)
IF5	Troca de dados de controle entre o nível de processo e o nível de bay
IF6	Troca de dados de controle entre o nível de bay e o nível de estação
IF7	Troca de dados entre o nível de subestação e uma estação de trabalho de engenharia remota
IF8	Troca de dados direta entre bays especialmente para funções rápidas como intertravamento
IF9	Troca de dados dentro do nível de estação

Tabela 4 - Tipos de Mensagens Utilizadas na Unidade Conversora

Tipo	Nome	Exemplos
1 ^a	Mensagens rápidas - trip	Trips
1b	Mensagens rápidas – outras	Comandos e mensagens simples
2	Mensagens de média velocidade	Medidas
3	Mensagens de baixa velocidade	Parâmetros
4	Mensagens de dados brutos	Dados de saída de transdutores e transformadores
5	Funções de transferência de arquivos	Grandes arquivos
6b	Mensagens de Sincronização de Tempo b	Sincronização de tempo: barramento do processo
7	Mensagens de comando com controle de acesso	Comandos provenientes da IHM



Modelo de Entrada/Saída para a Unidade Conversora

4. CRONOGRAMA

4.1 Disciplinas (2011/1 – 2011/2):

4.1.1 Obrigatórias (12 créditos a realizar):

- 364011 – Métodos Matemáticos para Engenharia – 4 créditos
- 364266 – Instrumentação – 4 créditos
- 364649 – Sistemas Dinâmicos Lineares – 4 créditos

4.1.2 Optativas (12 créditos já realizados como aluno especial, solicitar validação):

- 363782 – Projeto de Circuitos Integrados de Aplicação Específica – 4 créditos (2009/1);
- 375144 – Instrumentação em Biomecânica – 4 créditos (2010/1);
- 363553 – Dispositivos Semicondutores para Microondas e Eletroóticos– 4 créditos (2010/1).

4.1.3 Optativas (8 créditos a realizar, Estudos Dirigidos):

- – Gestao de Desenvolvimento de Produto – 4 créditos
- – Estudo Dirigido – 4 créditos

4.2 Cronograma físico

Fases do Projeto	2011-1	2011-2	2012-1	2012-2	2013-1	2013-2	2014-1	2014-2
Pesquisa e Desenvolvimento de algoritmos e procedimentos	■	■	■	■				
Desenvolvimento de Hardware e Software do Concentrador		■	■					
Desenvolvimento de Hardware e Software da Unidade Conversora		■	■					
Disciplina: Gestão de desenvolvimento de produto	■							
Estudo dirigido 2		■						
Desenvolvimento do software de reconhecimento de padrões			■	■				
Elaboração e defesa da qualificação				■				
Coleta de dados e validação do modelo			■	■	■	■	■	
Finalização e defesa da Tese					■	■	■	■

5. PLANO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Publicar e apresentar pelo menos 20 (vinte) papers em revistas internacionais classificadas na CAPES como Qualis A, publicações, seminários e simpósios nacionais e internacionais da área de sistemas elétricos de potência:

- Journal of Quality in Maintenance Engineering;
- International Journal of Smart Engineering System Design;
- Reliability Engineering and System Safety
- CIGRÉ (International Council on Large Electric Systems);
- SIMPASE (Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos);
- Revista Eletroevolução (CIGRÉ Brasil);
- SNPTEE (Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica);
- Revista PACWorld;
- Revista ELECTRA (CIGRÉ);

6. REFERÊNCIAS

- [1] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 1: INTRODUCTION AND OVERVIEW; TECHNICAL REPORT; IEC TR 61850-1. 2003.
- [2] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 2: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – GLOSSARY; IEC TS 61850-2. 2003.
- [3] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 3: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – GENERAL REQUIREMENTS; IEC 61850-3. 2003.
- [4] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 4: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – SYSTEM AND PROJECT MANAGEMENT; IEC 61850-4. 2003.
- [5] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 5: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Communication requirements for function and device models; IEC 61850-5. 2003.
- [6] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 6: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – CONFIGURATION DESCRIPTION LANGUAGE FOR COMMUNICATION IN ELECTRICAL SUBSTATIONS RELATED TO IED's; IEC 61850-6. 2003.
- [7] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 7-1: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – PRINCIPLES AND MODELS; IEC 61850-7-1. 2003.
- [8] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 7-2: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – ABSTRACT COMMUNICATION SERVICE INTERFACE ACSI; IEC 61850-7-2. 2003.
- [9] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 7-3: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – COMMON DATA CLASSES; IEC 61850-7-3. 2003.
- [10] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 7-4: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – COMPATIBLE LOGICAL NODE CLASSES AND DATA CLASSES; IEC 61850-7-4. 2003.
- [11] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 8-1: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – SPECIFIC COMMUNICATION SERVICE MAPPING TO MMS (ISO 9506-1 AND ISO 9506-2) AND TO ISO/IEC 8802-3; IEC 61850-8-1. 2003.
- [12] IEC International Electrotechnical Commission. Communication networks and systems in substations – Part 9-1: BASIC COMMUNICATION STRUCTURE FOR SUBSTATION AND FEEDER EQUIPMENT – SPECIFIC COMMUNICATION SERVICE MAPPING (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3; IEC 61850-9-1. 2003.
- [13] FDIS IEC 61850-4-710 – “Hydroelectric power plants – Communication for monitoring and control”, TC 57 WG 18, IEC:2007.
- [14] Isidro Calvo, Marga Marcos, Dario Orive and Isabel Sarachaga. A METHODOLOGY BASED ON DISTRIBUTED OBJECT-ORIENTED TECHNOLOGIES FOR PROVIDING REMOTE ACCESS TO INDUSTRIAL PLANTS. Department of Automatic Control and System Engineering, E.T.S.I de Bilbao (University of the Basque Country), Alameda Urquijo, s/n, 48013, Bilbao, Spain

- [15] F. Hohlbaum, L. Hossenlopp, G. Wong. CONCEPT AND FIRST IMPLEMENTATION OF IEC 61850. CIGRÉ B5-110.
- [16] K.P. Brand, C. Brunner, W. Wimmer. CONCEPT DESIGN OF IEC 61850 BASED SUBSTATION AUTOMATION SYSTEMS ACCORDING TO CUSTOMER REQUIREMENTS. CIGRÉ B5-103.
- [17] Klaus-Peter Brand, Peter Rietmann, Tetsuji Maeda, Wolfgang Wimmer. REQUIREMENTS OF INTEROPERABLE DISTRIBUTED FUNCTIONS AND ARCHITECTURES IN IEC 61850-BASED SA SYSTEMS. CIGRÉ B5-110.
- [18] Karlheinz Schwarz. IEC 61850 ALSO OUTSIDE THE SUBSTATION FOR THE WHOLE ELECTRICAL POWER SYSTEM. Schwarz Consulting Company (SCC) Karlsruhe, Germany.
- [19] Karlheinz Schwarz. IEC 61850, IEC 61400-25 AND IEC 61970: INFORMATION MODELS AND INFORMATION EXCHANGE FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS. Schwarz Consulting Company (SCC) Karlsruhe, Germany.
- [20] Tatjana Kostic*, Otto Preiss, Christian Frei: UNDERSTANDING AND USING THE IEC 61850: A CASE FOR META-MODELLING. Corporate Research, ABB Switzerland Ltd., 5405 Daettwil, Switzerland. Computer Standards & Interfaces 27 (2005) 679–695. ELSEVIER. Science Direct.
- [21] Otto Preiss, Alain Wegmann: TOWARDS A COMPOSITION MODEL PROBLEM BASED ON IEC61850. Corporate Research, ABB Switzerland Ltd., Im Segehof, CH-5405 Baden-Daettwil, Daettwil 5405, Switzerland. DSC-ICA, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne 1015, Switzerland. The Journal of Systems and Software 65 (2003) 227–236. ELSEVIER. Science Direct.
- [22] Su Sheng a,b,* , Duan Xianzhong a,* , W.L. Chan c, Li Zhihuan: ERRONEOUS MEASUREMENT DETECTION IN SUBSTATION AUTOMATION SYSTEM USING OLS BASED RBF NEURAL NETWORK. a College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, PR China, College of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410077, PR China Department of Electrical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China. ELSEVIER. Science Direct.
- [23] José M. Font, Daniel Manrique, Juan Ríos: EVOLUTIONARY CONSTRUCTION AND ADAPTATION OF INTELLIGENT SYSTEMS. Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid, Campus de Montegancedo, 28660 Boadilla del Monte, Madrid, Spain. ELSEVIER. Science Direct.
- [24] M. Fast, T. Palmé: APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO THE CONDITION MONITORING AND DIAGNOSIS OF A COMBINED HEAT AND POWER PLANT. Division of Thermal Power Engineering, Department of Energy Sciences, Lund University, P.O. Box 118, S-221 00 Lund, Sweden, Department of Mechanical and Structural Engineering and Materials Science, University of Stavanger, N-4036 Stavanger, Norway. ELSEVIER. Science Direct.
- [25] Hede Ma, Ph.D.: PATTERN RECOGNITION USING NEURAL NETWORKS. Assistant Professor Department of Engineering Technology Savannah State College Savannah, GA 31404.