

Convergência de Comunicação em UHEs Utilizando Framework 61850

Sérgio Cechin

Instituto de Informática

UFRGS

Email: cechin@inf.ufrgs.br

João Netto

Instituto de Informática

UFRGS

Email: netto@inf.ufrgs.br

Marcelo Carniel

ALTUS-SA

Email: marcelo.carniel@altus.com.br

Carlos Carvalho Nascimento

Enel

Email: carlos.nascimento@enel.com

Resumo—Neste artigo propõe-se a utilização de um Modelo Unificado para a Comunicação entre os vários elementos componentes do sistema de automação das Usinas Hidrelétricas (UHE), tomando-se por base o corpo de conhecimento em comunicação de informação da área da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) e o caso de aplicação dos mecanismos de comunicação especificados na norma IEC-61850 durante o processo de modernização da automação de uma Unidade Geradora Hidrelétrica de 100MW.

I. INTRODUÇÃO

Os requisitos para construção de novos sistemas de automação de UHEs – Usinas Hidroelétricas – ou a modernização dos já existentes não são completamente atendidos pelas arquiteturas de comunicação tradicionais de automação, que têm as suas características de utilização concebidas na década de 80. Os atuais sistemas de automação podem ser vistos como uma instância específica de um Cyber-Physical System (CPS) [1], [2] onde se faz a integração das áreas de redes e comunicação, computação e dos sistemas físicos amostrados. Os requisitos para os sistemas de automação contemporâneos [3], [4] são listados a seguir:

Modelo de dados baseado nas funcionalidades do processo.

O modelo de dados e de comunicação deve ser baseado nas funcionalidades do sistema. Com base nas funcionalidades pode-se construir um diagrama de objetos independentes, bem como seus canais de comunicação, de forma independente de sua implantação. Essa abordagem possibilita a divisão dos programas em módulos e a separação das funcionalidades entre os equipamentos da planta, o que permite a programação distribuída de cada bloco funcional.

Comunicação baseada na informação.

A comunicação deverá ser estabelecida pela necessidade de informação do consumidor dos dados, de forma que cada elemento do sistema possa se apropriar das informações necessárias para seu processamento. A comunicação não deverá estar baseada em endereços físicos específicos de equipamentos, referências a posições de memória ou em uma sequência pré-determinada independente da semântica dos dados. A comunicação baseada na informação, os dados e seu significado, permite que

futuras modificações no tipo e quantidade de valores transmitidos não exijam modificações nas estratégias de comunicação o que reduz a possibilidade de falhas. A integração com outros equipamentos e com a rede de supervisão e controle pode ser realizada de forma automática.

Modelagem baseada em objetos.

O modelo de objetos comunicantes permite que o processamento de uma tarefa seja independente da forma como os dados são disponibilizados para comunicação. Nesse tipo de modelo a forma de processamento pode ser alterada sem que seja necessária a modificação dos dados de configuração e de resultados conhecidos por outros objetos. Este tipo de estratégia permite que a automação seja distribuída e baseada na funcionalidade do sistema. Objetos específicos para gerência de ativos e de diagnóstico podem ser adicionados sem modificações ou intervenções na lógica de automação.

Facilidade de migração.

É desejável que a migração da automação convencional para um novo modelo siga uma transição “suave”, com pequenas modificações da lógica de automação a cada etapa de desenvolvimento, a fim de evitar a descontinuidade de funcionamento do sistema. A migração deve ser realizada em etapas, onde a modelagem de objetos seja confinada ao modelo de *containers* de variáveis e, em uma fase posterior, as várias pequenas modificações na programação sejam integradas ao sistema como um todo. Um modelo de comunicação único permite a transformação gradual do sistema de automação através do comissionamento independente de cada etapa de modificação do sistema sem impacto nos demais componentes.

Facilidade de construção de novos modelos de engenharia.

Através da modularização e da orientação a objetos, dados de diagnóstico de monitoração auxiliar podem ser coletados sem a interferência na lógica de controle, o que permite a construção de novos modelos de engenharia para o gerenciamento de ativos e de manutenção preditiva e preventiva.

Utilização de uma rede única de automação.

A utilização de um barramento de campo integrado para dados de processos com finalidade de controle reduz o número de cabos necessários na planta, reduzindo o potencial de falhas de conexão. O barramento de campo utilizado deve atender, para o número de pontos avaliados pelas UACs e eventuais dispositivos inteligentes, o tempo de resposta equivalente ao de uma conexão ponto-a-ponto com cada elemento de E/S (elementos de entrada e saída). A conversão de protocolos já utilizados nos sistemas de automação pode ser realizada no primeiro elemento de comunicação com a rede única, eliminando a necessidade de múltiplos drivers no sistema de supervisão e controle. A adição de protocolos de comunicação sem fio, em especial para dados relativos às condições de operação dos elementos do sistema podem ser adicionados com a utilização de gateways ligados diretamente ao backbone integrado de comunicação.

Todos os requisitos citados estão relacionados ao modelo de comunicação utilizado no sistema de automação. A utilização de modelos diversos, que atendam apenas um ou mais dos requisitos e que devam ser compatibilizados em um elemento central de supervisão e controle (SCADA), aumenta a complexidade da solução adotada. Tal complexidade se traduz em um tempo maior no desenvolvimento do sistema, em dificuldade de integração de ferramentas de operação e na falta de dados para um sistema de gestão e manutenção eficazes.

Um modelo unificado de comunicação permite que, no mesmo framework, trafeguem dados referentes ao processo de geração e operação do sistema, informações de diagnósticos instantâneos, referência sobre a qualidade dos dados amostrados do processo e informações auxiliares relativas ao gerenciamento de ativos e dados adicionais sobre as condições de funcionamento para alimentar sistemas de manutenção preditiva. A tradução intermediária de protocolos de sistemas legados nos equipamentos de controle, permite que a forma de comunicação com o elemento central de supervisão seja única. Esta forma convergente de comunicação traz ganhos temporais na modernização da automação de Unidades Geradoras, ganho de qualidade nas rotinas de manutenção e ganho na integração de sistemas na operação dos sistemas.

A seção 2 mostra algumas possibilidades de integração da comunicação. A seção 3 aborda a utilização do framework IEC61850 como modelo de dados e de comunicação com a unidade de supervisão e controle na automação de UHEs. A Seção 4 aborda os aspectos práticos da aplicação no projeto piloto de modernização da automação de uma Unidade Geradora de 100MW em uma UHE.

II. MODELOS INTEGRADOS DE COMUNICAÇÃO

Pode-se citar pelo menos dois conjuntos de protocolos que foram especificados de forma integrada: os protocolos de comunicação da IEC-61850 [5] e o OPC-UA – *OLE for Process Control - Unified Architecture* – [6].

A IEC-61850 é uma norma utilizada para padronizar a forma de acesso aos vários elementos da usina de geração de energia, enquanto que o OPC-UA visa fornecer uma arquitetura unificada independente de plataforma. Como se pode perceber, nenhuma delas é uma proposta de um Modelo de Comunicação Unificado. Entretanto, cada uma delas possui integrados às suas definições um conjunto de mecanismos de onde emerge, naturalmente, uma implementação de um Modelo Unificado.

Notar que esses padrões foram concebidos para atender a conjuntos distintos de requisitos de sistemas de controle. Aqui estamos interessados no aspecto protocolos de comunicação para viabilizar um Modelo Unificado de Comunicação, que é atendido parcialmente por cada um deles.

A. IEC-61850

A norma IEC-61850 era, originalmente, aplicável aos sistemas de automação de subestações de energia elétrica (SAS – *Substation Automation Systems*). Entretanto, em suas novas versões, foi estendida para a aplicação em sistemas de automação de unidades de geração de energia elétrica. Ela padroniza, entre outros, a comunicação entre dispositivos eletrônicos inteligentes (na nomenclatura da norma, os IEDs – *Intelligent Electronic Devices*), que são os vários componentes da subestação ou usina de geração.

Um dos aspectos interessantes da norma é que ela não pretende normatizar, de forma rígida, os sistemas. Na norma está escrito: “...*but the purpose of the standard is neither to standardise (nor limit in any way) the functions involved*”. Dessa forma, a norma utiliza, na medida do possível, todos os recursos já disponíveis nas plantas de energia. Isso gera algumas dificuldades, incluindo problemas de interoperação entre dispositivos, que deveriam ser compatíveis, por seguirem a mesma norma.

Por outro lado, as funcionalidades típicas das plantas foram identificadas e descritas, de maneira a expor, de forma padronizada, suas necessidades de comunicação. As funcionalidades são representadas através de “objetos” chamados de *Logical Nodes* (LN). De forma semelhante aos objetos, eles possuem uma interface, através da qual pode-se interagir com o LN, lendo informações de estado ou atuando sobre seus controles.

Os LNs têm suas interfaces definidas de tal forma que existem membros obrigatórios (*mandatory*) e membros opcionais. Isso faz com que dois fabricantes de dispositivos possam oferecer LNs diferentes para as mesmas funcionalidades. Entretanto, a norma é bastante rígida no que diz respeito às características desses membros das interfaces. Essa rigidez aparece na forma de uma forte “tipagem” de cada membro, segundo um conjunto de tipos definidos na própria norma. Além disso, esses tipos estão associados a mecanismos específicos de comunicação, o que garante uma total compatibilidade na forma como os protocolos carregam as informações.

Na IEC-61850 estão especificados vários protocolos de comunicação, que se caracterizam por manipular as informações segundo o modelo das interfaces dos *Logical Nodes* (objetos) utilizados. Alguns desses protocolos utilizam

o modelo de cliente-servidor enquanto que outros utilizam o modelo de publicador/assinante (*publish/subscriber*). Cada um desses protocolos tem aplicação específica.

O melhor exemplo de protocolo cliente-servidor é o *Manufacturing Message Specification* (MMS), utilizado para obter informações dos dispositivos. Esse é o caso dos equipamentos de supervisão que necessitam das informações dos dispositivos de controle para apresentação dos dados nos painéis de controle e monitoramento.

Como exemplo de protocolos do modelo publicador/assinante pode-se citar o GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*). Esse protocolo tem por aplicação a troca de informações quando existem restrições temporais. Para isso, são utilizados os DATA-SETs. Esses conjuntos de dados são transmitidos em uma única mensagem e na forma de *broadcast* ou *multicast*. Dessa forma, todos os dispositivos inscritos para receber uma determinada informação podem obtê-la desse conjunto de dados transferido na mensagem.

Percebe-se que cada protocolo foi projetado para atender a um conjunto diferente de requisitos. Entretanto, ambos baseiam-se em um modelo de objetos, os *Logical Nodes* (LNs) que oferecem uma interface bem definida. Os LNs oferecem um Modelo Único (e portanto unificado) de Informação.

Um aspecto a ser contornado é que não há previsão de padronização de mecanismos de segurança da informação. Essa é uma limitação que não impacta na unificação da comunicação, mas que deixa em aberto um requisito cada vez mais presente nos sistemas de controle.

B. OPC-UA

OPC-UA é um padrão, mantido pela OPC Foundation, que visa permitir a interoperação em ambientes de automação industrial, de forma segura e confiável. As características desse padrão são as seguintes:

- Independência de plataforma, permitindo a interoperação entre empresas, máquinas, etc;
- Disponibilidade de um conjunto de controles visando a segurança da informação (*security*)
- Possibilidade de futuras extensões: o chamado “*future proof*”. O padrão prevê a possibilidade de integração de novas tecnologias. Isso contempla novos protocolos de transporte, algoritmos de segurança da informação ou serviços de aplicação
- Mecanismos de comunicação baseados na informação propriamente dita;
- Modelagem dos “dados” como “informação”. O padrão utiliza a orientação à objetos para encapsulamento e modelagem, permitindo a extensão para modelos mais complexos.

De todas as características do padrão salienta-se duas delas, que estão fortemente associadas com os aspectos de uma comunicação unificada: a comunicação baseada na própria informação e a modelagem dos dados como informação. Essas duas características são materializadas no padrão através de vários mecanismos, dos quais pode-se salienta os seguintes:

- Descoberta automática dos servidores OPC disponíveis na rede;
- Espaço de endereçamento representado de forma hierárquica;
- Leitura e escrita das informações sujeitas a controles de acesso;
- Utilização do modelo publicador/assinante para o monitoramento e envio de informações, quando ocorrem alterações, e notificação de eventos;
- Padronização de vários protocolos de transporte, que possibilitam a troca de informações entre componentes, mesmo que usando diferentes protocolos de transporte;
- Mensagens assinadas e transmitidas usando criptografia com chaves de 128 ou 256 bits;
- Mecanismos para autenticação e autorização da troca de informações;

Os mecanismos de comunicação do OPC-UA foram concebidos para atender a um conjunto mais abrangente de requisitos do que a criação de um Modelo Unificado de Comunicação. Entretanto, um Modelo Unificado de Comunicação aparece naturalmente, ao definir-se informações de forma hierárquica, ao padronizarem-se interfaces para vários protocolos de transporte e ao definirem-se mecanismos de envio de informações sob demanda e para sinalização de eventos.

III. MODELO/ARQUITETURA PARA MODERNIZAÇÃO DA AUTOMAÇÃO DE UHES

A análise dos padrões candidatos para permitir um Modelo Unificado de Comunicação mostrou que ambos foram desenvolvidos para atender a outros requisitos, que não a obtenção de um modelo unificado. Entretanto os padrões analisados possuem características que permitem a implantação de um modelo convergente de comunicação. Um modelo convergente de comunicação deve ser suportado por uma série de definições, tais como a definição de interfaces de objetos e seu comportamento previsto, definição de dispositivos físicos, definição de mecanismos de segurança da informação, etc.

Portanto, um modelo unificado requer uma estrutura de suporte. Essa estrutura é proposta nessa sessão, e está representada na figura 1.

Na figura 1 estão presentes cinco tipos de componentes: unidades terminais remotas (UTR), supervisório, base de dados, portal de acesso e rede de comunicação.

As UTRs são as unidades de controle e monitoramento da planta (subestação ou usina de geração). Cada uma opera de forma independente, atuando sobre as partes da planta que controlam e segundo seu programa carregado. É importante observar que as informações usadas por esses componentes para determinar como atuar sobre os componentes físicos da planta pode ser determinado por sinais próprios desses mesmos componentes físicos ou de comandos e informações oriundas de outros componentes da planta.

Obviamente, para que essas várias UTRs possam operar de forma harmônica, os programas assim como as informações

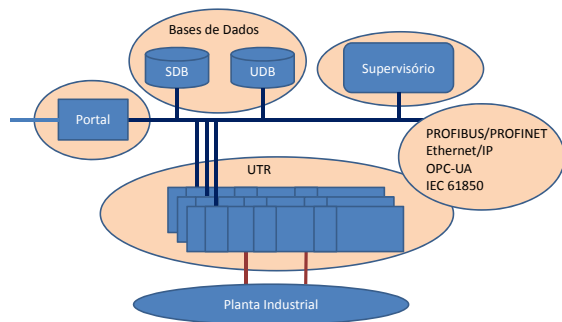


Figura 1. Arquitetura de Suporte para o Modelo Unificado

enviadas para cada UTR devem estar projetados adequadamente. Nota-se que a inteligência que controla a planta está, agora, distribuída pelos vários componentes que formam o sistema de controle. Além disso, como pode ser visto na figura 1, existem outros componentes que vão possibilitar uma operação coordenada de todas as UTRs (que, em última instância, são os componentes responsáveis pela atuação e monitoramento dos dispositivos físicos da planta). É importante salientar que, em plantas de baixa complexidade, a existência de uma única UTR poderia atender a todos os requisitos de controle. Entretanto, nas plantas modernas, a utilização de uma única UTR apresenta uma dificuldade operacional chamada *single point of failure* (se ocorresse uma falha nessa UTR toda a planta seria atingida). As opções de redundância aumentam o custo, e leva a um patamar comparável a um sistema distribuído em UTRs com um menor número de pontos de controle.

O supervisório é responsável pela interface com o operador para a atuação e monitoramento da planta como um todo. Em plantas complexas, esse componente deve monitorar e atuar sobre várias UTRs. Isso significa ser capaz de endereçar as informações na UTR correta, controlando e apresentando de forma correta cada uma das informações da planta. Esse componente também deve ser capaz de integrar as várias informações em um todo consistente, para apresentação ao operador humano. O supervisório também deve ser capaz de traduzir um comando único do operador humano em vários comandos para mais de uma UTR. Sem dúvida, a implementação de um sistema com a complexidade descrita requer mecanismos automáticos para identificação das informações de cada UTR, o que requer mecanismos unificados de comunicação, sob pena de se ter um sistema com um nível de complexidade intratável.

Cada um dos elementos já citados têm suas próprias bases de dados de operação. Mas isso não é suficiente para garantir a operação da planta. É necessário que cada componente possa disponibilizar suas informações, de forma global, per-

mitindo que possam ser usadas pelos outros componentes no seu processamento. Portanto, é necessário um componente de armazenamento das estruturas de dados relevantes. Além disso, como pode ser visto na figura 1, essa base de dados está dividida em duas partes: uma base de dados não estruturada (UDB – *Unstructured Data Base*) e outra estruturada (SDB – *Structured Data Base*).

A UDB tem por função receber todas as informações provenientes dos vários componentes do sistema, e são dos mais variados tipos e formas. São informações as mais variadas, desde alarmes enviadas pelas UTRs até informações de controle de acesso e tentativas de invasão da rede. Nesses dados serão aplicados algoritmos de *big data*, visando obter informações que possam alimentar a outra parte da base de dados: a parte SDB. Dessa forma, os vários componentes do sistema poderão ter acesso às informações devidamente processadas e filtradas existentes na parte estruturada da base de dados.

Um exemplo bastante simples desse processamento é a padronização das informações fornecidas por diferentes fabricantes de um mesmo tipo de equipamentos, de tal forma que o consumidor das informações da parte estruturada da base de dados não perceberá diferenças desse tipo.

Tradicionalmente, as demandas por segurança da informação foram resolvidas pelo desconhecimento de eventuais atacantes da forma como as redes específicas funcionavam. Entretanto, com a ligação das redes de supervisão e controle às redes administrativas e a necessidade de supervisão remota, esta estratégia não se mostra eficaz. É necessário recorrer a mecanismos mais robustos, emprestados da área das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), que possuem técnicas bem desenvolvidas nas últimas décadas. Mecanismos de autenticação, auditoria/contabilização e autorização (AAA) são técnicas consolidadas nas áreas de permissões de acesso, para citar alguns. Essa é a principal função do portal: operar como um guardião (*gate keeper*) da rede, com função de permitir o acesso aos componentes da rede apenas por aqueles autorizados, registrando todas as operações de cada operador. Deve-se notar que esse componente controla e coordena todas as operações sobre os componentes da rede. Isso inclui a programação das UTRs, o salvamento de documentação de projeto na própria base de dados e a consulta aos registros das operações executadas pelos componentes do sistema.

Finalmente, o último componente do sistema é a rede, por onde vão trafegar os dados trocados entre os outros componentes do sistema. Para isso, serão necessários protocolos de comunicação que viabilizem a operação da rede sem impor obstáculos para alcançar os requisitos de troca de informações dos serviços que estiverem rodando sobre eles.

Operando nas camadas superiores aos protocolos de controle da rede estão os protocolos de troca de informações. Esses protocolos oferecem uma visão unificada da comunicação (Modelo Unificado), que atinge todas as trocas de informação. A forma como esses protocolos realizam essa tarefa é específico a cada um deles. Por exemplo, na IEC-61850 essa

tarefa é realizada através de uma especificação que reflete em uma estrutura unificada de informação, os *Logical Nodes*; no caso do OPC-UA esse objetivo é alcançado pela possibilidade de operar com vários protocolos de transporte.

IV. PROJETO PILOTO

Parte da proposta da unificação da comunicação foi motivada pelas observações realizadas na aplicação da IEC-61850 à modernização do sistema de controle de uma máquina de geração de energia elétrica de 100MW na UHE de Cachoeira Dourada[7]. A Arquitetura do Sistema está descrita em[8], sendo brevemente apresentada a seguir.

Originalmente, o sistema utilizava três UTRs: UTR Principal, responsável pelo controle da máquina; UTR retaguarda, equipamento redundante capaz de assumir todas as funções da UTR principal, em uma arquitetura do tipo "hot-standby" e UTR de controle da tomada de água para a turbina. O programa de controle das três UTRs estava escrito na Linguagem Ladder e elas conectavam-se através de uma rede de campo sobre um anel óptico. Finalmente, as UTRs forneciam suas informações de monitoramento para as estações de operação (S.C.A.D.A.) e de engenharia, e recebiam comandos dessas estações através do mesmo anel óptico.

O projeto de modernização previa a incorporação dos *Logical Nodes* e dos mecanismos de comunicação da IEC-61850. Isso levou a alterações na arquitetura de controle assim como no software que roda em cada dispositivo. A primeira alteração foi a incorporação da lógica de tomada d'água no UTR principal, o que levou ao descarte de uma UTR. A segunda alteração foi utilizar uma UTR com redundância intrínseca, o que levou a possibilidade de se utilizar uma única UTR (com redundância intrínseca) para controlar a máquina. Finalmente, foi criada uma conexão lógica redundante, via mensagens GOOSE de alta velocidade (IEC-61850), para atuar sobre a abertura do disjuntor de sincronismo (TRIP) do sistema de proteção de corrente e tensão da subestação. Esse sistema é responsável pela proteção do barramento de interligação entre a unidade geradora e a subestação.

Além da modernização propriamente dita, buscava-se observar a dependência entre as várias ferramentas (hardware e software) utilizadas. Todos os equipamentos e protocolos de comunicação deveriam operar segundo o padrão da IEC-61850 a fim de minimizar os problemas de compatibilidade.

A modernização foi realizada através da substituição dos equipamentos de controle (UTRs) utilizados por uma nova UTR de fabricação nacional [9], capaz de se comunicar com o restante do sistema através dos protocolos da IEC-61850. Além da própria modernização, todos os procedimentos tiveram que ser realizados durante a parada da máquina para sua manutenção periódica.

O processo de modernização pode ser subdividido em quatro atividades. A primeira foi a integração da lógica de controle de duas UTRs (uma delas usada para controle do gerador e a outra usada no controle da comporta de tomada de água) em uma única UTR.

A segunda atividade foi a modelagem do processo em um conjunto de *Logical Nodes*. Grande parte das funcionalidades do processo de controle da Unidade Geradora foram descritos em LNs. Alguns dados que não eram diretamente utilizados pela lógica de controle e que devem ser transmitidos para aos sistemas de supervisão e gestão foram modelados em LNs genéricos (GGIO).

A terceira atividade consistiu na implantação do código dos *Logical Nodes* escolhidos para representar a Unidade Geradora. Nesta etapa, além do modelo em LNs, foi necessário adaptar a lógica de automação existente para um conjunto de funções que implementam os diversos *Logical Nodes*. O conjunto de normas da IEC não especifica como os *Logical Nodes* devem operar internamente, com exceção de alguns mecanismos comuns a todos os *Logical Nodes*, fazendo com que *Logical Nodes* do mesmo tipo fossem parametrizados e adaptados às peculiaridades dos dispositivos reais existentes na máquina. Parte da lógica de automação existente continua sendo necessária para fazer a integração das atividades não mapeadas diretamente em LNs.

Finalmente, tratou-se da questão da comunicação. Especificamente, foi necessário tratar a comunicação entre os *Logical Nodes* implementados na UTR e o equipamento de supervisão, sistemas fornecidos por diferentes fabricantes. Também foram empregados os comandos de GOOSE de controle para o *transfer trip* de abertura dos disjuntores de sincronismo da subestação de energia e a aquisição de medições de proteção e controle (obtidas de TCs e TPs) para uso em um Registrador Digital de Perturbações (RDP) [7].

No processo de ajuste da comunicação entre a UTR e o supervísório observou-se que, mesmo equipamentos preparados para utilizar os protocolos da norma, tiveram que ser ajustados na sua forma de operação. Foi aplicado um esforço de adaptação dos procedimentos para exibição dos dados maior do que aquele usado na comunicação propriamente dita. A construção do sistema de supervisão pressupõe uma base de dados local com atribuição de identificadores para os diversos registros desta base de dados. A situação mais adequada seria a utilização de um sistema de supervisão baseado nas informações do processo, com identificadores globais do processo, sem referência local a registros de uma base de dados local.

Dentre as várias lições aprendidas, uma das mais significativas foi a observação da necessidade de um Modelo Unificado de Comunicação. Chegou-se a essa conclusão quando observou-se que as informações enviadas pela UTR deveriam ser reinterpretadas no Supervísório, para apresentação nas telas dos monitores. Ou seja, não basta o equipamento reconhecer as informações: ele tem que usá-las para seus propósitos. Entretanto, isso só é possível a partir de um modelo convergente de comunicação, que permita identificação única das informações do processo de forma independente dos equipamentos.

Cabe salientar que, em se tratando de dispositivos que implementem alguns poucos *Logical Nodes*, essa tarefa é relativamente simples. Entretanto, quando o equipamento pode tratar com centenas de *Logical Nodes*, como é o caso da UTR

e equipamento de supervisão usado nesse projeto piloto, a tarefa não é trivial, devido a quantidade e, principalmente, a diversidade de *Logical Nodes*.

Ainda no que se refere às necessidades de comunicação, o projeto piloto apresentou a necessidade do uso de MODBUS entre a UTR e equipamentos com protocolos legados (e.g. Regulador de Tensão e Velocidade). Essa situação parece ser bastante comum nos processos de modernização: comunicação com outros equipamentos do sistema através de vários protocolos legados. Novamente, a tradução das informações transmitidas através de protocolos legados para informações que trafegam nos protocolos (unificados) da IEC-61850 simplificam, devido a sua padronização de formatos, o tratamento das mesmas.

Ao final dos procedimentos de modernização, a Unidade Geradora voltou a operar com uma única UTR (no lugar de duas), com medições de proteção e controle e *transfer trip*, enviados através de mensagens do tipo GOOSE e com o supervisório apresentando em suas telas informações obtidas dos *Logical Nodes* implementados na UTR.

Os resultados alcançados com a aplicação da IEC 61850 na automação da Unidade geradora mostraram a necessidade de se unificar a forma de comunicação. Observou-se essa necessidade por dois aspectos:

- A complexidade do sistema, representada pela grande quantidade de pontos a serem conectados, e
- A dificuldade de conexão dessas informações, entre a UTR e o Supervisório, apesar de usarem o mesmo protocolo.

Assim, depois de realizada a modernização da máquina e da análise dos relatórios de procedimentos pertinentes, observou-se a necessidade de modelar o sistema de uma forma mais abrangente. Para isso, é necessário modelar o sistema como um todo e avaliar a necessidade de cada componente, principalmente no que diz respeito a comunicação.

V. CONCLUSÃO

O projeto piloto mostrou que a unificação da visão de comunicação e redução do número de diferentes protocolos simplifica os procedimentos de configuração e comissionamento. Entre as vantagens observadas na implantação da modernização da Unidade Geradora utilizando um Framework 61850 para comunicação convergente podemos salientar:

Ganhos na operação. — A utilização de um modelo convergente de comunicação permite a integração de novas informações no sistema de supervisão sem a necessidade de alterar a lógica de automação existente nos equipamentos. A adição de informação de diagnóstico de comunicação e informações relativas a novos sensores adicionados ao sistema, como sensores de vibração, podem ser integradas automaticamente ao sistema. Novas telas de supervisão não exigem a redefinição de bancos de dados.

Ganhos na modernização. — O projeto de modernização pode ser feito de forma incremental, evitando retrabalho. O projeto piloto, que utilizou quatorze tipos

diferentes de *Logical Nodes* foi efetivado em seis meses. Novos LNs podem ser adicionados, mantendo o funcionamento do sistema sem a necessidade de alterar a programação dos LNs já implementados. Para a automação ou modernização da automação de outras Unidades Geradoras, o mesmo modelo de informações (LNs) pode ser utilizado, realizando apenas a parametrização específica de cada sensor ou atuador, mantendo o mesmo modelo de comunicação e sistema de supervisão e controle padronizado para diferentes UGs.

Ganho na manutenção. — Com a adição de informações de diagnóstico e qualidade e informações das condições de operação dos equipamentos, estratégias de manutenção preventiva podem ser traçadas sem que a lógica de automação seja modificada para inserir estas informações. Basta adicionar os LNs que transmitem as informações complementares relativas ao funcionamento do sistema.

O projeto piloto não considerou, nesta etapa, os problemas de segurança de conectividade com outras redes e os processos de autenticação e monitoração, uma vez que foi implantado em uma rede completamente isolada e confinada dentro da Usina Hidrelétrica. O próximo passo é a implantação completa da estrutura proposta, através de um *Distributed Control System - DCS* aplicado a área elétrica desenvolvido em conjunto pela Universidade e Empresa conveniada.

AGRADECIMENTOS

Projeto parcialmente financiado pelo convênio INF/CDSA e pelo contrato de colaboração INF/FAURGS/BNDES.

REFERÊNCIAS

- [1] E. A. Lee, "Cyber-physical systems-are computing foundations adequate," in *Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*, vol. 2. CiteSeer, 2006.
- [2] R. Rajkumar, I. Lee, L. Sha, and J. Stankovick, "Cyber-physical systems: The next computing revolution," in *Design Automation Conference 2010*, Anaheim, California, USA, June 2010.
- [3] T. Samad, P. McLaughlin, and J. Lu, "System architecture for process automation: Review and trends," *Journal of Process Control*, vol. 17, pp. 191–201, 2007.
- [4] P. Neumann, "Communication in industrial automation – what is going on?" *Control Engineering Practice*, vol. 15, 2007.
- [5] IEC. (2013) Iec61850 - communication networks and systems for power utility automation. [Online]. Available: <http://www.iec.ch/>
- [6] F. OPC. (2016) Unified architecture. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>
- [7] C. C. Nascimento, M. Buzzati, F. H. Trein, L. Souza, J. Netto, and S. Cechin, "Desenvolvimento de uma unidade de aquisição e controle e o uso da norma iec61850 com logical nodes específicos de geração para controle e supervisão de usinas hidroelétricas," in *VIII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, CITENEL 2015*, Costa do Sauípe – Bahia, Agosto 2015.
- [8] C. Nascimento *et al.*, "Aplicação de um projeto piloto que visa o uso da norma iec61850 e logical nodes específicos de geração na programação de uma uac para controle e supervisão de unidades geradoras na endesa cachoeira," in *XXIII SNPTTE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, Foz do Iguaçu - PR, Outubro 2015.
- [9] ALTUS, *Manuais do Sistema XTORM*. São Leopoldo, RS: Altus S.A, 2014.