

Grupo de Estudo de Proteção, Medição, Controle e Automação em Sistemas de Potência-GPC

Metodologia para teste de comunicação GOOSE implementada em uma planta industrial da Vale - Itabira/MG

PAULO HENRIQUE VIEIRA SOARES(1); VICENTINO JOSÉ PINHEIROS RODRIGUES(1); KELI CRISTINE SILVA ANTUNES(2); CESAR NAKASHINA(3); PAULO MARCIO DA SILVEIRA(2); CARLOS ALBERTO VILLEGRAS GUERRERO(2); VALE(1);UNIFEI(2);ABB(3);

RESUMO

A filosofia de proteção do sistema elétrico de potência vem passando por grandes mudanças devido à evolução dos relés numéricos, o padrão IEC61850 e a chegada do conceito de subestação digital (ou 4.0). Em conjunto com essas mudanças tem-se o dilema de evoluir sem perder a confiabilidade dos esquemas de proteção tradicionais, e usufruir dos “ganhos” inerentes da tecnologia cada vez mais próximos. Esse trabalho visa apresentar os mecanismos desenvolvidos para possibilitar os testes de comunicação GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) em campo de forma simples, sendo o principal deles a constatação do envio e recebimento de mensagens em um esquema de seletividade. Também será exposto os ganhos da utilização da IEC61850 no SAS (Sistema de Automação de Subestações) e as lições aprendidas no decorrer dos trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE

IEC61850, IED, GOOSE, Seletividade, SAS

1.0 - INTRODUÇÃO

A Vale é hoje uma das maiores mineradoras do mundo que iniciou suas operações no ano de 1942 na cidade de Itabira, Minas Gerais. Entre 2011 e 2015 a empresa realizou a adequação e modernização das suas duas usinas (Cauê e Conceição I) para permitir o beneficiamento do itabirito compacto, material presente no 3º ciclo do minério de ferro, além da construção de uma nova planta de beneficiamento (Conceição II).

As novas instalações foram concebidas com tecnologia de ponta para beneficiar o mineral, e o sistema elétrico passou por grande alteração. O valor da demanda contratada foi quase dobrado, chegando próximo de 220 MVA. Durante esse processo foram construídas uma subestação de 230 kV, uma subestação de 69kV e vinte e seis eletrocentros de 13.8kV, todos com IEDs (Dispositivos Eletrônicos Inteligentes) com suporte aos protocolos da norma IEC61850. O Sistema de Automação de Subestações (SAS) existente em 2011 contava com seis subestações integradas conforme a norma em questão. Ao final dos projetos, em 2015, o SAS possuía em sua base, comunicando, 784 IEDs de três grandes fabricantes de relés de proteção.

A norma IEC61850 veio padronizar a automação do sistema elétrico, visando garantir a interoperabilidade entre os equipamentos, ou seja, dispositivos de diferentes fabricantes comunicando entre si [1],[2]. Por ser novidade nas plantas de Itabira, durante os anos de projeto, diversas foram as lições aprendidas e o *know-how* adquirido com esse trabalho [3].

Como os relés de proteção se “tornaram” IEDs devido à capacidade de realizar a proteção, controle, medição e comunicação simultaneamente, desde de 2010, os novos projetos da Vale em Itabira passaram a incorporar todos

os sinais de intertravamento, controle e proteção entre os IEDs por meio de comunicação GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*).

A mensagem GOOSE é um dos grandes pontos de atenção quanto à aplicação da IEC61850. Esse tipo de mensagem não possui confirmação de entrega e um dos mecanismos para garantir que o pacote chegue ao destino é a repetição da mensagem, em um curto espaço de tempo, sempre que ocorre um evento.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

2.1 Mensagem GOOSE

Conforme definido pela norma IEC61850, as mensagens GOOSE são aplicadas para comunicação entre IEDs, sendo esta definida como comunicação horizontal. Tal mensagem tem como objetivo trafegar de forma rápida entre os dispositivos possibilitando o envio de sinais críticos (TRIP e intertravamento por exemplo) conforme ilustra a Figura 1.

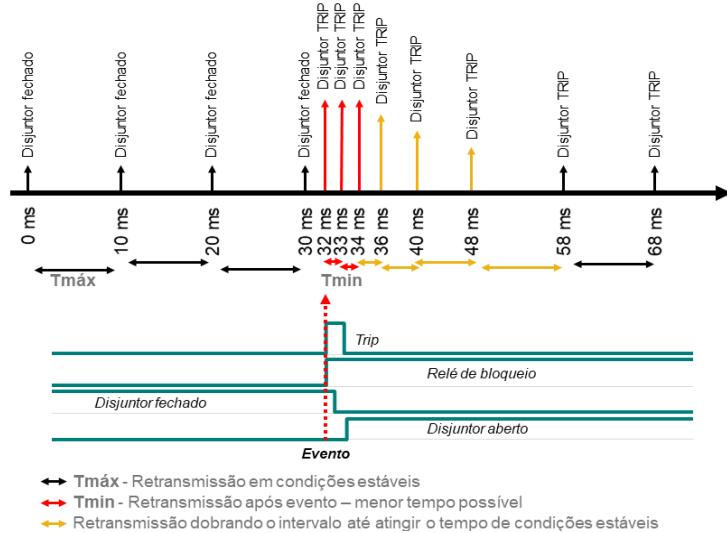


FIGURA 1 – Mecanismo de transmissão da mensagem GOOSE

2.2 Aplicação

Na Vale a mensagem GOOSE é utilizada para intertravamento entre disjuntores, seletividade lógica, envio de sinal de falha no disjuntor (50BF), além de comando para abrir, fechar, inserir e extrair os disjuntores por meio de uma IHM (Interface Homem Máquina) instalada dentro das subestações. A Figura 2 representa o sistema elétrico da subestação “1871”. Note-se a presença de 6 IED’s (501, 502, 503, 504, 505 e 511) que serão abordados neste trabalho.

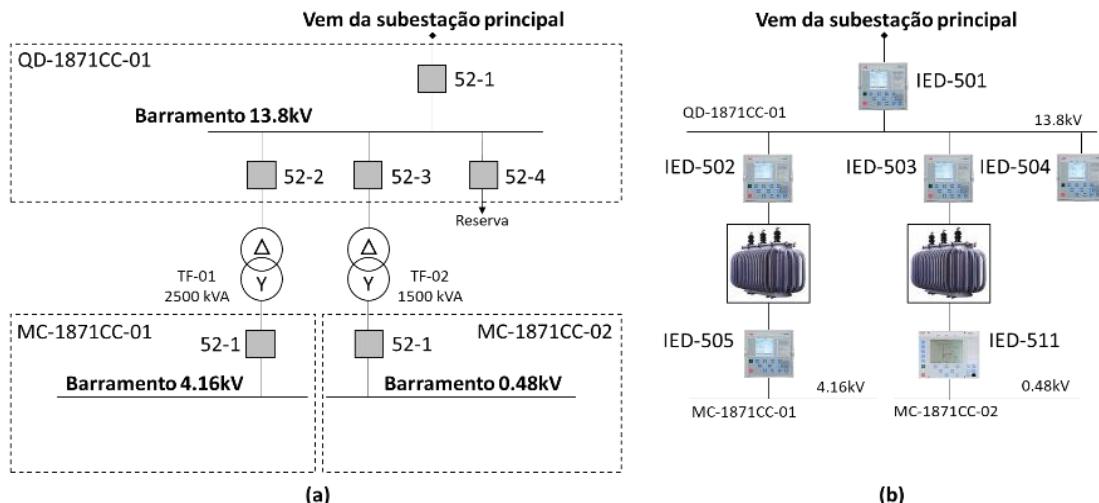


FIGURA 2 – Representação do sistema 1871 (a) – Posição dos IEDs (b)

Atualmente, o SAS Itabira integra 799 IEDs em rede. Esses dispositivos podem ser acessados remotamente pela equipe de engenharia e manutenção de qualquer ponto da planta para leitura e alteração de parâmetros, coleta de dados e oscilografia para análise de eventos.

Sempre que um arquivo de configuração do IED é alterado de forma “inadequada” ocorre a perda de comunicação com a IHM, SAS e com os outros IEDs. Para testar, validar e garantir a comunicação principalmente entre os IEDs, o mais usual é utilizar uma maleta de teste, gerar o *start* da função e, quando essa informação for para a rede, capturar a mesma utilizando um *software* para análise de rede. Esta análise também pode ser feita através de comandos ou ações específicas no próprio IED que recebe os sinais. Esses métodos são simples e eficientes, porém demandam *expertise* do usuário, elevado tempo e ferramentas apropriadas.

2.3 Metodologia

Durante as etapas de comissionamento, todos os sinais são testados e fazem parte do documento que atesta o correto funcionamento dos pontos de conexão lógica (*Logical Nodes*). Visando otimizar o processo de teste da comunicação entre os dispositivos, foi implementada uma metodologia simples, sendo que qualquer profissional que tenha acesso à subestação pode usá-la.

Os principais sinais implementados nos IEDs da subestação 1871 foram 50BF, seletividade, transferência de TRIP e sinalização. Na Figura 3 representa-se o sentido da comunicação, iniciando no IED que publica (envia) a mensagem e finalizando no IED que assina (recebe) o pacote.

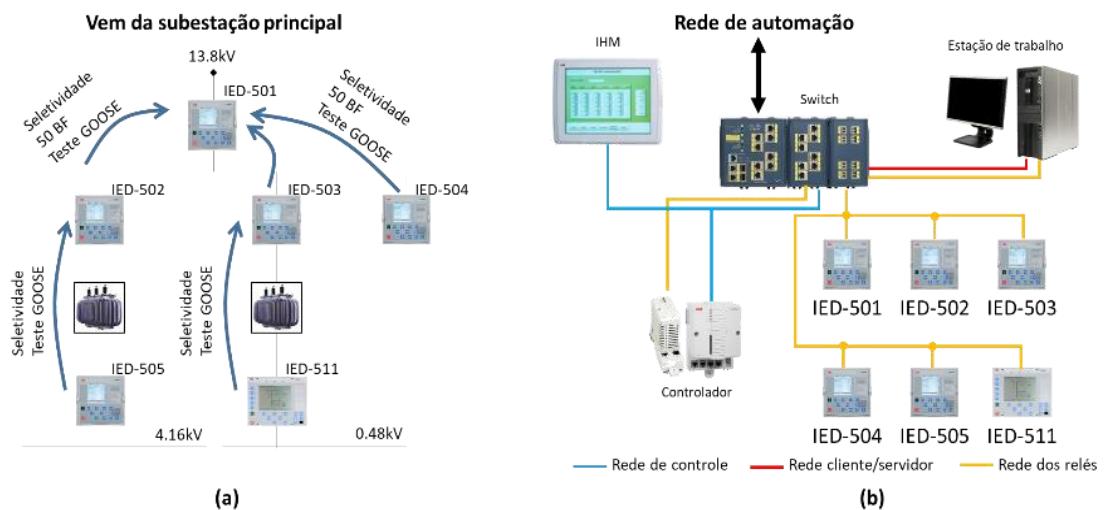


FIGURA 3 – Representação dos sinais na subestação 1871 (a) - Rede de comunicação (b)

Visando reduzir os esforços necessários na tarefa de “checar” a comunicação, estruturou-se, em 2018, no eletrocentro mais recente da planta, uma metodologia de teste para mensagens GOOSE. A ideia é possibilitar, por meio de uma lógica simples associada às teclas no frontal do IED, uma forma para que o usuário aperte um botão e consiga testar o envio das mensagens. Para facilitar a visualização, LEDs (*Light Emitting Diodes*) foram configurados para sinalizar a recepção do sinal pelo IED assinante.

2.4 Entrada do 480V (IED-511)

Na Figura 4 é possível visualizar (c) a disposição física do IED-511, em (b) o frontal do IED e em (a) a configuração realizada no *software* do fabricante do equipamento. Observe em (a) que os dois primeiros botões (na parte superior esquerda) foram configurados para:

- Teste seletividade: envia o sinal de seletividade para o IED a montante (neste caso IED-503);
- Teste GOOSE: tem como objetivo testar toda cadeia a montante, envia o sinal de comunicação (criado para essa finalidade) ao IED-503, que por sua vez sinaliza e repassa o sinal para o IED-501.

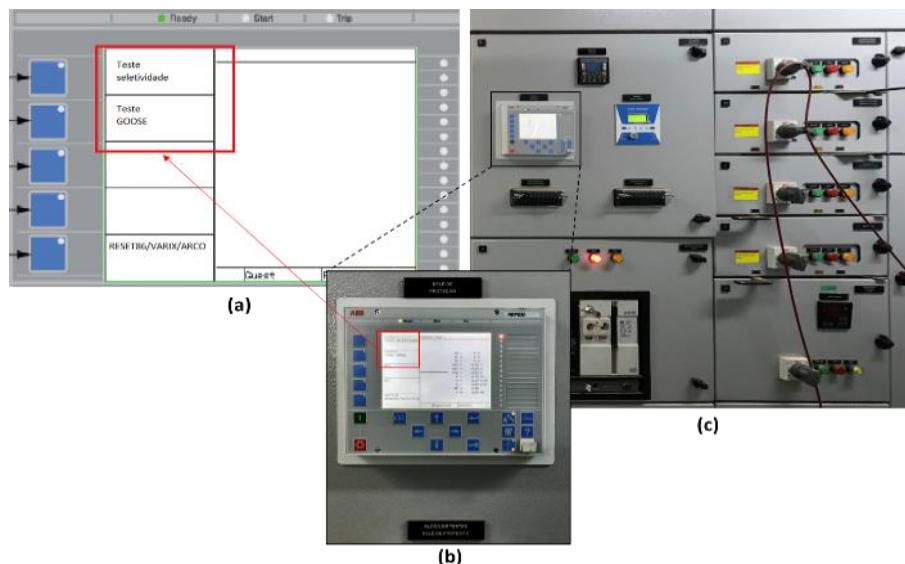


FIGURA 4 – IED 511

2.4.1 Teste de seletividade

A Figura 5 representa a lógica implementada para teste de seletividade. Conforme observa-se a seletividade é sensibilizada pela função PHIPTOC, sendo enviada para o dispositivo a montante através do *Logical Node* (LN) SPGGIO1. O botão representado pelo FNKEYMD1 (primeira tecla na Figura 4(a) visto no sentido cima para baixo) gera um sinal de pulso ($0 \rightarrow 1$) de 20s, esse sinal está conectado a INPUT 2 da porta lógica OR para execução do teste.

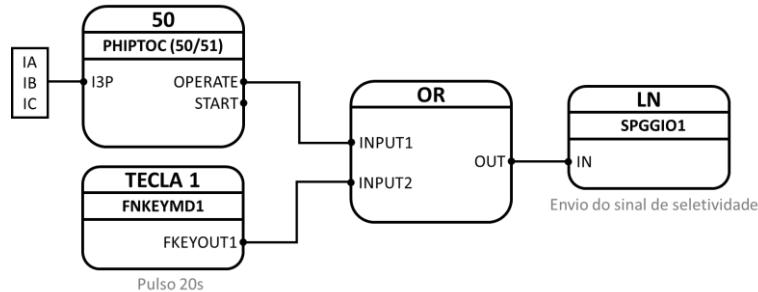


FIGURA 5 – Função de teste de seletividade implementada no IED 511

2.4.2 Teste GOOSE

Conforme apresentado na Figura 6, o sinal de teste de comunicação GOOSE é enviado para o dispositivo a montante através do LN SPGGIO17. O botão FNKEYMD2 (segundo botão na Figura 4(a) visto no sentido cima para baixo) gera um sinal de pulso ($0 \rightarrow 1$) de 20s para execução do teste.



FIGURA 6 – Teste GOOSE (IED 511)

2.4.3 Configuração de comunicação

Para estabelecer a comunicação entre os dispositivos, os sinais de seletividade e teste GOOSE foram adicionados

em datasets distintos. Assim o LN SPGGIO1 para teste de seletividade está no dataset GDSProt e o LN SPGGIO17 para teste GOOSE está no DSTesteGoose. Estes datasets são enviados ao seu respectivo alimentador (neste caso IED-503) conforme Figura 7.

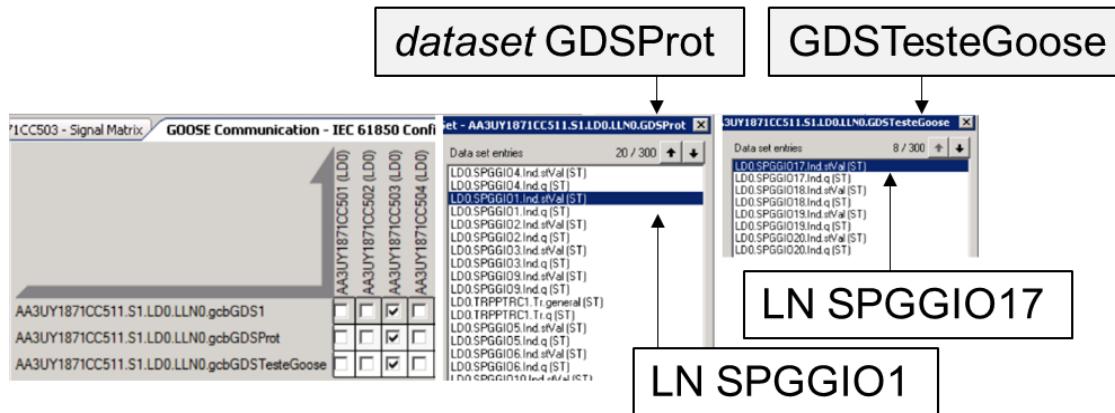


FIGURA 7 – Configuração dos datasets no IED 511

No IED 503 (assinante), os sinais são mapeados utilizando a ferramenta “Sinal Matrix” do software PCM 600 conforme ilustrada na Figura 8. A partir deste ponto os sinais podem ser utilizados nas lógicas internas do dispositivo.

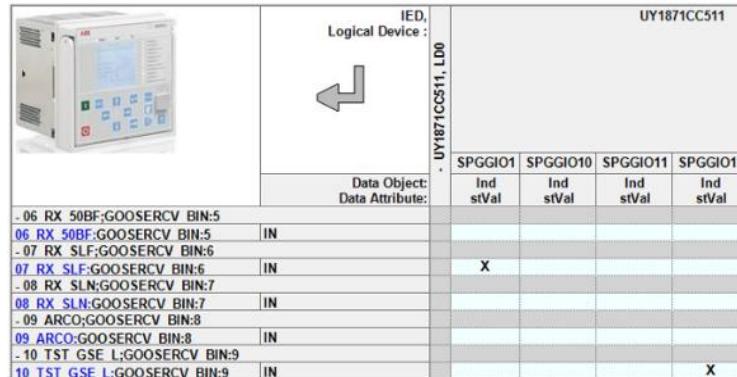


FIGURA 8 – Comunicação IED 503

Na Figura 9, o sinal de seletividade recebido pelo IED 503 (RX_SLF) bloqueia a função PHIPTOC1. Para monitorar a recepção de seletividade é necessário navegar pela IHM ou entrar via WHMI (interface web) e verificar se a função PHIPTOC está bloqueada.

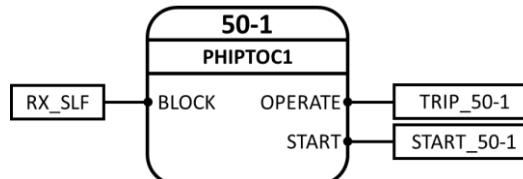


FIGURA 9 – Lógica de bloqueio no IED 503

Por outro lado, para monitorar o recebimento do sinal de Teste de GOOSE, basta visualizar o LED4 na cor verde, no como mostra a Figura 10.

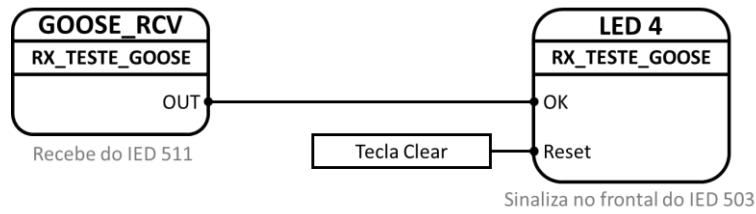


FIGURA 10 – Sinalização (IED 503)

O sinal de Teste GOOSE é “repassado” para seu alimentador conforme Figura 11. Assim este será enviado pelo Logical Nodes MVGAPC2 e o receptor seguinte irá acender também o LED4.

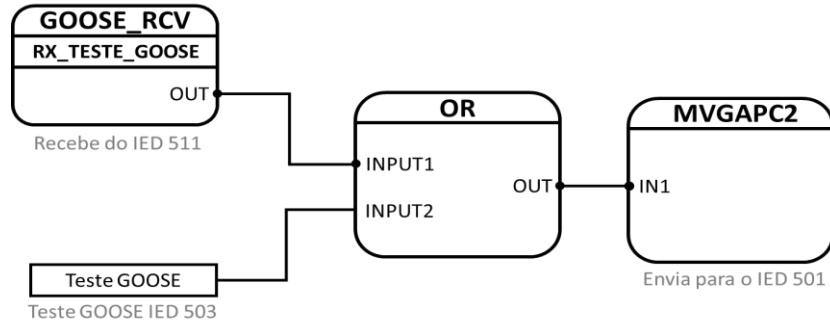


FIGURA 11 – Retransmissão do sinal de Teste GOOSE no IED 503

Note que o IED-503 também possui um Teste GOOSE que é enviado pelo *Logical Node MVGAPC2* (entrada IN1). Este será abordado a seguir com mais detalhes.

2.5. Entrada de 13.8kV (IED-501), entrada de 4.16kV (IED-505) e alimentadores de 13.8kV (IED-502 a IED-504)

Os modelos dos IED-501 a 505 possuem um *hardware “inferior”* ao IED-511 apresentado anteriormente. Porém, nestes dispositivos é possível realizar as mesmas funções com poucas diferenças. Na Figura 12 é possível visualizar (c) a disposição física do IED-503, em (b) o frontal do IED e em (a) a configuração realizada no *software* do fabricante do equipamento. Observe em (a) a presença de três botões no *display* que foram configurados para:

- Teste seletividade (SL): envia o sinal de seletividade para o IED a montante (neste caso IED-501);
- Teste GOOSE (TST_GSE): envia o sinal de comunicação (criado para essa finalidade) ao IED-501;
- Falha disjuntor (50BF): envia o sinal de falha na abertura do disjuntor ao IED-501.

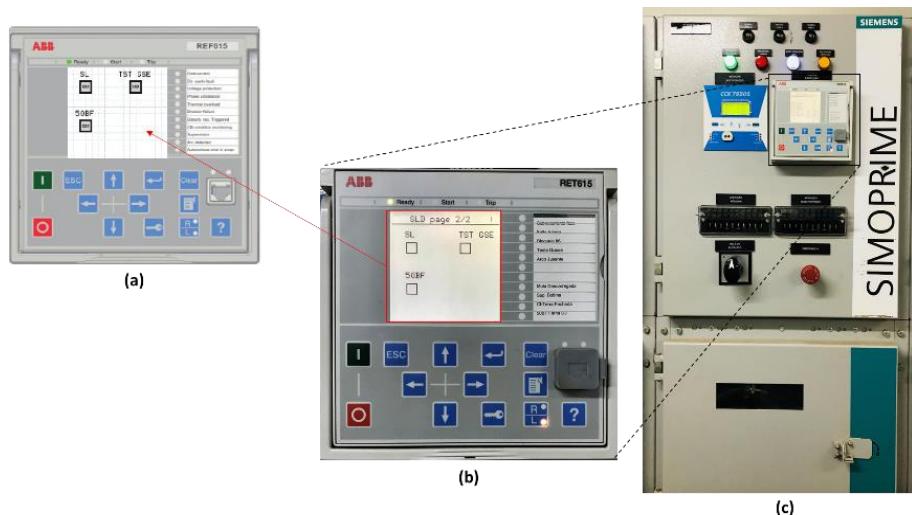


FIGURA 12 – IED 503

Cabe destacar que este modelo apresenta 2 abas em sua IHM. A primeira aba mostra o unifilar e as medições. Já a segunda aba contém os botões apresentado acima em (b).

2.5.1 Teste de seletividade

A seletividade é sensibilizada pela função PHIPTOC. O botão representado pelo SL (teste seletividade), na Figura 13, está associado à saída 15 do bloco SPCGAPC1 e gera um sinal de pulso (0 → 1) de 20s ao ser pressionado. O sinal de teste de seletividade é enviado para o dispositivo a montante através das entradas IN8 (seletividade de fase) e IN9 (seletividade de neutro) do bloco SPCGAPC2.

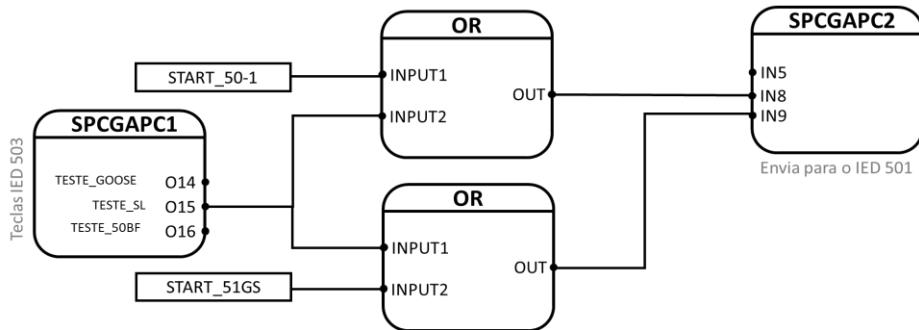


FIGURA 13 – Função de teste de seletividade implementada no IED 503

2.5.2 Teste de GOOSE

O sinal de teste de comunicação GOOSE é enviado para o dispositivo a montante através do MVGAPC2.IN1 conforme Figura 14. O botão TSE GSE representado pelo SPCGAPC2.SPCSO14 gera um sinal de pulso (0 → 1) de 20s. Este sinal está junto ao RX_TESTE_GOOSE_L explicado no item 2.3.1.3.

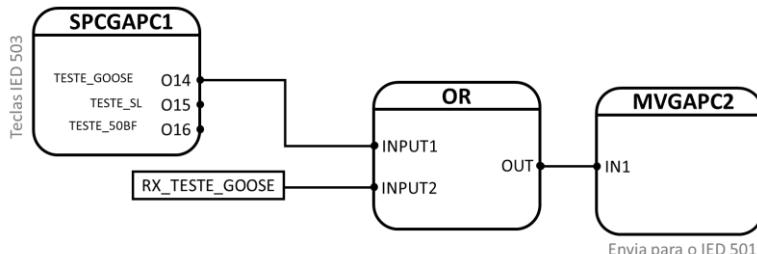


FIGURA 14 – Teste GOOSE (IED 503)

2.5.3 Teste 50BF

O função 50BF é resultado do bloco CCBRBRF conforme Figura 15. O botão representado pelo 50BF no *display* está associado a saída 16 do bloco SPCGAPC1 e ao ser pressionado gera um sinal de pulso (0 → 1) de 20s. Este sinal passa pelo bloco OR é enviado através da entrada IN5 do bloco SPCGAPC2.

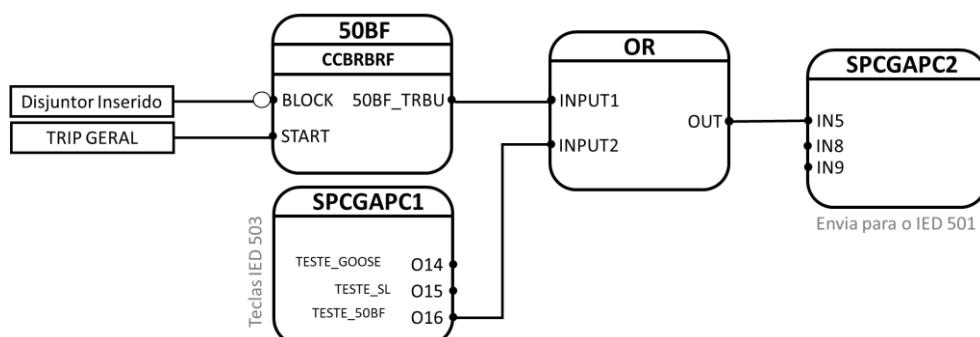


FIGURA 15 – 50BF (IED 503)

O sinal de 50BF está associado à ocorrência de uma falha na abertura do disjuntor comandado pelo IED503, logo, o envio deste sinal de comando de abertura resulta no desligamento do disjuntor a montante associado ao IED 501. Assim, o teste dessa funcionalidade ocasionará também o TRIP por este motivo. Portanto, essa tecla deve permanecer desabilitada (*operation mode = off*) conforme Figura 16.

Output 16					
✓	Operation mode	Off			
✓	Pulse length	20000	ms	10	3600000
✓	Description	TESTE 50BF		64 character	

FIGURA 16 – Modo de operação desativado (IED 503)

2.5.4 Configuração de comunicação

Para estabelecer a comunicação entre os dispositivos, os sinais de seletividade, 50BF e Teste GOOSE foram adicionados em *datasets* distintos. Assim o LN SPCGAPC2.IN5, SPCGAPC2.IN8 e SPCGAPC2.IN9 estão no GDSProt para teste de falha no disjuntor (50BF) e de seletividade. O LN MVGAPC2.IND1 para Teste GOOSE está no GDSTesteGoose. Estes *datasets* são enviados ao seu respectivo alimentador (neste caso IED-501) conforme Figura 17.

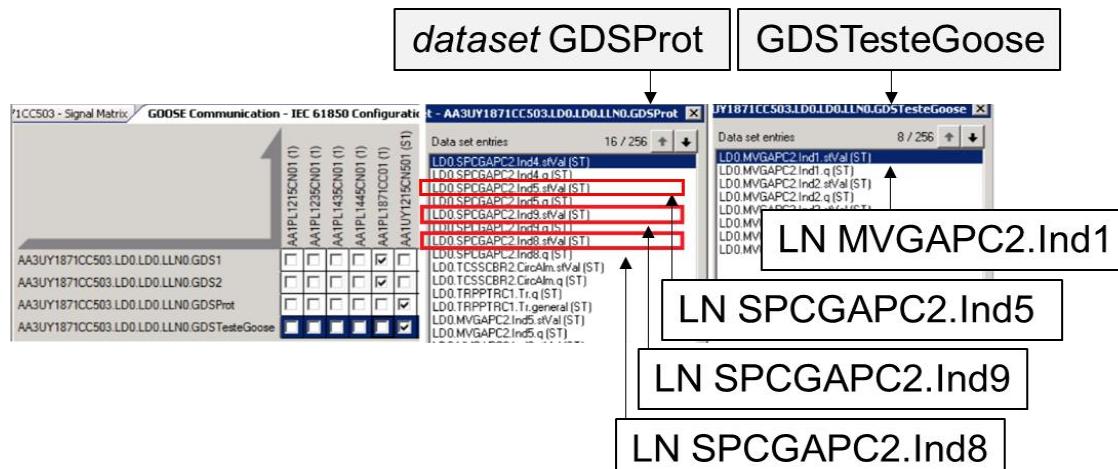


FIGURA 17 – 50BF (IED 503)

2.6 Licões aprendidas

Todos os testes iniciais da solução foram realizados na 1730CC-01. Essa subestação 1730CC-01 também é conhecida como Laboratório de Práticas Elétricas (LPE), ficando localizada na mina de Conceição na cidade de Itabira. O LPE é um eletrocentro idêntico aos existentes na planta, porém com a vantagem de não possuir tensão de força. Esse laboratório pertence à Diretoria de Ferrosos Sudeste, estando aos cuidados da Gerência de Automação Corredor Sudeste.

Durante os desenvolvimentos iniciais no LPE, ao se realizar o primeiro teste de envio e sinalização da seletividade lógica, o disjuntor da entrada de 13.8kV desligou sinalizando TRIP. Ao verificar a lógica e os *links* de comunicação GOOSE foi encontrado o erro na utilização dessa variável na linha de TRIP do IED.

Em campo, a replicação foi realizada sem muito esforço, pois os testes de conceito e validação já haviam sido realizados no laboratório. Durante o comissionamento da subestação 1871 foi tomada a decisão de restringir o uso botão de teste para envio da 50BF apenas a usuários autorizados. Observou-se que este poderia ser um possível ponto de desligamentos indesejados da planta uma vez que, se alguém pressionasse o botão “50BF”, seria dado o comando de desligamento do disjuntor de entrada da subestação. Caso a equipe responsável necessite realizar os testes, o profissional deve navegar no menu do IED e habilitar o botão. Ao final, após realizar os testes, o mesmo deve retornar este parâmetro para condição anterior.

Após energização da subestação, os testes e comissionamentos foram realizados “localmente” uma vez que a rede de comunicação da 1871 não havia sido interligada à infra de rede existente na planta. Na etapa de *ramp-up*, durante manutenção preventiva da planta, os equipamentos do SAS foram inseridos na rede do sistema. Neste momento, o IED-503 passou a desligar constantemente o disjuntor que alimenta o trafo de 13.8kV/0.48kV, resultando em parada imediata dos equipamentos. Analisando os arquivos de comunicação da subestação, a lógica de controle e os ajustes de proteção, não foi possível chegar à causa raiz. Utilizando um *software* de mercado para análise de rede, foi observado a presença de alguns *datasets* com MAC address e APPID idênticos ao da subestação 1871. O APPID é um identificador hexadecimal utilizado no intervalo de 0000 a 3FFF. A análise completa envolvendo esse atributo, padrão, documentação e sugestão de configuração será abordada em um próximo artigo. No entanto, como solução imediata, foi sugerido que o APPID na 1871 não fosse mais o final do MAC address como era o padrão. Assim, esse identificador (APPID) foi alterado, os arquivos enviados aos IED's e, após essa etapa, não houve mais desligamentos por esse motivo.

A replicação da solução foi realizada, até o momento, em mais 4 subestações. Porém, observou-se que será necessário realizar um trabalho junto a equipe de telecomunicações para segregar a rede de algumas subestações antes de prosseguir com a replicação.

3.0 - CONCLUSÃO

A IEC61850 está se consolidando como um “caminho sem volta” para as aplicações futuras nas indústrias, isso se deve à redução de custo com cabos, engenharia e comissionamento. Sua aplicação é ampla e, por muitas vezes, aspectos importantes não são levados em consideração no momento de especificar a solução. Equipamentos com novas funcionalidades são lançados no mercado com frequência, possibilitando que novas aplicações, antes não realizadas, agora sejam facilmente implementadas.

Mesmo durante uma década de utilização e aplicação do SAS baseado na IEC61850, sempre que uma nova subestação é adquirida e instalada, a equipe de proteção e automação busca desenvolver, testar e implementar novas funcionalidades de forma a agregar e simplificar o dia-a-dia da equipe.

A replicação das soluções é realizada sempre que possível, porém é necessária uma análise criteriosa, planejamento detalhado e estudo do impacto na aplicação existente.

O método de teste de comunicação GOOSE proposto se mostrou interessante e será um padrão para todas as novas subestações da empresa no complexo de Itabira. Os custos para implementação e replicação é baixo e os ganhos na realização dos testes elevados. Além disso, tem-se a redução do tempo de execução, pois é dispensada a utilização da maleta para injeção de corrente, *software* para análise de rede e o uso de computadores em campo para essa finalidade.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC 61850-7-1: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Principles and models, 2003.
- [2] IEC 61850-5: Communication requirements for functions and device models, 2003.
- [3] FREITAS, L.C.V.; SOARES, P.H.V; Automação de subestações de 13.8kV a 230kV baseada na norma IEC61850 na planta de beneficiamento de minério de ferro da Vale em Itabira-MG. ISA ES, 2014.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



PAULO HENRIQUE VIEIRA SOARES – Aluno do programa de mestrado em Engenharia Elétrica na área de Proteção do Sistema Elétrico pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário do Leste de Minas (UNILESTE), é técnico em eletrônica pela Fundação Itabira Difusora de Ensino (FIDE). Professor de eletroeletrônica no SENAI Itabira de 2008 a 2010. Iniciou suas atividades na Vale como estagiário em 2008. Possui experiência na área de Eletrônica de Potência, Automação do Sistema Elétrico, Proteção do Sistema Elétrico e Norma IEC61850. Atualmente trabalha como Engenheiro de Automação na implantação de projetos pela Gerência de Automação, é palestrante convidado do módulo 8 do Curso de Especialização em Proteção do Sistema Elétrica – CEPSE UNIFEI e membro do CIGRE Comitê de Estudos B5.1 Aplicações da Norma IEC 61850 – Sistemas de Automação Operando com Redes de Comunicação.



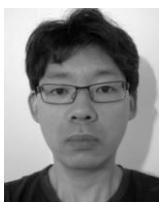
VICENTINO JOSÉ PINHEIRO RODRIGUES – Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica formado pelo Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (1998). Gerente de Automação na VALE S/A na área de tecnologia.



KELI CRISTINE SILVA ANTUNES – Engenheira eletricista graduada na Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI (2016). Mestre em Engenharia Elétrica, área de concentração Sistemas Elétricos de Potência, também pela Universidade Federal de Itajubá (2019). Na mesma Universidade cursa pós-graduação em Especialização em Proteção de Sistemas Elétricos (2019).



PAULO MARCIO DA SILVEIRA – Possui graduação em Engenharia Elétrica pela UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá (1984), mestrado também pela UNIFEI (1991) e doutorado pela UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina (2001). Trabalhou na Albrás Alumínio Brasileiro S.A. e na Balteau Produtos Elétricos Ltda. (1984-1988). Foi pesquisador visitante no Center for Advanced Power Systems, na Florida State University, Tallahassee, EUA (2007-2008). É professor da UNIFEI, desde 1993 (atualmente Associado IV). Foi coordenador e membro da Câmara de Arquitetura e Engenharias da FAPEMIG (2008-2011). Foi Diretor do Instituto de Sistemas Elétricos e Energia – ISEE/ UNIFEI (2011 a 2015). É coordenador do GQEE – Grupo de Estudos em Qualidade da Energia Elétrica e coordenador do QMAP – Centro de Estudos em Qualidade da Energia e Proteção Elétrica. É coordenador do CEPSE – Curso de Especialização em Proteção de Sistemas Elétricos.



CESAR MASSAHARU SHIGEMATSU NAKASHINA – Engenheiro Eletricista graduado pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI 2011). Ingressou na empresa ABB LTDA em 2011 como estagiário. Em 2012, como engenheiro de projetos, atua desde então em projetos na área de automação de subestações com ênfase em IEC61850 e proteção de sistemas elétricos de potência.



CARLOS ALBERTO VILLEGAS GUERRERO – Carlos A. Villegas Guerrero é engenheiro eletricista formado em 2009 pela Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil – Equador. Trabalhou como técnico nas áreas de Construção e Manutenção de Subestações Elétricas do Sistema Nacional de Transmissão (SNT) no Equador, no período de 2005 a 2009. Recebeu os títulos de Mestre e Doutor em Ciências da Engenharia Elétrica, e Especialista em Proteção de Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá (MG) – Brasil, em 2011, 2017 e 2012, respectivamente. No ano de 2016 trabalhou como Professor Pesquisador Visitante na ESPOL, e desde 2017 é Professor do Instituto de Sistemas Elétricos e Energia (ISEE) da UNIFEI. Suas principais áreas de pesquisa são: Análise, Proteção, Controle e Automação de Sistemas Elétricos.