AB/YY

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS PARA VIABILIZAR A FORMAÇÃO DOS ENGENHEIROS DE PROTEÇÃO, AUTOMAÇÃO E CONTROLE DAS PRÓXIMAS DÉCADAS.

Paulo Sergio Pereira Junior(*) Conprove Indústria e Comércio	Gustavo Silva Salge Conprove Indústria e Comércio	Moisés Júnior B. B. Davi Conprove Indústria e Comércio	Cristiano M. Martins Conprove Indústria e Comércio	Paulo Sergio Pereira Conprove Engenharia	Gustavo E. Lourenço Conprove Engenharia

RESUMO

Através de uma análise histórica relacionada à evolução nos sistemas de PAC (Proteção, Automação e Controle) e à formação de profissionais desta área de atuação, este trabalho objetiva ressaltar tópicos para cursos de formação complementares bem como apresentar uma ferramenta inovadora com recursos que permitem a realização de testes práticos de uma maneira intuitiva e bastante eficaz, para que os profissionais possam absorver novos conhecimentos e, dessa forma, possam atuar na confecção e execução de projetos, realização de comissionamentos, manutenção, operação e demais atividades relacionadas a sistemas de PAC, atendendo inclusive a norma IEC 61850.

PALAVRAS-CHAVE: Treinamento, Proteção, Automação, Controle, PS Simul.

1.0 - INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica das últimas décadas com o advento de componentes como os microprocessadores, memórias, FPGA's (*Field Programmable Gate Array*) e *switches* trouxe reflexos na velocidade das redes de dados e no desenvolvimento de IED's (*Intelligent Electronic Device*) com grande capacidade de processamento, incluindo novas funções de proteção e requisitos para operar em rede. Toda esta evolução refletiu significativamente nos sistemas de PAC.

A constatação é que os novos engenheiros que estão ingressando no mercado de trabalho precisam de treinamentos para assumir os desafios impostos pelas tecnologias modernas e antigas, que passam a operar em conjunto, e pelas alterações operacionais e topológicas experimentadas pelo sistema. Essa questão tem sido vivenciada no mundo todo e, em 2010, o CIGRÉ criou um grupo de trabalho B5.40 que gerou como resultado em 2014, a brochura "*Education, Qualification and Continuing Professional Development of Engineers in Protection and Control*" que faz um resumo da visão dos especialistas de vários países, trazendo conclusões e recomendações [1]. No Brasil é vivenciada uma realidade específica, visto que não há um grande volume de fabricantes desenvolvedores de IED's e, assim sendo, há certo prejuízo na transferência de conhecimento entre os profissionais que militam na área.

Baseado nas situações supracitadas e com a análise da formação que é oferecida pelas universidades brasileiras, serão ressaltados tópicos para treinamentos de curto prazo visando complementar a formação tanto dos profissionais que já estão no mercado quanto de engenheiros recém-formados, possibilitando uma atuação eficaz destes na confecção e execução de projetos, realização de comissionamentos e demais atividades na área de PAC. Além disso, será apresentada uma ferramenta nacional composta de *software* e *hardware* que permite a simulação em ambiente virtual dos equipamentos de potência e dos dispositivos de PAC, além de possibilitar a interface com instrumentos reais, através de sinais analógicos, digitais e mensagens de rede (IEC 61850/61869-9).

2.0 - A FORMAÇÃO TRADICIONAL DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS NO BRASIL E O REFLEXO NOS ENGENHEIROS DE PAC DEVIDO A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

No Brasil, grande parte das universidades oferece cursos para a formação de engenheiros eletricistas com um conteúdo generalista que contemplam disciplinas como: máquinas, transformadores, circuitos elétricos, instrumentação industrial, instalações elétricas, acionamentos elétricos, eletrônica analógica e digital, análise de sistemas elétricos de potência, entre outras. Algumas universidades, porém, oferecem

(*) Rua Visconde de Ouro Preto, n° 75 – CEP 38.405-202 Uberlândia, MG, – Brasil
Tel: (+55 34) 3218-6800 – Fax: (+55 34) 3218-6810 – Email: psjunior@conprove.com.br

uma abordagem mais direcionada a sistemas elétricos de potência com foco em disciplinas clássicas que vão além do conteúdo geral citado. Nestes casos, há a substituição de algumas disciplinas generalistas por outras mais específicas, como: cálculo de curto circuito, fluxo de potência, estudo da estabilidade de sistemas elétricos, qualidade de energia, transmissão de energia e proteção de sistemas elétricos, por exemplo. Observa-se, contudo, que em ambas as tendências há uma falta de informações práticas e teóricas relacionadas à proteção, incluindo o potencial de IED´s no processamento digital de sinais, disciplinas de redes de dados direcionadas ao processo elétrico e o aprofundamento em análises de relés e estudos de transitórios eletromagnéticos, tão importantes hoje para engenheiros que trabalham com sistemas de PAC.

Os primeiros sistemas de PAC tinham a sua concepção baseada no conceito que era na época adotado em sistemas supervisórios. Sendo assim, não incluíam recursos de digitalização de sinais para transferência pela rede. Durante essa fase, a tarefa de engenheiros de supervisão e equipes de proteção e controle se mantinha separada. O conhecimento de rede era exigido para o trabalho das equipes de supervisão e as equipes de proteção mantinham as suas funções com conhecimentos clássicos, dedicando-se apenas aos estudos da proteção e parametrização dos IED's. Nesta fase as redes de comunicação utilizavam protocolos proprietários e a integração de IED's de diferentes fabricantes era dificultada por requerer conversores de protocolos, tornando os sistemas caros e ineficientes.

A partir do ano de 2003, a norma IEC 61850 e, posteriormente, a IEC 61869-9 trouxeram duas vertentes principais que foram: o GOOSE e os *Sampled Values*, ambos sendo mensagens que trafegam na rede. Com isso, foram propostos conceitos de barramento de processos e barramento da estação, exigindo que engenheiros de proteção tenham conhecimento de redes. O barramento de processos foi a grande mudança que marcou a necessidade de alterações na formação dos profissionais de proteção. A nova realidade passou a demandar dos profissionais da área, além dos conhecimentos já citados, práticas na parametrização de *switches*, uso de softwares para análise do tráfego de rede como o *Wire Shark* ou *Ethereal* e conceitos das estruturas dos sistemas conformes e não conformes com o IEC 61850 e IEC 61869-9.

Assim sendo, no Brasil, após a graduação os profissionais que escolhem seguir carreira de trabalho com PAC, normalmente necessitam fazer cursos de extensão, especialização ou pós-graduação para adquirirem os conhecimentos imprescindíveis para atuação nessa área. Tais cursos são comumente oferecidos por fabricantes, entidades de treinamentos ou universidades que tenham equipes de pesquisa na área. Dentre os tópicos de relevante importância para treinamento de engenheiros de PAC, pode-se ressaltar:

- Estudos de transitórios eletromagnéticos em sistemas elétricos, envolvendo saturação de TC's, ferrorressonância em TP's e ondas viajantes;
- Parametrização e Comissionamento de relés de proteção e demais instrumentos de testes;
- A norma IEC 61850 / 61869-9 - Envolvendo a rede de dados, *Merging Units*, transformadores não-convencionais, barramento de processos, barramento de estação, *Sampled Values* e GOOSE;
- Redes de comunicação – Tráfego de Dados, *Switches* e *Softwares* de Rede;
- PMU's (*Phasor Measurement Unit)* – Aplicações em Proteção e Monitoramento.

3.0 - PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA DESENVOLVIDA PARA APOIAR A CAPACITAÇÃO DOS ENGENHEIROS DE PAC

Frente ao crescente desenvolvimento tecnológico, uma ferramenta nacional composta por *hardware* e *software* foi desenvolvida com o objetivo de possibilitar a modelagem completa do sistema elétrico com alto nível de confiabilidade e a reprodução dos sinais obtidos através de amplificadores de tensão e corrente, permitindo testes em IED's e demais dispositivos de medição e proteção, em malha aberta ou malha fechada através de métodos iterativos inteligentes [2].

3.1 Software

O software PS SIMUL, com início de desenvolvimento em 2009, foi disponibilizado no site da empresa pela primeira vez em uma versão *FREE* (gratuita) no ano de 2014 [3]. Este programa trabalha com uma interface bastante intuitiva e amigável, além de conter uma série de recursos que facilitam a modelagem do sistema elétrico incluindo a simulação de contingências, obtenção e avaliação de resultados, visualização de erros e entrada de dados em geral.

Em se tratando dos principais recursos disponibilizados pelo software, pode-se citar: utilização do método híbrido de solução das equações diferenciais (Trapezoidal + Interpolação + Euler) que evita a ocorrência de oscilações numéricas durante a simulação, possibilidade de reprodução de distúrbios reais no software com a importação de arquivos no formato COMTRADE ou CSV, geração automática de relatórios completos das simulações, definição de avaliações e rotinas de testes automáticas e suporte técnico especializado a disposição dos usuários.

No que tange a biblioteca do *software*, são disponibilizados mais de 400 blocos divididos pelos grupos: Elementos Passivos, Elementos Não Lineares, Fontes, Chaves/Faltas, Acoplamentos, Transformadores, Linhas/Cabos, Máquinas, Reguladores e Turbinas, Entradas/Saídas (conexão com hardware externo), Controles, Lógicas, Medição, Proteção, Eletrônica de Potência, Link com Runtime, Runtime e Outros. Tendo em vista que o foco para demonstração desta ferramenta no artigo relaciona-se diretamente ao treinamento de engenheiros eletricistas da área de atuação de PAC, destacam-se os seguintes modelos:

- **Modelos para interface entre sistema de potência e sistemas de PAC:** modelos de disjuntores e transformadores de instrumento, incluindo TP's capacitivos. Além disso, disponibilizam-se medidores como: de tensão, corrente, desequilíbrio de tensão, potência, fator de potência, *flicker*, frequência, entre outros.
- **Modelos para processamento de sinais:** portas lógicas, multiplexadores, flip-flop's, conversores D/A e A/D, seletores e geradores de sinais, filtros analógicos e digitais, funções de transferências, transformadas FFT (*Fast Fourier Transform*), PLL's (*Phase-Locked Loop*), entre outros.
- **Modelos de funções de proteção:** tais componentes foram idealizados para simular a estrutura básica que constitui os IED's, envolvendo desde a unidade de entrada, filtros analógicos, conversão A/D, etc. Já são disponibilizados blocos que realizam todos os cálculos e operações de maneira automática para as funções de proteção de distância (21) e diferencial (87), sendo as demais funções de proteção como frequência (81), sobretensão (27), subtensão (59), direcional de potência (32), direcional de sobrecorrente (67), sobrecorrente instantânea/temporizada (50/51), sobre excitação V/Hz (24) e religamento (79), já contempladas em exemplos prontos que acompanham o instalador do software.

3.2 Hardware

Para atender à aplicação de conexão direta com o software para geração de sinais analógicos e digitais obtidos durante a simulação, foram desenvolvidas gerações inovadoras de testadores universais dos modelos CE-6710, CE-7012 e CE-7024. Tais hardwares permitem a geração de correntes (até 800 A) e tensões (até 2 kV) e o interfaceamento com hardwares externos através de saídas e entradas binárias. Além disso, as malas de teste viabilizam a aprendizagem dos requisitos da IEC 61850/61869-9 permitindo que os sinais simulados pelo software sejam gerados tanto na forma tradicional analógica e sinais binários como na forma da norma que são *Sampled Values* e GOOSE.

4.0 - APLICAÇÕES DA FERRAMENTA EM TREINAMENTOS DE PAC

A metodologia de trabalho do *software* o subdivide em dois ambientes: *Draft* e *Runtime*. No ambiente do *Draft* será realizada a modelagem do sistema com a inserção de componentes de potência e/ou controle e o direcionamento de sinais para visualização após a simulação. Dessa maneira é possibilitada ao usuário a criação de modelos de relés de proteção, assim como os demais sistemas de automação e controle, de uma forma totalmente gráfica e bastante amigável, dispensando a necessidade de confecção de linhas de código ou quaisquer outras metodologias trabalhosas. A *Runtime*, por sua vez, é um ambiente desenvolvido para obtenção dos resultados da simulação através da inserção de gráficos dos tipos: analógicos, digitais, fasores, trajetórias de impedância, gráficos de barras, gráficos XY, entre outros. Neste ambiente o usuário pode tornar suas simulações ainda mais didáticas e de fácil compreensão com o recurso de modelagem de painéis de controle compostos por chaves, *dials*, *sliders*, *LED's* e medidores, agregando efeitos visuais de painéis de controle reais ao ambiente de simulação virtual. Com isso, o usuário poderá explorar o comportamento do sistema de proteção implementado com a alteração de parâmetros de falta (localização, tipo, resistência e ângulo de incidência), valores de resistência de burden de TC's (verificação de saturação), temporizações e *pickup's* das funções de proteção, entre outros.

É importante salientar também o fato da ferramenta proporcionar ao usuário a execução de duas modalidades de testes: SEP virtual + PAC virtual ou SEP virtual + PAC real. A primeira modalidade se

refere à implementação tanto do sistema de potência quanto do sistema de proteção em ambiente virtual, com utilização dos recursos de *software* da biblioteca. Isso permitirá que o usuário realize a modelagem matemática das lógicas e funções que compõem um relé de proteção e verifique, posteriormente, como este modelo irá operar frente a contingências ocorridas no sistema de potência, tudo a nível de *software*. A segunda modalidade inclui a versatilidade de se testar sistemas de PAC reais operando em conjunto com o sistema de potência modelado no *software*. Isso é possível com a amplificação das formas de onda de correntes e tensões resultantes das simulações e aplicação nos componentes reais, sendo no mesmo processo iterativo, aquisitadas as respostas destes componentes através de uma metodologia de testes em malha fechada.

Com o intuito de demonstrar algumas dessas potencialidades, serão abordados exemplos criados com utilização da ferramenta. Ressalta-se ainda que todos os sistemas aqui demonstrados acompanham o instalador do *software* juntamente com um pacote de exemplos que engloba diversas aplicações relacionadas a: qualidade de energia, transformadores, proteção, motores de passo, máquinas síncronas, máquinas DC, máquinas assíncronas, manobras em sistemas elétricos, energias renováveis, eletrônica-HVDC, linhas de transmissão, compensação de sistemas elétricos e um grupo de aplicações gerais.

4.1 Modelagem da função de proteção 51 (Sobrecorrente temporizada)

Essa demonstração tem o objetivo de abordar a proteção de sobrecorrente em um alimentador radial. No *Draft* (Figura 1) foi modelado o sistema de potência, composto por um sistema equivalente, um TC, um disjuntor e uma carga que é interligada ao sistema equivalente através de um alimentador. Além disso, foi modelada neste ambiente a lógica que reproduz a operação da função de proteção 51, dividida nos seguintes passos:

1) Calculo do valor RMS da corrente de secundário do TC;
2) Calculo do valor teórico do tempo de atuação com base na curva escolhida e no valor RMS medido, além do *pickup* e dial de tempo parametrizados (foram implementadas as curvas IEC normal inversa, muito inversa e extremamente inversa).
3) Comparação do valor RMS medido com o valor do pickup parametrizado e, caso o valor medido for superior é acionada uma contagem de tempo por um cronômetro.
4) Comparação da saída do cronômetro com o tempo de atuação teórico calculado, sendo o comando de TRIP enviado para o disjuntor caso o tempo teórico for ultrapassado.

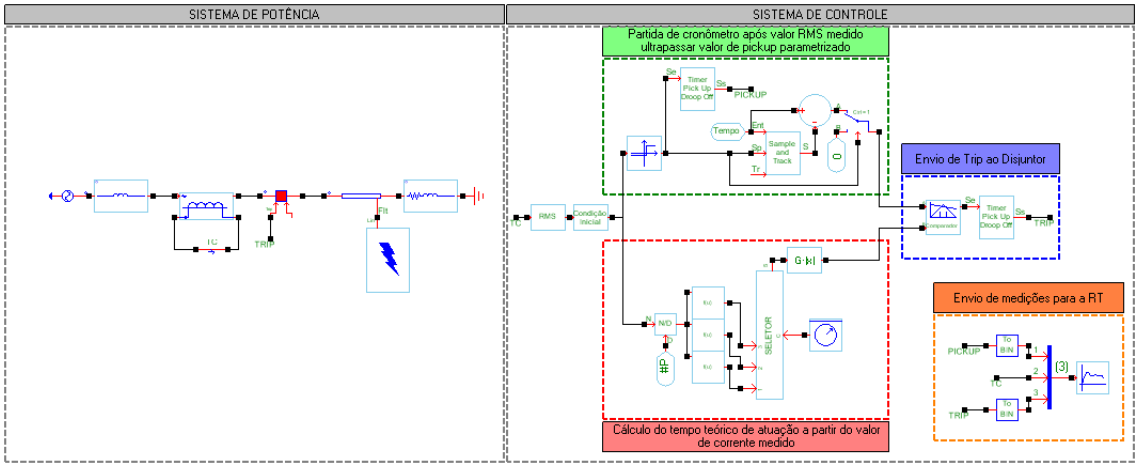

FIGURA 1 – Ambiente *Draft* com SEP e sistema de controle que reproduz a função de proteção 51.

Na *Runtime* (Figura 2) foi modelado um painel de controle que permite ao usuário definir: o local de ocorrência da falta no alimentador (%) e seu comprimento (km), além das características da curva inversa (tipo de curva, *dial* de tempo e *pickup*). Com isso, pode-se analisar a influência do comprimento do alimentador e da localização da falta nas magnitudes de corrente alcançadas durante o período da contingência, além de ser possível alterar através de rotinas de simulação as características de dial de tempo, pickup, e tipo de curva inversa, simultaneamente, buscando uma condição ótima de operação da função em termos de seletividade. Além disso, foram inseridos *LED's* sinalizadores que acendem quando as binárias de *TRIP* e *PICKUP* são acionadas e também gráficos analógicos/digitais para visualização das

formas de onda resultantes da simulação. No cenário mostrado houve a ocorrência de uma falta no terminal mais próximo da carga (100 % do alimentador) no instante t = 0,2 segundos. É possível visualizar o acionamento do *pickup* após a elevação dos níveis das correntes e o posterior acionamento da binária de *trip* (tempo aproximado de 0,204 segundos para atuação após início da falta). O *pickup* escolhido foi de 10 ampéres, o dial de tempo de 0,3 segundos e o tipo de curva IEC muito inversa. O comprimento considerado para o alimentador foi de 10 km.

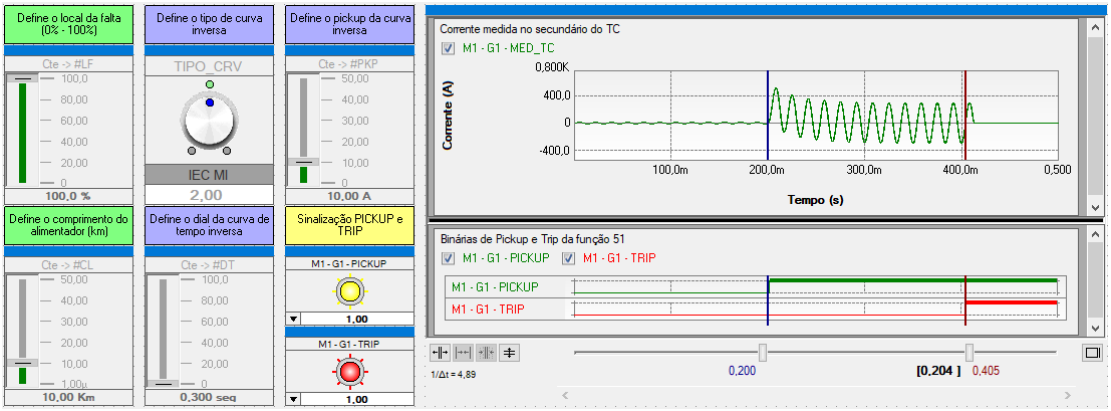

FIGURA 2 – *Runtime* com painel de controle e formas de onda resultantes da simulação.

4.2 Modelagem da função de proteção 21 (Distância)

Neste exemplo é abordada a proteção de distância em um sistema com alimentação nos dois terminais. No *Draft* (Figura 3) foi modelado o sistema de potência, com a representação dos sistemas equivalentes, os transformadores de instrumentos, um disjuntor e uma linha de transmissão que será submetida a contingências. Além disso, foi modelada também neste ambiente a lógica que reproduz a função de proteção 21, que está dividida nos seguintes passos:

1) São definidos os fasores para as tensões e correntes recebidas pelo relé;
2) Com a definição dos fasores é feito o cálculo da impedância do sistema. Neste exemplo, como trata-se de um sistema monofásico foi utilizado um componente da biblioteca do software que faz o cálculo de impedâncias entre fase e terra, contudo, disponibiliza-se também um componente que realiza o cálculo das impedâncias entre fases para aplicações em sistemas trifásicos.
3) Com os valores de R e X calculados, é verificado se o ponto no plano de impedâncias está ou não dentro da zona de atuação MHO definida pelo valor da impedância e ângulo da linha parametrizados. Caso estejam dentro da zona o comando de *TRIP* é enviado ao disjuntor.

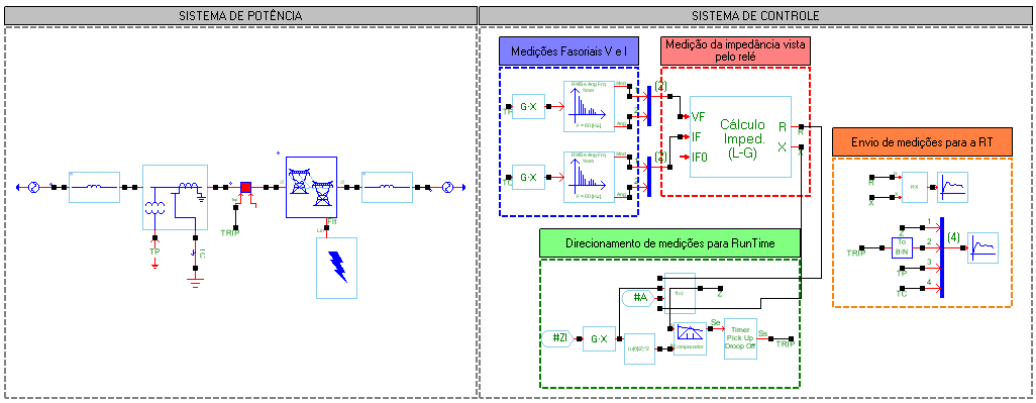

FIGURA 3 – Ambiente *Draft* com SEP e sistema de controle que reproduz a função de proteção 21.

Na *Runtime* (Figura 4) foi modelado um painel de controle que permite ao usuário definir: a impedância e ângulo da linha considerados na definição da zona de atuação, o alcance da zona de atuação em pu da impedância da linha e o percentual de ocorrência da falta na linha. Além disso pode-se visualizar através de um *LED* o acionamento da binária de *TRIP* e através dos gráficos as formas de onda de tensões,

correntes e trajetória de impedância do sistema. Isso permite ao usuário verificar, por exemplo, a influência do local de ocorrência da falta na trajetória de impedância vista pelos terminais do relé, podendo ainda considerar resistências de faltas diversas, ângulos de incidências para a falta, assim como a saturação dos transformadores de instrumento, fatores estes que irão impactar significativamente na operação da proteção. No cenário mostrado houve a ocorrência de uma falta a 40% da linha no instante de 0,2 segundos. Como o alcance da zona foi parametrizado para cobrir 80% da linha, pode-se observar na trajetória de impedância o momento exato em que a impedância do sistema assume valores internos à zona de atuação, fazendo com que ocorra o acionamento do *TRIP* e a posterior extinção da falta.

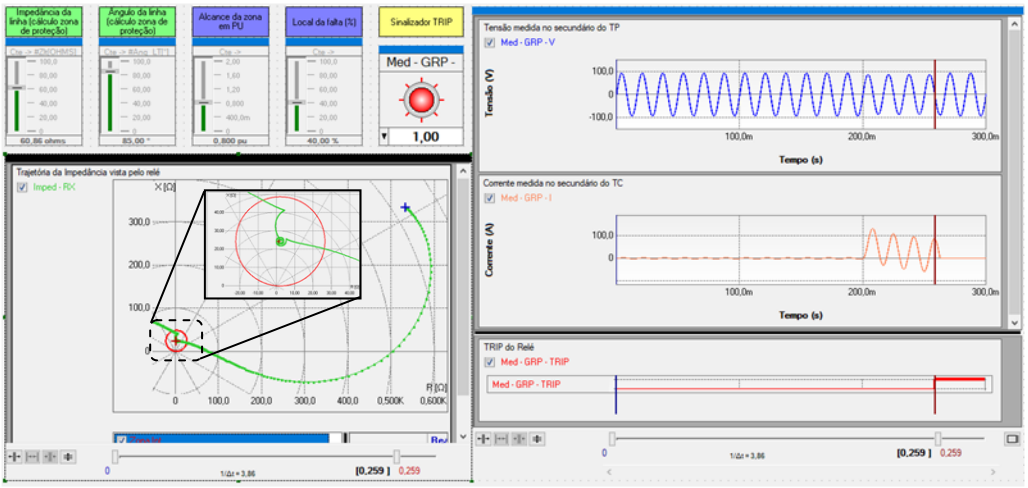

FIGURA 4 – *Runtime* com painel de controle, formas de onda e trajetórias de impedância do sistema.

4.3 Modelagem da função de proteção 67 (Direcional)

Essa demonstração objetiva abordar a unidade de proteção direcional de corrente como retaguarda na proteção de uma linha. Para isso foi modelado um sistema com duas linhas de transmissão conectadas por um barramento. No *Draft* (Figura 5) foi modelado o sistema de potência, onde o fluxo nominal de potência ocorre na direção de B1 para B2. Com isso, existem duas condições de falta, uma onde o fluxo da corrente terá a mesma direção da nominal adotada (região direta) e a outra onde o fluxo será reverso (região reversa). Foi modelada também neste ambiente a lógica que reproduz a função de proteção 67, dividida nos seguintes passos:

1) São definidos os fasores para as tensões e correntes recebidas pelo relé;
2) Definidos os fasores calcula-se o nível de sensibilidade com as grandezas de operação (corrente) e polarização (tensão), onde será considerado o ASM (ângulo de sensibilidade máxima) definido pelo usuário.
3) Através do valor calculado, verifica-se se o ponto de falta se encontra na região direta ou reversa. Caso esteja na região direta e com valor de corrente maior que a corrente de *pickup* parametrizada o comando de *TRIP* é enviado ao disjuntor.

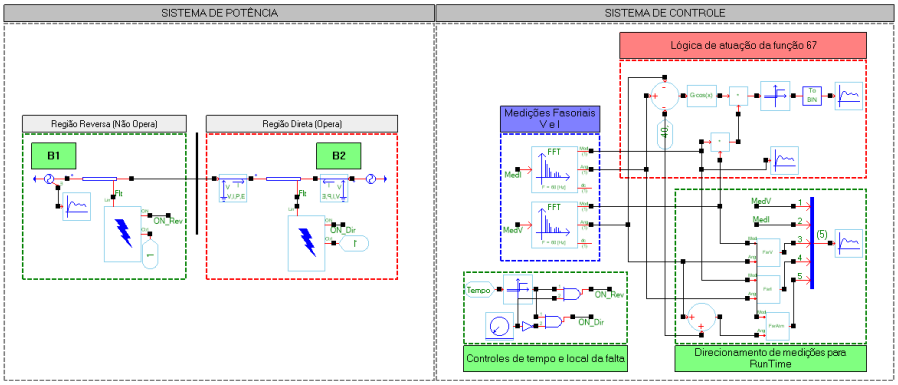

FIGURA 5 – Ambiente Draft com SEP e sistema de controle que reproduz a função de proteção 67.

Na *Runtime* (Figura 6) foi modelado um painel de controle que permite ao usuário definir: se a falta ocorrerá na região direta ou reversa, o instante da falta e o ASM parametrizado na função. Além disso, foram inseridos: um *LED* que sinaliza o acionamento da binária de *TRIP* e gráficos que permitem o monitoramento das magnitudes instantâneas e dos fasores de tensões e correntes do sistema. No cenário mostrado a falta ocorreu na região direta no instante t = 0,25 segundo. É possível visualizar o acionamento do *trip* assim como a variação do diagrama fasorial antes e após a ocorrência da contingência. Utilizando os recursos do painel de controle, o usuário pode facilmente simular faltas ocorridas na região reversa, onde deverá constatar a não operação da função direcional, assim como estudar a característica direcional da função variando o ASM.

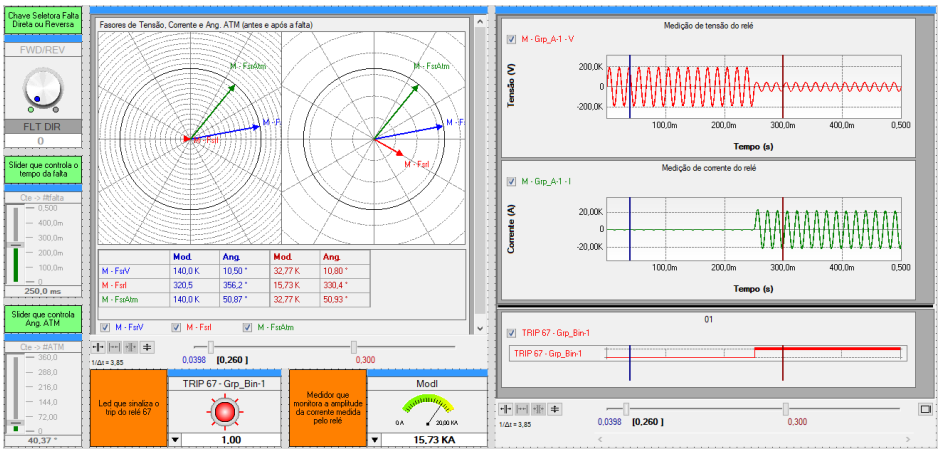

FIGURA 6 – *Runtime* com painel de controle, formas de onda e gráficos de fasores.

4.4 Testes em malha fechada por processos iterativos da função 87B (Diferencial de Barra)

Essa demonstração objetiva abordar a proteção diferencial de barra, assim como os testes em malha fechada possibilitados pela ferramenta [4]. Para realização dos testes foi modelado no *Draft* (Figura 7) um sistema composto de uma barra simples com 9 alimentadores conectados, todos com geração considerando-os parte de um sistema interligado. Oito dos alimentadores possuem uma carga conectada.

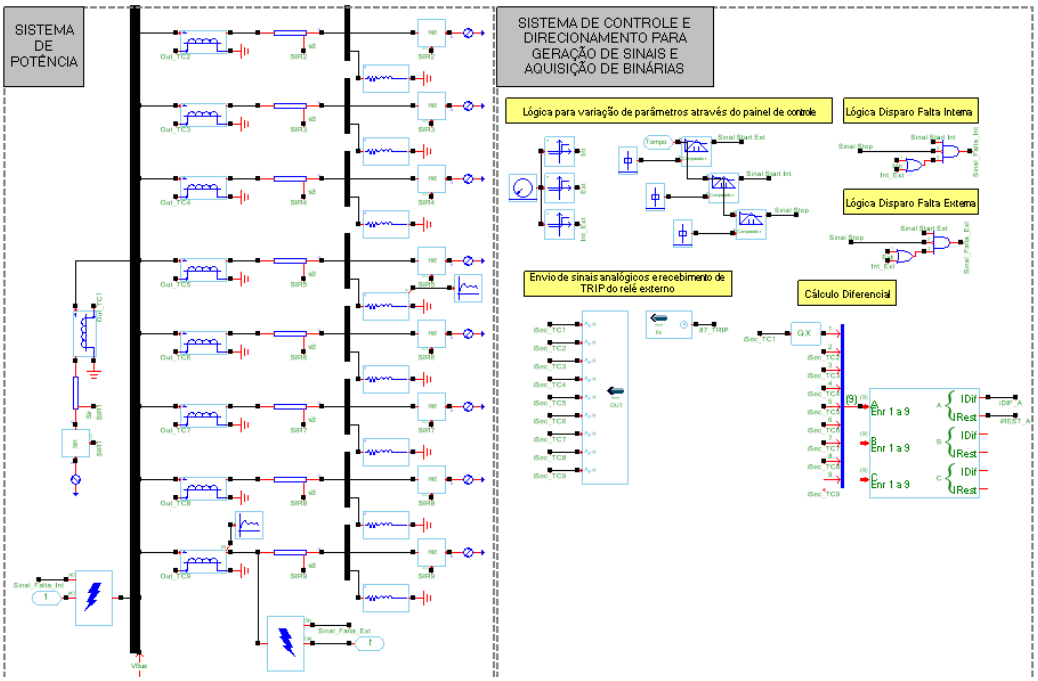

FIGURA 7 – Draft com SEP e sistema de controle, incluindo o direcionamento de saídas analógicas/digitais e entradas digitais para comunicação com hardware externo.

O sistema teste utilizado para obtenção dos resultados é mostrado na Figura 8, composto por uma mala de testes do modelo CE-7024 conectada a um relé SIEMENS modelo 7UT613 e um computador para execução do software. A mala de testes utilizada possui 18 canais de corrente com capacidade de geração de 50 Arms e 500VA cada, mais 6 canais de tensão com 335 Vrms e 100 VA cada, além das entradas e saídas binárias para interfaceamento com o relé.

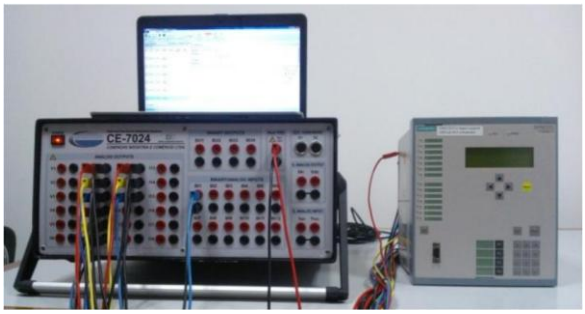

FIGURA 8 – Sistema teste – CE-7024 conectado ao 7UT613.

Na realização dos testes foram criados casos de simulação variando diferentes parâmetros e investigando o comportamento da proteção em cada caso. Tais cenários permitem ao usuário explorar o funcionamento do relé em condições de faltas internas e externas, além de faltas evolutivas (evoluindo de externas para internas), nas condições sem saturação e com saturação para faltas externas, validando o funcionamento da função de detecção de saturação do relé. Em todos os cenários simulados o software permite a visualização na *Runtime* (Figura 9) das formas de onda injetadas, dos sinais de controle das chaves, da resposta do relé, da trajetória das correntes de operação e restrição no gráfico *Idiff* x *Ibias*, dentre outros recursos que podem ser habilitados de acordo com a necessidade do teste.

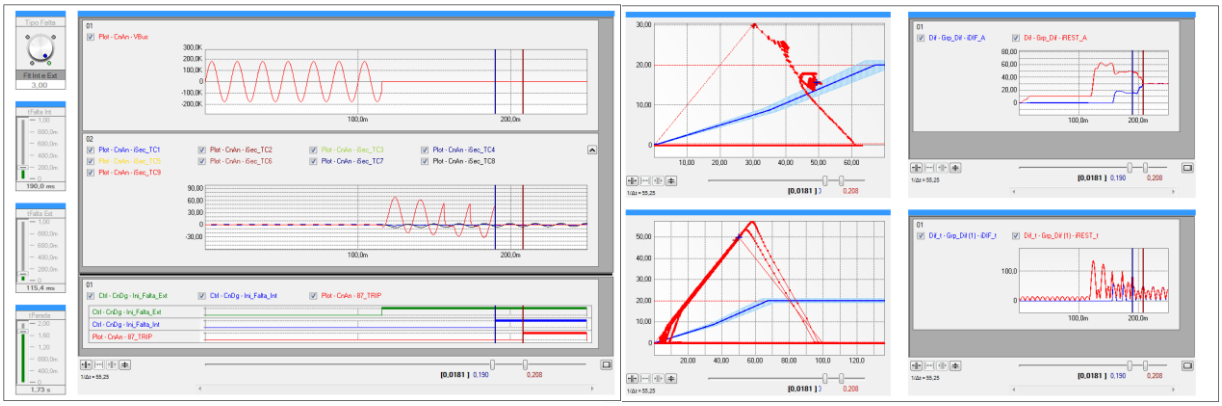

FIGURA 9 – Runtime com painel de controle, formas de onda, e trajetórias da função diferencial.

4.5 Realização de testes no ambiente da norma IEC 61850

Além das aplicações já ressaltadas, a ferramenta engloba recursos que permitem ao usuário a interação com o ambiente da norma IEC 61850, através da troca de mensagens via rede Ethernet. Com isso, pode-se realizar tanto o envio de mensagens GOOSE e *Sampled Values*, quanto o recebimento de mensagens GOOSE. As configurações relativas a norma IEC 61850 são realizadas com a importação de arquivos SCL (*Substation Configuration Language*).

Dessa forma o usuário poderá trabalhar tanto com barramento de estação quanto com barramento de processos, capacitando-se para os novos desafios presentes nas subestações digitais que atendem à norma IEC 61850.

O direcionamento dos sinais no PS Simul, que serão convertidos em mensagens GOOSE e *Sampled Values,* é realizado através dos componentes mostrados na Figura 10. Esta figura mostra também um exemplo de frame capturado pelo analisador de protocolos no software WireShark.

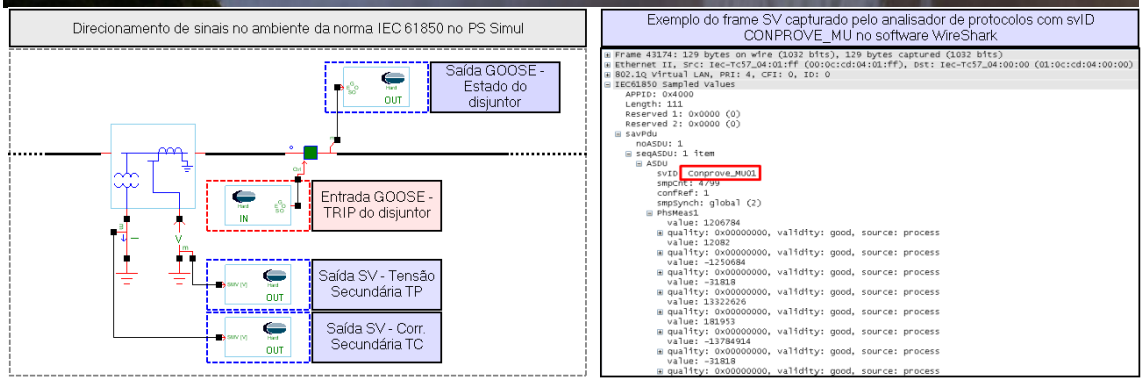

FIGURA 10 – Direcionamento de canais (IEC 61850) e exemplo de frame SV capturado.

5.0 - CONCLUSÃO

O trabalho realizou uma breve discussão sobre a formação dos engenheiros no Brasil, diante dos programas de cursos de engenharia elétrica ofertados atualmente e ressalta sobre à que tipo de atividades um profissional deste ramo pode ser solicitado em seu local de trabalho nos dias de hoje. Com base nestas evidências foram sugeridos tópicos para treinamentos complementares, de curto período de tempo, de forma que os engenheiros possam acompanhar com mais facilidade os avanços tecnológicos, visto que, com a evolução observada nas últimas décadas uma diversidade de novos recursos foi introduzida nos IED's.

O trabalho apresentou uma ferramenta que objetiva viabilizar o aprendizado dessas tendências. Esta ferramenta é composta por um *software* que permite desde a modelagem do sistema elétrico de potência, controle e medição, até à integração com *hardware* externo que interfaceia os sinais nas formas de analógicos/*Sampled Values* e binários/GOOSE, atendendo às exigências do barramento de processos do IEC 61850 e possibilitando a geração destes sinais para dispositivos físicos externos como IED's.

Foram apresentados diferentes estudos realizados com utilização da ferramenta onde comprovou-se a capacidade do *software* em potencializar o aprendizado de temas de PAC explorando o comportamento da proteção, através de uma biblioteca com uma grande diversidade de componentes robustos e de uma interface gráfica amigável composta por painéis de controle e gráficos que permitem a visualização de trajetórias de impedâncias, trajetórias de funções diferenciais, fasores, sinais analógicos/digitais, entre outros.

Observou-se também que a modelagem dos sistemas de PAC pode ser realizada de maneira totalmente gráfica através da interligação dos componentes disponibilizados pela biblioteca, dispensando a necessidade de confecção de linhas de código ou quaisquer outras metodologias trabalhosas. Foi demonstrada também a eficácia do método de integração entre o ambiente virtual e equipamentos reais, através dos testes iterativos em malha fechada.

A ferramenta se mostrou muito valiosa para estudos e treinamentos, possibilitando encurtar caminhos para o aprendizado das novas técnicas e potencializar o crescimento dos engenheiros de PAC frente às novas tendências.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) CIGRÉ - Working Group B5.40, "*Education, Qualification and Continuing Professional Development of Engineers in Protection and Control*", 2014.
(2) Pereira, P. S., Pereira Junior, P. S., Martins, C. M., Davi, M. J. B. B., Salge, G. S., Lourenço, G. E., Reis Filho, F. A., Silveira, P. M., Guerrero, C. A. V.. Testes em malha fechada: Uma comparação entre tempo real e método iterativo; SNPTEE 2017; Brasil.
(3) Conprove Engenharia, Indústria e Comércio, PS SIMUL: Software para Modelagem do Sistema de Potência e Simulação de Transitórios Eletromagnéticos. Acesso em 05 de julho de 2018, em: http://www.conprove.com.br/pub/i_ps_simul.html
(4) Pereira, P. S., Pereira Junior, P. S., Martins, C. M., Salge, G. S., Lourenço, G. E.. Requisitos, dificuldades e novas soluções para os testes de proteções diferenciais de barra; STPC 2014; Brasil.