



XVI SNTPEE
Seminário Nacional de Produção e
Transmissão de Energia Elétrica

GRUPO V

PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

GPC/028

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica em Sistema de Potência
Discussão de filosofias

Policarpo Batista Uliana

Reason Tecnologia S.A.

Herivelto de Souza Bronzeado

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF

RESUMO

Neste artigo são abordados os conceitos básicos relacionados com registradores digitais de perturbações (RDP) e registradores digitais de parâmetros de qualidade de energia elétrica (RQEE), ressaltando suas diferentes funcionalidades e características encontradas nos principais equipamentos disponíveis no mercado, bem como suas aplicações típicas.

PALAVRAS-CHAVE:

Qualidade da energia elétrica; Oscilógrafo; Registrador digital de perturbação; Registradores de parâmetros de QEE; Qualimetria.

1.0 INTRODUÇÃO

No último século do milênio houve um avanço científico e tecnológico que superou em muitas vezes tudo o que a humanidade fizera até então.

O crescimento exponencial dos sistemas computacionais e a disseminação explosiva dos meios de comunicação pessoal e da Internet são apenas uma ponta de um imenso "iceberg" tecnológico. Na base deste "iceberg" encontram-se as tecnologias que nos permitem controlar, produzir, transmitir e utilizar uma das mais versáteis e poderosas formas de energia: a energia elétrica. De fato sem o domínio que temos da energia elétrica, a maior parte das máquinas e equipamentos da nossa sociedade tecnológica deixariam de existir.

Analisando a história da humanidade verifica-se que o nível tecnológico presente nas grandes cidades da França e da Inglaterra no século XVII não eram

muito maior do que aqueles já praticados (ou ao menos conhecidos) à muitos séculos pelos Egípcios, Gregos e Romanos. O que muitos desconhecem é que uma grande parcela do processo de revolução tecnológica do século passado só foi possível graças a experiência de Galvani (1) com pernas de um sapo!

Este artigo tem como objetivo fazer uma comparação qualitativa entre as características básicas dos modernos instrumentos utilizados para monitorar grandezas elétricas, enfocando as vantagens e desvantagens de cada um deles na monitoração dos parâmetros para análise da Qualidade da Energia Elétrica.

2.0 ELETRICIDADE - UM BREVE HISTÓRICO

Os fenômenos eletrostáticos já eram a muito conhecidos quando em 1791 o italiano Luigi Galvani observou que pernas de sapos recém dissecados se contraíam quando recebiam descargas eletrostáticas. A descoberta deste "voltímetro" natural permitiu a Galvani verificar que duas ligas metálicas diferentes (bronze e ferro) também geravam o que ele definiu com "eletricidade animal". Com base nestes experimentos, em 1794 o italiano Alessandro Volta criou a primeira bateria e a primeira pilha elétrica. A partir daí elas foram sendo constantemente aprimoradas. Em 1859 o francês Gaston Plante desenvolveu a bateria de chumbo-ácido e em 1876 o francês Georges Leclache criou a pilha seca que estão em uso até hoje.

A posse de uma fonte de energia contínua permitiu que, em 1819, o dinamarquês Hans Oersted fizesse a descoberta acidental de que uma corrente elétrica afeta o ponteiro de uma bússola, gerando um campo

magnético. Esta descoberta permitiu ao alemão Johan Scheigger desenvolver, em 1820, o primeiro galvanômetro (miliamperímetro) que aposentou as pernas de sapo após 39 anos de uso. Utilizando um fio envernizado enrolado em uma barra de ferro, o inglês Willian Sturgeon construiu, em 1823, o primeiro eletroímã, enquanto o francês André Marie Ampère realizava experiências com condutores, as quais dariam a base teórica para o estudo de circuitos elétricos e magnéticos. A partir destas descobertas, o inglês Michael Faraday levantou a seguinte questão: “se uma corrente elétrica gera um campo magnético, pode o inverso ser verdadeiro?”. Esta pergunta foi respondida com sucesso e culminou no desenvolvimento por Faraday, em 1831, do primeiro gerador elétrico ou dínamo. Simultaneamente, o americano Joseph Henry “reverteu o processo” e criou primeiro motor elétrico.

A disponibilidade de fontes abundantes de energia elétrica permitiu o surgimento de uma série de novas tecnologias, como por exemplo a primeira lâmpada incandescente desenvolvida pelo americano Thomas Alva Edson, em 1879, que iria ser a base para o desenvolvimento da válvula eletrônica e, conseqüentemente, do rádio, da TV e dos computadores digitais.

É impressionante observar que, a partir dos trabalhos de Faraday, o ritmo da utilização prática e da disseminação dos sistemas de geração e transmissão de energia elétrica foi incrivelmente crescente (2). Já em 1885 foi construída a primeira hidroelétrica que gerou energia para alimentar 150 lâmpadas da cidade de Massachusetts nos Estados Unidos. A primeira linha de transmissão monofásica em corrente alternada foi posta em operação em 1890 nos Estados Unidos e tinha 20 km de comprimento e operava em 3.3kV. Em 1888 o americano Nicola Tesla desenvolveu os primeiros motores de indução e os motores e geradores polifásicos. A partir daí começaram a surgir diversas usinas geradoras e com o aumento da demanda de energia os sistemas de transmissão passaram a operar em níveis de tensão cada vez mais elevados. Em 1907 foi implantada a primeira linha operando em 100kV, em 1913, as tensões atingiram 220kV e, em 1953 passaram a 345kV. O nível de tensão de 500 kV foi atingido em 1965 e, quatro anos mais tarde, chegou-se a 765kV.

A demanda de potência e a necessidade de maior confiabilidade, conduziram a interligação de sistemas vizinhos. Esta interligação, associada ao aumento contínuo de tensão de transmissão, trouxe consigo uma série de problemas tecnológicos associados à isolação dos equipamentos e também à proteção dos mesmos, devido ao aumento das correntes de curto circuito e a necessidade de dispositivos que isolassem rapidamente os defeitos que poderiam afetar todo o sistema interligado.

3.0 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO E MEDIÇÃO

O desenvolvimento de disjuntores de maior capacidade (e maior tensão de operação) gerou uma série de novos desafios tecnológicos, demandando a utilização de dispositivos que detectassem o mais rápido possível as condições de defeito e comandassem a abertura dos mesmos. Surgiram, então, os primeiros relés de proteção eletromecânicos que são verdadeiras obras de relojoaria.

O uso desses relés torna-se mais sofisticado na medida em que os sistemas passa a ser interligados e a potência elétrica passa a fluir nos dois sentidos na interligação, sendo necessária uma estratégia inteligente de coordenação da atuação desses dispositivos. Surgiram então os primeiros relés de distância e as técnicas de teleproteção que visam o desligamento de uma área mínima adjacente ao defeito.

A sofisticação dos sistemas de proteção leva a um novo problema: como a atuação deste dispositivos é muito rápida, seria praticamente impossível acompanhar tudo o que acontece em uma situação de defeito a fim de avaliar se o sistema de proteção está operando corretamente.

A evolução da eletrônica, que levou ao desenvolvimento do tubo de raios catódicos e da TV, gerou um poderoso sucessor para o galvanômetro, o osciloscópio, que possibilitou a visualização de fenômenos rápidos e periódicos. Porém, somente o osciloscópio em si não resolveu de registros de fenômenos que ocorrem de forma aleatória, demandando registros somente a partir de eventos pré-programados. Assim, para supervisionar os relés de proteção, foram desenvolvidos os primeiros oscilógrafos ou registradores de perturbação (RDP).

Os primeiros RDPs eram eletromecânicos, constituídos, basicamente, de miliamperímetros cujo movimento do ponteiro registrava a forma de onda em uma tira de papel também em movimento. Mesmo sendo à frequência fundamental, considerada relativamente baixa em termos elétricos, a gravação de sinais com esta frequência (60 ciclos por segundo) com dispositivos mecânicos sempre constituiu um grande desafio que nunca foi totalmente solucionado.

As tecnologias dos RDPs evoluíram e, ao invés de utilizar uma “caneta” para registro, passou-se a utilizar papéis foto-sensíveis, nos quais um raio de luz controlado por um espelho conectado mecanicamente a um miliamperímetro, registrava as formas de onda.

A mesma evolução dos dispositivos de estado sólido (e da eletrônica analógica) que praticamente eliminou a utilização das válvulas, serviu como base para a geração de uma nova geração de relés que se propunham a substituir os relés eletromecânicos: os relés estáticos.

Os RDPs também evoluíram para uma nova geração, baseados também no uso de circuitos eletrônicos analógicos associados a dispositivos de gravação em fitas magnéticas.

Estas duas tecnologia tiveram uma vida muito curta, pois foram logo superadas pelo avanço da eletrônica digital que possibilitou o desenvolvimento e a aplicação dos relés e dos RDPs digitais.

4.0 OSCILÓGRAFOS DIGITAIS

Os oscilógrafos (RDP) digitais são ferramentas indispensáveis para a monitoração e o diagnóstico de defeitos em sistemas elétricos e sistemas de proteção associados (3). Para a rede básica de transmissão a utilização destes equipamentos é tanto uma exigência técnica dos órgãos regulamentadores do setor, como também uma questão de bom senso, uma vez que os custos diretos associados aos problemas nestes sistemas podem ser tão elevados que o benefício advindo da análise dos dados registrados em um único evento pode superar, em muito, o custo de toda uma rede de RDPs.

Os RDPs digitais apresentam muitas vantagens quando comparados com os RDPs analógicos:

- Baixa necessidade de manutenção
- Maior flexibilidade de configuração de disparos
- Maior capacidade de memória
- Facilidade na coleta das informações
- Os dados podem ser tratados, com uso de “softwares” poderosos que permitem diversos tipos de cálculos e análises e também funções de localização de defeito.
- Os dados podem ser visualizados de várias formas e podem também ser exportados para malas de testes a fim de verificar a atuação dos relés de proteção sob condições reais de defeito.

Uma opção que tem sido bastante discutida é o uso do próprio relé de proteção para fazer os registros oscilográficos. Em princípio esta opção oferece vantagens econômicas apreciáveis, pois os relés mais modernos já dispõem de funções de oscilografia, sem custos adicionais. No entanto, esta opção apresenta algumas desvantagens:

- Um defeito no sistema de aquisição do relé não será facilmente detectado;
- No caso de uma falha por não atuação do relé nenhum dado será gravado;
- Os sistemas de aquisição do relé são fortemente voltados à detecção da componente fundamental, sendo utilizados filtros analógicos e digitais que podem comprometer, em muito, a resposta em maiores frequências.

5.0 INSTRUMENTOS DEDICADOS PARA REGISTRO DE PARÂMETROS PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

O advento dos sistemas de monitoração digital permitiu ir além da monitoração dos sistemas de proteção. Nos últimos anos tem-se observado um grande interesse na monitoração de parâmetros associados a qualidade da energia elétrica fornecida (4). Estes parâmetros, de uma forma geral, podem ser agrupados em:

- Sinais transitórios sobrepostos ao sinal de frequência fundamental
- Variações momentâneas de tensão
- Interrupções momentâneas (Continuidade)
- Desequilíbrio de tensão/corrente
- Variações de frequência
- Distorções da forma de onda (Harmônicos)
- Flutuação de tensão/cintilação

O volume de dados necessário para a análise de cada um destes fenômenos leva em consideração a sua característica e duração. Para os fenômenos que necessitam de um grande volume de dados para sua caracterização, geralmente adota-se uma abordagem de registros periódicos de eventos. No caso de fenômenos lentos (“quase-permanente”), cuja caracterização necessite de um pequeno volume de dados, utiliza-se uma estratégia de medição contínua (histórico).

Ao contrário dos RDPs digitais, os quais já possuem um conjunto de funcionalidades muito bem definido e consolidado, os registradores de parâmetros para análise da qualidade da energia elétrica (RQEE) ainda se encontram em fase de consolidação, quanto aos recursos disponíveis, capacidades de memória, capacidades de comunicação, protocolos de medição e até mesmo quanto ao preço básicos desses instrumentos.

6.0 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS RDPs e RQEEs DIGITAIS

A fronteira que separa um RDP de um RQEE é bastante tênue e muitas vezes não parece estar bem clara para os usuários (e mesmo para alguns fabricantes) destes dois tipos de equipamentos.

De uma forma geral, as características básicas desses instrumentos são:

RDP:

- Visa monitorar a atuação do sistema de proteção e a detecção de falhas em equipamentos e linhas de transmissão;
- Normalmente monitora um grande número de sinais analógicos referentes a vários circuitos;
- Realiza, relativamente, poucos cálculos sobre os sinais monitorados;

- É configurado para disparar por “triggers” analógicos e digitais associados normalmente a defeitos no sistema elétrico
- Gera registros oscilográficos com duração típica de alguns segundos;
- Deve utilizar uma sincronização temporal (normalmente por GPS) que permita a análise conjunta de dados de diversos equipamentos;
- Gera normalmente um pequeno número de eventos, mas com grande volume de dados associado a cada evento;
- Os dados são lidos e analisados com uma filosofia voltada ao tratamento de eventos individuais;
- Normalmente são instalados em TPs e TCs que alimentam o sistema de proteção

RQEE:

- Visa monitorar um conjunto de parâmetros cujo escopo é bem maior do que o do RDP;
- Normalmente monitoram um único circuito (4 correntes e 4 tensões);
- Realizam muitos cálculos sobre os sinais monitorados;
- É configurado por uma série de “triggers” associados aos problemas de Qualidade de Energia Elétrica (o que normalmente exclui os triggers digitais);
- Gera registros estatísticos de eventos aos quais podem estar associados a dados fasoriais (valores de módulo e ângulo medidos a cada ciclo) e também a dados oscilográficos;
- Gera registros históricos (medição contínua);
- A sincronização temporal não é tão relevante, embora necessária.
- Grava normalmente um grande número de eventos, sendo grande a preocupação com estratégias que minimizem o volume de dados armazenados.
- Os dados são lidos e analisados com uma filosofia voltada para o tratamento estatístico dos eventos ocorridos em um certo período de tempo. Registros oscilográficos concomitantes com os eventos são disponibilizados para permitir uma melhor visualização dos fenômenos.
- Podem ser instalados em TPs e TCs que alimentam os sistemas de medição

A figura 1 mostra conjuntos aplicados a um espaço definido por várias características dos RDPs e RQEEs. As características comum aos dois registradores constituem-se fundamentalmente pelo hardware de aquisição dos sinais de corrente e tensão, sendo que o escopo do RQEE é muito mais abrangente do que o do RDP. No entanto, existem muitas funcionalidades no RDP que não são realizadas pelo RQEE, tais como a localização de defeitos e geração de “triggers” digitais.

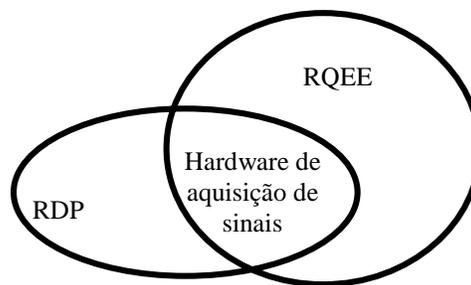


FIGURA 1 – Representação gráfica de conjuntos de características de RDPs e RQEEs

7.0 USO DE UM RDP COMO RQEE

Alguns parâmetros de QEE, principalmente os associados às variações momentâneas de tensão e interrupções, podem ser facilmente registradas com o auxílio de um RDP. No entanto, o volume de dados armazenados é normalmente excessivo, tornando o tratamento dos mesmos muito trabalhoso, uma vez que muitas das etapas não são realizadas de forma automática.

A medição de fenômenos de natureza “quase-permanente” (harmônicos, por exemplo) pode ser realizada através de disparos de oscilografias em intervalos de tempo periódicos. Este tipo de registro, no entanto, além de gerar um grande volume de dados, normalmente não atende totalmente aos protocolos de medição usualmente empregados. Alguns fenômenos que dependem de protocolos de medição bastante específicos (como por exemplo a medição de cintilação) normalmente não podem ser realizados por meio de um RDP.

8.0 USO DE UM RQEE COMO RDP

Alguns RQEEs possuem funções de oscilografias e podem, portanto, também serem utilizados como RDP. Apesar disso, algumas funções mais específicas dos RDPs, tais como localização de defeitos e geração de alguns tipos de “triggers” (como aqueles associados ao sinal “calculado” de corrente de neutro) podem não estar disponíveis nos RQEEs. Além disso, dependendo da capacidade de memória do instrumento, as funções de oscilografia no RQEEs podem ficar comprometidas.

9.0 SISTEMAS DE PROTEÇÃO E MONITORAÇÃO MULTIFUNCAIONAIS

Atualmente já se observa que uma série de equipamentos distintos (relés digitais, RDPs, RQEEs e remotas) são definidos basicamente sobre estruturas de hardware muito similares (medição de correntes, tensões, sinais digitais, sinais de sincronismo de tempo, interfaces de comunicação, etc.) e que se diferenciam

basicamente pelo software que utilizam. De uma forma geral, esses equipamentos apresentam as seguintes funcionalidades:

- Medição de sinais de corrente e tensão
- Cálculo de grandezas derivadas da tensão e corrente
- Medição de parâmetros de QEE (harmônicos, cintilação, desequilíbrios, etc...)
- Gravação de registros oscilográficos
- Gravação de registros fasoriais
- Gravação de registros históricos
- Gravação de registros seqüenciais de eventos
- Gravação de dados estatísticos
- Realização de diversas funções de proteção
- Realização de diversas funções de controle
- Realização de funções de monitoração em tempo real.
- Comunicação via modem e via interface serial
- Comunicação via rede local

A princípio, uma vez que a diferença entre esses equipamentos se dá, fundamentalmente, pelo uso de um “software” específico, poder-se-ia desenvolver um equipamento tipo “coringa”, de uso genérico, onde a mesma base de dados poderia ser utilizada concomitantemente pelos diferentes pacotes de “softwares”, realizando todas as funcionalidades possíveis do equipamento. No entanto, na prática, o que ocorre é a existência de vários usuários diferentes para cada uma destas funcionalidades, bem como de fluxos distintos de geração, armazenamento e transmissão de dados para cada uma delas. Desta forma esta multifuncionalidade apresenta um custo associado à sua própria utilização e ao compartilhamento do uso dos equipamentos para propósitos distintos (as vezes até conflitantes).

Além disso, é sempre interessante separar (ou duplicar) as funções de controle e monitoramento através do uso de equipamentos distintos, a fim de obter uma maior confiabilidade no diagnóstico de problemas.

O que tem se observado, no mercado, é o uso cada vez maior de:

- Relés digitais com funções de proteção e controle associadas a registros oscilográficos simplificados;
- Remotas com funções de medição e controle associadas a registros históricos simplificados;
- Medidores com funções de registro de parâmetros simplificados de QEE;
- Oscilógrafos, com funções de registro de parâmetros simplificados de QEE;
- RQEE com funções simplificadas de oscilografia ;

10 – FUTURO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO E MONITORAÇÃO

Com os avanços na velocidade e capacidade de processamento e a efetiva redução do custos dos processadores e memórias, há uma tendência para a padronização do hardware dos registradores digitais. No futuro esses registradores serão bem mais compactos e possuirão grande capacidade de processamento e memória. Os discos rígidos hoje encontrados em alguns equipamentos serão substituídos por memórias de silício que não possuem partes móveis. As interfaces de comunicação deverão possibilitar a composição de redes de equipamentos interconectados por fibras óticas, permitindo alta velocidade (100Mbps) na transmissão de dados e o acesso via internet (ou intranet). As interfaces serão também padronizadas, com as funcionalidades dos equipamentos sendo definidas através de pacotes de software configurados através de paginas em HTML. Os dados serão disponibilizados através de servidores FTP, com os protocolos de controle do tipo SNMP sendo utilizados para diagnósticos da operação desses equipamentos.

A melhoria significativa dos meios físicos de comunicação farão com que os equipamentos de monitoração sejam “onipresentes”, enviando mensagens para seus usuários quando detectarem situações anormais ou desejarem transmitir novos dados coletados. Além disso, com a evolução dos algoritmos de inteligência artificial, estarão disponíveis “softwares” que poderão fazer uma pré-análise dos dados de oscilografia e seqüenciais de eventos, de forma a diminuir o trabalho do analista filtrando os dados redundantes ou sem importância para a análise, além de realçar as informações mais importantes. Esse algoritmos inteligentes poderão, inclusive, realizar diagnósticos de falhas e problemas nos sistemas de proteção e controle de subestações e usinas.

Acredita-se que, devido a questões de acessibilidade, segurança, confiabilidade e redundância, os equipamentos do futuro, independentemente de suas capacidades multifuncionais, permanecerão com pelo menos três macro funções, associadas a equipamentos distintos:

- Funções de proteção e controle (necessidade de segurança de operação)
- Funções de medição de consumo e demanda de energia (necessidade de segurança dos dados)
- Funções de registro oscilográfico e monitoração de parâmetros de QEE (necessidade de acompanhamento e análise do desempenho do sistema)

Desta forma, tantos os RQEEs quanto os RDPs deverão evoluir até que suas funcionalidades se

confundam, integrando-se em um só equipamento. Mesmo com esta integração de funções, esses equipamentos deverão permitir que o seu acesso e configuração possa ser feito por grupos de usuários distintos (através de “softwares” customizados), que os tratarão como se fossem equipamentos independentes. Assim, os dados a serem acessados por um usuário poderão ser ocultos para o outro a fim de evitar uma sobrecarga de informações e garantir a sua confidencialidade.

Além disso, certas funcionalidades que demandam soluções bastante específicas, tais como os registros de fenômenos de alta frequência, que deverão ser obtidos através de instrumentos dedicados, os quais geralmente não são multifuncionais.

Uma outra tendência, face a redução dramática dos preços de “hardware” para medidores elétricos, é a utilização residencial de monitores de parâmetros simplificados de QEE, além da incorporação de funções de registro de certos parâmetros de QEE nos próprios medidores residenciais de consumo de energia.

11.0 CONCLUSÕES

No Brasil uso de RDPs digitais está praticamente consolidado, sendo fundamentalmente utilizado nos sistemas de transmissão de alta tensão. Já o uso de RQEEs ainda é incipiente, sendo que os próprios equipamentos e softwares associados encontram-se em uma fase de maturação e grande aprimoramento. A tendência é de que os RQEEs sejam utilizados principalmente nos pontos de conexão entre os diversos agentes do setor elétrico com o objetivo de se fazer um acompanhamento contínuo da qualidade da energia elétrica na fronteira entre as empresas, sendo que os consumidores industriais já começam a instalar seus próprios medidores.

Desta forma, o que se visualiza para a próxima década é o desenvolvimento de equipamentos mais poderosos que tenderão a agrupar simultaneamente as duas funções (oscilografia e qualimetria), e que irão realizar a monitoração de praticamente toda a rede de transmissão e distribuição de energia elétrica.

O grande desafio a ser enfrentado pelos fabricantes de registradores não será o desenvolvimento de “hardwares” e “softwares” dos equipamentos, mas sim a definição de estratégias do uso e da integração desses instrumentos por conjuntos de usuários com objetivos e necessidades distintas, que deverão ser atendidas concomitantemente.

12.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) ASIMOV, I. Mergulho no Futuro; Editora Bertrand Brasil S. A. 1991
- (2) STEVENSON, W.D. Elements of power system analysis; McGraw-Hill 1982.
- (3) ANDERSON, P.M. Analysis of Faulted Power Systems; IEEE Press 1973.
- (4) DUGAN, R. C. MCGRANAGHAN, M.F. BEATY H.W. Electrical Power Systems Quality; McGraw-Hill 1996.

13. DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES

Policarpo Batista Uliana: Graduou-se em Engenharia Elétrica, em 1991, pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC e obteve o título de Mestre na área de metrologia holográfica em 1995. Atualmente esta concluindo seu doutorado na área de Inteligência Artificial, pela UFSC. Atuou como engenheiro de desenvolvimento na Fundação CERTI e como diretor técnico do Centro de Tecnologia em Automação e Informática do SENAI-SC. Atualmente coordena as áreas de desenvolvimento de software e hardware da Reason Tecnologia S.A.

Herivelto de Souza Bronzeado: Graduou-se em Engenharia Elétrica, em 1975, pelo Centro de Tecnologia da UFPB (Campina Grande, PB). Desde então, passou a fazer parte do corpo técnico da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), lotado atualmente na Divisão de Estudos da Operação Elétrica (DOEL). Em 1993 recebeu seu *Master of Science* em *Power System Engineering* pela *University of Aberdeen*, Escócia. É Coordenador do Comitê de Estudos 36 da CIGRÉ-Brasil (Compatibilidade Eletromagnética e Qualidade da Energia Elétrica em Sistemas de Potência). Tem mais de 50 artigos publicados em revistas técnicas especializadas e congressos nacionais e internacionais. Sua área de interesse inclui a gestão da Qualidade de Energia Elétrica, análise de ocorrências em sistemas elétricos e modelagem de transformadores para estudos de transitórios eletromagnéticos.

