



SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia  
Elétrica

Fabio Renato Bassan	João Batista Rosolem	Marcio Colazza Argentato
Fundação CPQD Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações.	Fundação CPQD Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações.	Fundação CPQD Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações.
fbassan@cpqd.com.br	rosolem@cpqd.com.br	mcolazza@cpqd.com.br

Bruno Nogueira Aires	Claudio Antonio Hortencio	Rodrigo Peres
Fundação CPQD Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações.	Fundação CPQD Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações.	Fundação CPQD Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações.
baires@cpqd.com.br	claudioh@cpqd.com.br	rperes@cpqd.com.br

Javier Francisco Aprea	Carlos Alexandre Meireles Nascimento	Fabiano Fruett
IMS Power Quality	Cemig Distribuição S.A.	Unicamp - Universidade Estadual de Campinas
javier.aprea@ims.ind.br	caxandre@cemig.com.br	fabiano@dsif.fee.unicamp.br

**Demonstração em Campo de TC e TP Ópticos com Medição e Transmissão de Dados em uma Rede de Distribuição Sinérgica**

**Palavras-chave**

Redes de Distribuição  
Qualidade de Energia  
Sensores Ópticos  
Rede Sinérgica  
Alimentação por Fibra Óptica  
Condutor com Fibra Óptica

**Resumo**

Como contribuição a digitalização das redes de energia elétrica este trabalho apresenta os resultados da demonstração em campo de uma concepção inédita e inovadora do uso de um sensor de qualidade de energia (TC e TP) baseado em tecnologia óptica. O sensor foi utilizado para medir os parâmetros de energia em média tensão (13,8 kV) em uma rede sinérgica experimental com a concomitante transmissão destes dados para um ponto remoto por meio das próprias fibras ópticas dos cabos sinérgicos. Redes sinérgicas estão configuradas com cabos de transmissão e distribuição de energia elétrica com fibras ópticas integradas ao núcleo do cabo condutor para utilização de serviços de energia e comunicações. Este conceito vem sendo gradativamente reconhecido pelos especialistas, do setor de energia, como o próximo grande passo na digitalização das redes de energia. O experimento foi realizado em Sete Lagoas na UniverCemig que é um centro de treinamento da CEMIG. A rede Sinérgica instalada na UniverCemig contempla topologias e aplicações da rede de distribuição de energia em sinergia com redes de fibras ópticas para comunicações e transmissão de dados.

**1. Introdução**

Para superar os desafios da demanda do século 21, as novas redes de energia estão incorporando tecnologias digitais, sistemas de comunicações e padrões que estão impulsionando a evolução da detecção, medição e camadas de controle. Um dos elementos importantes nesta evolução são os transformadores de instrumentos não convencionais (NCIT). Estes equipamentos de nova geração podem transmitir sinais digitais de corrente e tensão diretamente dos condutores preservando desta forma a integridade do sinal [1]. Após a iniciativa Smart Grid, o foco em medidores inteligentes de média tensão (13,8 a 34,5 kV) alavancou o desenvolvimento de NCITs para aplicação em redes de distribuição especialmente para monitoramento da qualidade de energia [2].

Para ser útil no monitoramento da qualidade de energia, um sensor (NCIT) precisa atender a vários critérios rigorosos, de acordo com a

recomendação IEC 61000-4-30: 2015, como alta exatidão em termos de medições de tensão, corrente e frequência (menos de 0,5%), além de boa largura de banda (> 3 kHz) [3]. Além disso, estes sensores devem ser de fácil instalação e desinstalação sem que a rede tenha que ser desligada. Outras considerações importantes sobre estes sensores é que efeitos ambientais, tais como temperatura e vento, não podem influenciar o seu desempenho. Além disso, elementos externos nas proximidades dos sensores podem alterar os efeitos do campo elétrico e magnético que atuam nos sensores.

Particularmente sensores baseados na tecnologia de fibra óptica são muito apropriados para uso em redes de energia elétrica devido a suas excelentes características tais como: alto isolamento elétrico e alta largura de banda [4]. Aplicações típicas são a monitoração de tensão e corrente para o cálculo de perdas comerciais e a monitoração da qualidade da tensão para atendimento aos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) da ANEEL. Por outro lado, o conceito de redes sinérgicas (redes e isoladores de cabos de transmissão e distribuição de energia elétrica com fibras ópticas para utilização de serviços de energia e comunicações) vem sendo gradativamente reconhecido pelos especialistas do setor de energia como o próximo grande passo na digitalização das redes de energia [5]. O conceito de redes sinérgicas se encaixa na visão da Smart Grid. A fibra óptica é a melhor maneira de transmissão para atender aos requisitos de comunicação da Smart Grid, mas o conceito de redes sinérgicas com fibras ópticas pode trazer muitos outros benefícios, tais como o uso para atendimento de serviços de banda larga em telecomunicações e sensoriamento.

Este trabalho apresenta os resultados da demonstração em campo de uma concepção inédita e inovadora do uso de um sensor de qualidade de energia (Transformador de corrente - TC e Transformador de Potencial - TP) baseado em uma tecnologia óptica desenvolvida pelo CPQD e IMS. O sensor foi utilizado para medir os parâmetros de energia em média tensão (13,8 kV) em uma rede sinérgica experimental com a concomitante transmissão destes dados para um ponto remoto por meio das próprias fibras ópticas dos cabos sinérgicos. O experimento foi realizado em Sete Lagoas na UniverCemig que é um centro de treinamento da CEMIG. A rede Sinérgica instalada na UniverCemig contempla topologias e aplicações das redes de distribuição da Cemig (AT, MT e BT). Este trabalho irá apresentar o uso para média tensão em sinergia com uma rede de comunicações e transmissão de dados [6].

Os requisitos técnicos e funcionais para os cabos sinérgicos foram desenvolvidos considerando os vários usos possíveis da rede sinérgica, como a transmissão de energia de média tensão com o uso concomitante da fibra óptica, por exemplo, para monitorar os transformadores de distribuição ou fornecer a conexão com o usuário final para transmitir vários tipos de dados. A estrutura do cabo considera a detecção de interrupção quando ocorre o dano às fibras [7].

Inicialmente, este artigo detalha os requisitos e a tecnologia do sensor de qualidade energia utilizado no experimento. A seguir são apresentados seus resultados de desempenho de laboratório e no campus do CPQD. Finalmente são apresentados os resultados da demonstração em campo na UniverCemig.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1 Sensor de qualidade de energia baseado na técnica de alimentação pela fibra óptica**

#### **2.1.1 Requisitos para o sensor**

A análise da qualidade da energia considera os parâmetros da energia elétrica, como variações da tensão, corrente e distúrbios de tensão. Os distúrbios de energia podem causar mau funcionamento, fim de vida precoce ou degradação ao longo do tempo de equipamentos de elevado CAPEX. O monitoramento da qualidade de energia abrange, problemas de aterramento, transientes de comutação, variações de carga e gerações harmônicas. A distorção da tensão causa correntes não senoidais nos dispositivos e as consequências são superaquecimento, mau funcionamento e envelhecimento prematuro. As consequências de correntes não senoidais são o estresse térmico e de isolamento nos elementos da rede, como transformadores e cabos de alimentação.

A IEC 62586-1 é o padrão mais importante para a medição da qualidade de energia. Ela define os métodos para medição e interpretação dos resultados dos parâmetros de qualidade de energia em sistemas de energia de corrente alternada de 50/60 Hz [3]. As medições dos parâmetros cobertos por este padrão são: frequência, magnitude da tensão, quedas e aumentos, interrupções, transientes, desequilíbrio, ruídos de tensão e variações rápidas de tensão. Nas redes elétricas, esses parâmetros contêm as principais informações sobre a saúde ou integridade elétrica da rede. A precisão dos parâmetros medidos é fundamental para fornecer resultados confiáveis e repetíveis.

Além da precisão e da largura de banda, existem outros requisitos que o sensor precisa atender para ser usado no monitoramento da qualidade de energia. O sensor de qualidade de energia é um equipamento de monitoramento temporário ou de curto prazo. O período típico de monitoramento é de uma semana. Portanto, diferente dos tradicionais sensores ópticos de tensão e corrente usados em subestações de alta tensão, o sensor de qualidade de energia deve ser fácil de instalar e de remover da rede de distribuição elétrica. Uma vez que a interrupção no serviço não é desejável ao instalar um equipamento de medição temporário, o condutor não pode aberto para conectar o sensor. Normalmente, uma vara de manobra é usada para conectar o sensor ao condutor, protegendo os funcionários das concessionárias de choque elétrico. Mas com o uso das smartgrids esse tipo de sensor de qualidade de energia será um importante ativo para operar em conjunto as redes de distribuição.

Uma das questões importantes para os sensores de qualidade de energia é relativa à sua própria alimentação. Técnicas de alimentação convencionais usam baterias recarregáveis com ou sem painel solar e alimentação com autoindução, que geralmente têm um elevado OPEX. A técnica utilizada neste trabalho para alimentação do sensor é conhecida como PoF (Power-over-Fiber ou PoF). PoF é uma técnica que faz o uso da fibra óptica para levar alimentação a pontos remotos na forma óptica [4]. Como mostra a Figura 1(a) a transmissão dos sinais do sensor do condutor, na média tensão, para a unidade de processamento no solo e a alimentação óptica da unidade de processamento para o sensor são feitos por fibras ópticas. A tensão e a corrente são monitoradas usando dispositivos elétricos e processadas por circuitos eletrônicos digitais. O uso de fibras ópticas na seção entre a média tensão e a terra é muito vantajoso, pois: (i) as fibras ópticas são feitas de material não condutor. Essa característica é importante para sensores que são colocados em média tensão porque evitam o uso de elementos que possam ser condutivos e podem criar fuga de corrente; (ii) as fibras ópticas são imunes a interferências eletromagnéticas. O ambiente do mundo elétrico é

poluído por interferências eletromagnéticas; portanto, as fibras ópticas transmitindo o sinal na forma digital sem degradar a qualidade constituem a melhor forma de comunicação de dados para redes inteligentes; (iii) a fibra óptica elimina a necessidade de passar os sinais por fio metálicos. Quando ocorrem raios nas linhas de transmissão estes podem causar sérios danos em equipamentos e sistemas eletrônicos. O sensor que usa PoF possui um isolamento galvânico completo ao potencial de terra, sendo praticamente imune aos efeitos de descargas atmosféricas e assim evitar queimas de sensores na MT.

Além das vantagens da fibra óptica citadas anteriormente o uso de PoF permite o funcionamento do sensor em tempo contínuo de medições e transmissão do sinal. Outra vantagem da técnica PoF é que os sinais analógicos dos sensores de corrente e tensão podem ser convertidos para o formato digital já na unidade eletrônica do sensor e transmitidos para a unidade de processamento de maneira robusta.

No sistema PoF genérico mostrado na Figura 1 temos a unidade de processamento composta por um laser PoF de alta potência operando na faixa espectral de 850 nm em conjunto com a unidade de recepção óptica (Rx), que recebe sinais do sensor remoto. Duas ou mais fibras ópticas conectam a unidade de processamento ao sensor. As fibras ópticas são do tipo multimodo. Na unidade sensor, um conversor fotovoltaico (PV) detecta a energia transmitida pelo laser PoF. A energia elétrica produzida pelo conversor fotovoltaico é usada para alimentar um laser de baixo limiar ou LED (LD), circuitos eletrônicos e os sensores de corrente e tensão desta unidade. Observar que um cabo de aterramento que conecta o sensor ao divisor de tensão capacitivo à terra é absolutamente necessário para propiciar a exatidão necessária nas medições de tensão. Este cabo está conectado ao polo negativo do divisor de tensão. A Figura 1(b) mostra uma foto do sensor utilizado nas demonstrações em campo.

O divisor capacitivo usado para medir a tensão é composto por um capacitor comercial (C1) usado em aplicações eletrônicas e é colocado na placa eletrônica da unidade do sensor. Um terminal está conectado ao condutor de média tensão e o outro terminal está conectado a outro capacitor (C2). Esse capacitor é formado por um eletrodo e um tubo aterrado isolado por um material polimérico, onde um campo elétrico de alta intensidade é criado. Para atingir uma precisão menor que 0,5% nas medições de tensão, é necessário conectar o terminal de baixa tensão do sensor à terra. O divisor capacitivo é projetado de forma que C2 retenha praticamente a tensão total da linha.

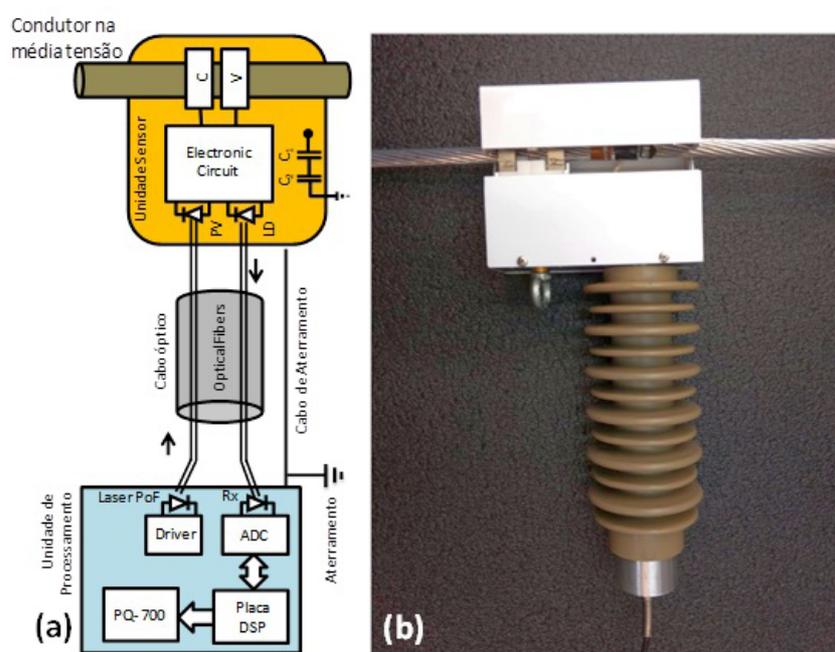


Figura 1 – (a) Diagrama genérico do sensor de qualidade de energia baseado em PoF e (b) foto do sensor utilizado nas demonstrações em campo.

O maior desafio para o sensor PoF de qualidade de energia é fornecer a uma carga (circuito eletrônico e sensores elétricos / eletrônicos), energia elétrica suficiente com alta confiabilidade e baixo custo. Por outro lado, o comprimento físico entre as unidades de processamento e sensor não representa um problema adicional, porque geralmente é curto (poucos metros) em uma aplicação convencional. Como mostraremos nas próximas seções deste artigo este sensor pode ser usado também para transmissão dos sinais da unidade sensor diretamente para um ponto remoto como, por exemplo, uma subestação ou para qualquer outro ponto de acesso das redes de distribuição sinérgicas.

### 2.1.2 Testes de desempenho do sensor em laboratório

O desempenho do sensor de qualidade de energia foi primeiramente avaliado em ambiente laboratorial, buscando verificar o funcionamento do sensor quanto a sua linearidade e largura de banda de medição de corrente e tensão, além de expor o sensor a condições reais de temperatura e avaliar seu funcionamento nessas condições.

O sensor de tensão, conforme já mencionado no texto, foi desenvolvido baseado em um divisor capacitivo usando dois capacitores em série, um capacitor localizado na placa eletrônica do sensor e outro capacitor sendo formado pela estrutura do isolador. Capacitores são bons elementos de sensoriamento de tensão, nesta aplicação eles foram escolhidos principalmente devido à baixa corrente desenvolvida pelo circuito de medição e também pela sua linearidade em frequência.

A linearidade e a resposta em frequência da medição de tensão foram avaliadas de forma comparativa, ou seja, o resultado obtido pelo sensor PoF foi comparado a uma referência conhecida e confiável, dessa forma os gráficos mostrados na Figura 2 foram obtidos.

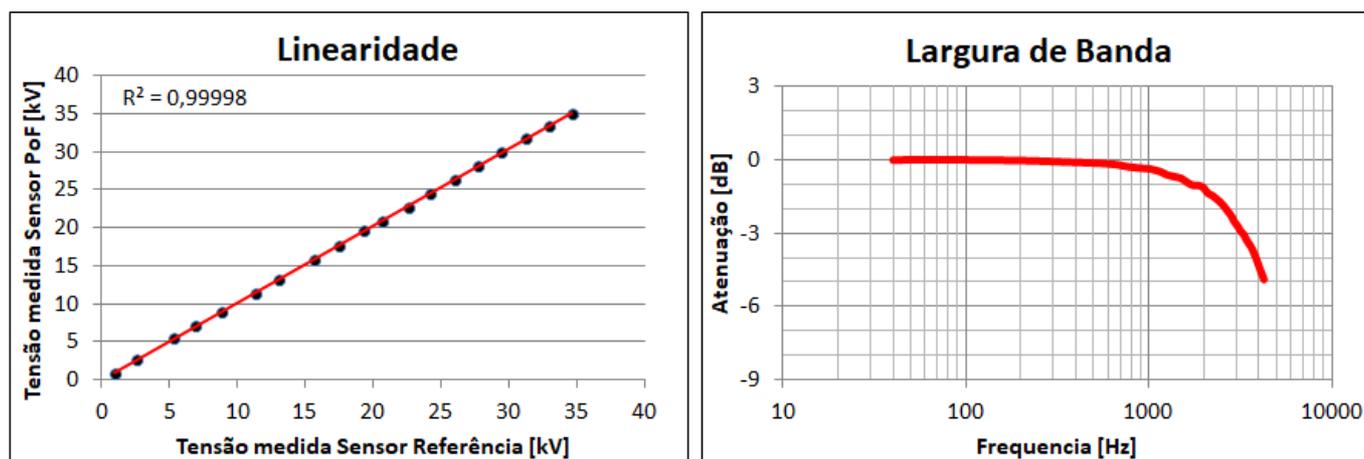


Figura 2 - Linearidade e largura de banda para a medição de tensão do sensor PoF.

Conforme mostra a Figura 2 o sensor PoF respondeu de forma bastante interessante tanto em linearidade quanto a largura de banda. O teste foi realizado com tensões de 1 até 35 kV abrangendo toda a faixa de média tensão de acordo com a IEEE 1623-2004. Por consequência, contemplando grande parte das tensões de redes de distribuição (em torno de 13,8 kV). A largura de banda obtida foi de 3 kHz, equivalente a 50ª harmônica, adequado aos requisitos do projeto.

O sensor de corrente foi desenvolvido baseado em um transformador de corrente, que já é um tipo conhecido de sensor. Um transformador de corrente é constituído basicamente por um núcleo ferromagnético, uma bobina e um resistor e é montado de forma que envolva o condutor que se deseja realizar a medição de corrente. Esta abordagem de sensoriamento foi escolhida para esta aplicação devido ao seu método não intrusivo de medição, ou seja, não é necessário que o circuito seja seccionado para a instalação e desinstalação do sensor. Além disso, o transformador de corrente foi, dentre as tecnologias estudadas, a tecnologia que apresentou o menor consumo de potência. O consumo de potência do sensor é muito crítico para aplicações PoF.

Assim como a medição de tensão a avaliação da resposta do sensor de corrente foi feita de forma comparativa, confrontando os resultados obtidos pelo sensor PoF com os resultados entregues por uma referência conhecida e confiável. Os resultados da linearidade e da largura de banda do sensor de corrente são mostrados na Figura 3.

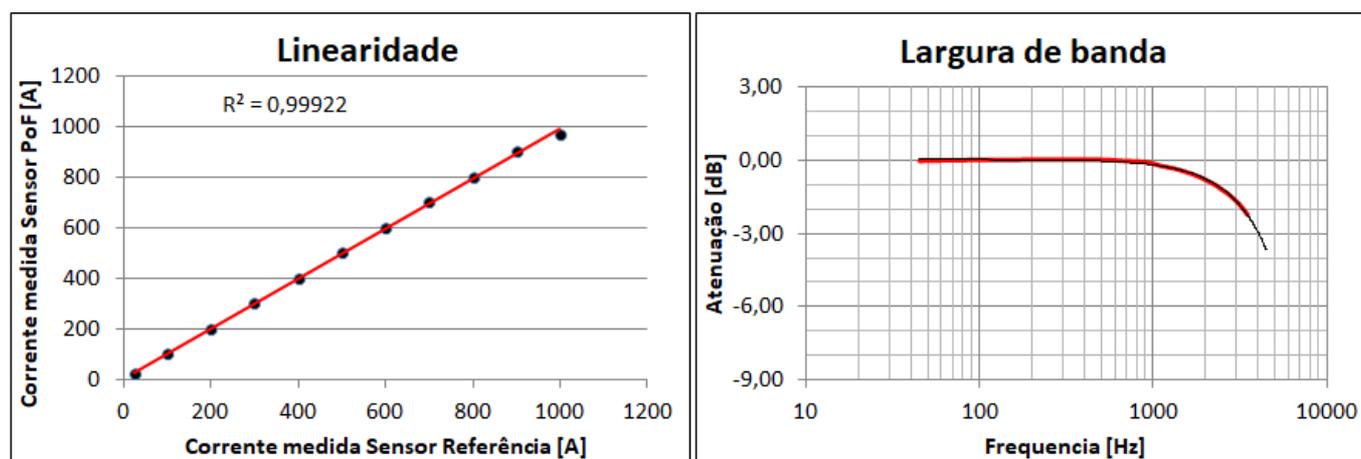


Figura 3 - Linearidade e largura de banda para a medição de corrente do sensor PoF.

Conforme mostra a Figura 3, linearidade e largura de banda apresentaram resultados adequados à aplicação. O sensor de corrente foi desenvolvido para uma ampla faixa de medição, contemplando correntes de 5 até 800 A. O sensor mostrou-se linear dentro da faixa estabelecida, apresentando saturação em torno de 900 A (fora da faixa de medição). Quanto a largura de banda, o resultado obtido foi de 4 kHz (65ª harmônica), atendendo ao requisito de projeto que era de 3 kHz (50ª harmônica).

A influência da temperatura na medição de tensão e corrente também foi verificada em laboratório. Neste teste o sensor foi exposto a uma faixa de temperatura de 0 a 70°C enquanto as medições de tensão e corrente eram realizadas. Devido à experiência em desenvolvimentos anteriores,

o sensor foi projetado com um sensor de temperatura a fim de medir e transmitir esse parâmetro para a unidade de processamento onde o efeito dessa grandeza sobre os parâmetros de tensão e corrente fossem compensados, dessa forma alcançando os níveis de exatidão requeridos.

Para a medição de tensão o sensor foi submetido a uma tensão constante de 8 kV fase-terra, o que representa uma medição de cerca de 13,8 kV fase-fase, já para a medição de corrente, o valor de corrente aplicado foi mantido constante em 100 A. A temperatura do sensor foi variada de 0 a 70°C tanto na medição de tensão quanto na medição de corrente.

Uma vez caracterizado (tensão e corrente em função da temperatura), foi implementado na unidade de processamento uma tabela de correção a fim de reduzir o erro de medição de tensão e corrente do sensor. A Figura 4 e a Figura 5 mostram a medição antes e depois da implementação da correção para a medição de tensão e para a medição de corrente, respectivamente.

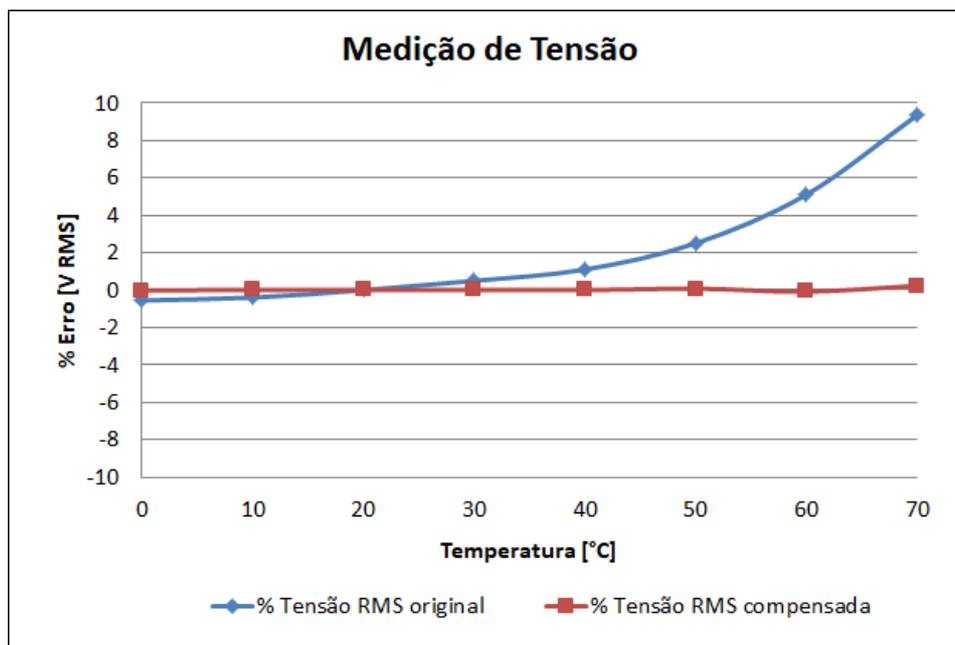


Figura 4 - Erro de medição da tensão em função da temperatura.

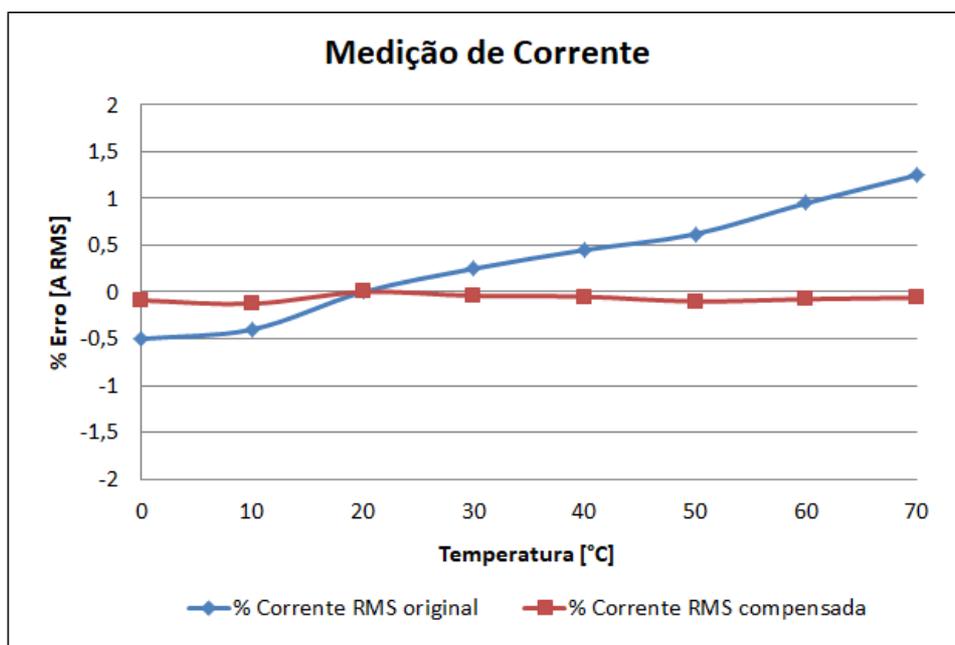


Figura 5 - Erro de medição da corrente em função da temperatura.

Conforme mostra a Figura 4, o erro de medição da tensão foi reduzido de uma variação de cerca de 10%, para uma variação de cerca de 0,32%, cerca de 97% de redução do erro para toda a faixa de temperatura de operação. O erro alcançado de cerca de 0,32% ficou abaixo do estipulado no projeto (0,5%).

Conforme mostra a Figura 5, o erro de medição da corrente foi reduzido de uma variação de cerca de 1,75%, para uma variação de cerca de 0,125%, cerca de 93% de redução do erro para toda a faixa de temperatura de operação. O erro alcançado de cerca de 0,125% ficou abaixo do estipulado no projeto (0,5%).

Após os testes de linearidade, largura de banda e compensação do efeito da temperatura na medição de corrente e tensão o sensor mostrou-se adequado à instalação e testes de campo.

## 2.2. Demonstração do conceito na Rede Sinérgica da UniverCemig

### 2.2.1 A Rede Sinérgica na UniverCemig

O conceito de redes sinérgicas foi introduzido pela CEMIG e propõe a utilização da fibra óptica integrada aos cabos condutores de energia elétrica [5]. A fibra óptica é o melhor meio de transmissão de dados para atingir os requisitos de comunicação das redes inteligentes (Smart Grid) porque a fibra pode trazer diversos benefícios além da banda larga. A rede sinérgica integra as funções da fibra usada para comunicações e sensoriamento com os elementos condutores de energia elétrica em uma mesma plataforma de forma cooperativa.

A partir da aquisição dos cabos sinérgicos no Brasil que foram desenvolvidos e fabricados pela Furukawa foi possível elaborar o projeto para a implantação em campo do piloto da rede sinérgica experimental, em escala real e em operação comercial, nas dependências da UniverCemig em Sete Lagoas-MG [6].

A Figura 6 apresenta uma visão geral do projeto da rede sinérgica experimental implantada na UniverCemig. A implantação consistiu da substituição de cabos condutores tradicionais de um trecho de rede de distribuição aérea de média tensão convencional e de rede compacta na classe de tensão de 13,8 kV, que representam grande parte da topologia de redes elétricas de 13,8 kV da CEMIG D. Foi definida a substituição dos cabos que atendem a infraestrutura existente da UniverCemig, em função de representarem uma condição real de uso, entretanto em um ambiente controlado.

Na rede de distribuição convencional foi definida a substituição da fase central por um cabo OPDC 4/0, desta forma foram instalados isoladores de terminação, elétrica e óptica, para continuidade e acesso óptico nas extremidades do trecho. Para a rede de distribuição compacta foi planejada a substituição das três fases e do cabo mensageiro, com isoladores de terminação e continuidade óptica instalados nas extremidades de cada fase do trecho.



Figura 6 - Diagrama da Rede Sinérgica na UniverCemig.

Para a interligação da rede compacta com o Laboratório de Tecnologias Ópticas (LTO) foi utilizado um cabo OPDC 1/0 como um neutro adicional. Para realizar as emendas das fibras ópticas dos cabos OPDC foram utilizadas caixas de emendas ópticas (CEO).

Para diferenciar o tipo de acesso para atendimentos de clientes e outros, foi planejada a instalação de caixas de terminações ópticas (CTO) em alguns postes da rede sinérgica em teste. As CTO's foram instaladas nos postes numa altura com acesso facilitado em torno de 1,5 m do solo, para viabilizar o acesso às fibras ópticas ao longo da rede, com objetivo de facilitar os experimentos que necessitam de acesso às fibras ópticas. Nas condições apresentadas anteriormente, as CEO's serão utilizadas no contexto da operação da distribuidora de energia elétrica, ou seja, pelas equipes técnicas da área de energia, enquanto que as CTO's permitirão o acesso às equipes de telecomunicações. A capacidade de fibras ópticas nas CTO's é de pelo menos 1 par de fibras monomodo padrão, 1 par de fibras monomodo BLI (Bend Loss Insensitive) e 1 par de fibras multimodo com núcleo de 62,5 microns.

A Figura 7(a) mostra uma foto de parte da Rede Sinérgica e a Figura 7(b) mostra a foto de uma CTO e uma CEO fixadas em um dos postes da Rede Sinérgica.



Figura 7 - (a) Foto de parte da Rede Sinérgica e (b) foto de uma CTO e CEO fixadas em um dos postes da Rede Sinérgica.

## 2.2.2 Testes na Rede Sinérgica

O cenário para avaliar a instalação e o funcionamento do sensor de qualidade de energia com a unidade de processamento foi em um segmento da rede sinérgica descrito anteriormente.

A unidade de processamento foi instalada remotamente junto ao analisador de qualidade de energia elétrica no LTO enquanto que o sensor foi instalado no ponto 5 (CTO 3) situado cerca de 380 metros do LTO, no final da rede sinérgica. A conexão entre a unidade de processamento e o Sensor foi feita utilizando três fibras ópticas presentes na rede sinérgica, sendo uma para a alimentação do sensor e duas para o tráfego de dados.

A Figura 8(a) mostra a instalação no sensor no condutor sinérgico, a Figura 8(b) mostra o sensor instalado, a Figura 8(c) mostra a caixa de terminação óptica a qual o sensor se conectou as fibras da rede sinérgica e a Figura 8(d) mostra o rack no LTO onde a unidade de processamento e o equipamento PowerNET MQ-700 da IMS Power Quality foram instalados. A unidade de processamento é composta de circuitos eletrônicos para alimentação do laser PoF, de recepção de sinal, placa DSP. Este conjunto foi instalado em um rack padrão 19" já existente no LTO e ocupou um espaço padrão de 5U no rack.

No ponto de instalação do sensor não havia corrente suficiente para ser medida pelo sistema, dado que até o momento da confecção deste artigo não havia carga no circuito. Desta forma a medição de corrente não foi avaliada. Por outro lado, a tensão, que é um parâmetro muito importante para avaliar a qualidade de entrega de energia foi avaliada.

A instalação do sensor no condutor foi realizada com auxílio de cesto e vara de manobra, levando poucos minutos para realizar o posicionamento e aperto do sensor no condutor.



Figura 8 – (a) Instalação no sensor no condutor sinérgico, (b) sensor instalado, (c) caixa de terminação óptica a qual o sensor se conectou as fibras da rede sinérgica e (d) rack no LTO onde a unidade de processamento e o equipamento MQ-700 foram instalados.

A Figura 9 mostra a forma de onda da tensão (saída da unidade de processamento e entrada do MQ700). Os valores de amplitude de tensão são da ordem de 1 V, valendo lembrar que este sinal é multiplicado por uma constante que é ajustável no MQ700 e que irá converter o sinal para valores reais da rede. Por fim, a Figura 10 mostra a forma de onda da tensão com valores reais medidos pelo sistema. A Figura 10 foi capturada do software PowerManager desktop PRO, desenvolvido e comercializado pela IMS, com foco na análise da qualidade de energia.

O sistema permanecerá em avaliação no ano de 2020 podendo ser acompanhado remotamente através da aquisição de dados via internet.

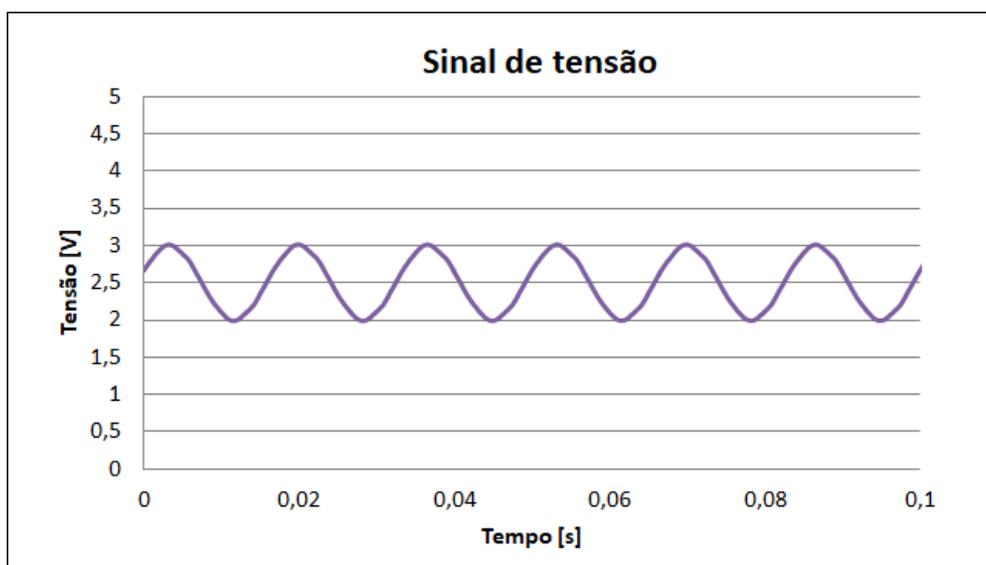


Figura 9 - Sinal de tensão na entrada do MQ700.

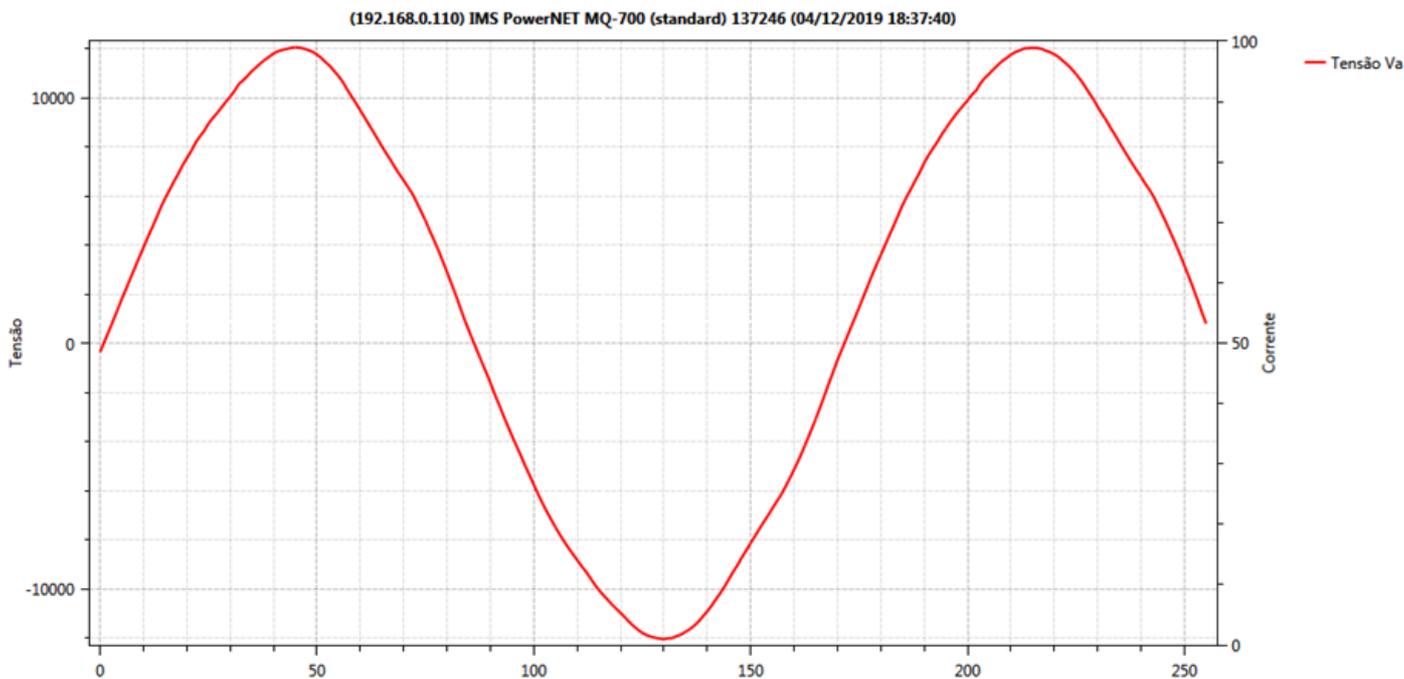


Figura 10 - Forma de onda da tensão medida no Power Manager Desktop.

### 3. Conclusões

Este trabalho apresentou os resultados da demonstração em campo de uma concepção inédita e inovadora do uso de um sensor de qualidade de energia baseado tecnologia óptica desenvolvida pelo CPQD e IMS. O sensor foi utilizado para medir os parâmetros de energia em média tensão (13,8 kV) em uma rede sinérgica experimental da Cemig na UniverCemig, com a concomitante transmissão destes dados para um ponto remoto por meio das próprias fibras ópticas do cabo sinérgico. Esta demonstração abre uma série de novas e interessantes possibilidades de aplicação para qualquer tipo de sensores ópticos de energia elétrica em uma rede de fibras ópticas interligadas às redes de distribuição sinérgicas.

### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito dos seguintes projetos:

- FINEP 0115002800 0407/14 - Desenvolvimento de Sensores Ópticos de Corrente e Tensão – DSOCT.
- CEMIG D566 Continuidade Fase II: Desenvolvimento de redes sinérgicas para aplicações em redes de distribuição de energia.
- CNPq 304626/2017-1 - Desenvolvimento de Sensores Ópticos de Corrente e Tensão e Outros Sensores

### 4. Referências bibliográficas

- [1] R. Thomas et al., "Non-conventional instrument transformers enabling digital substations for future grid," 2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), Dallas, TX, 2016, pp. 1-5. doi: 10.1109/TDC.2016.7519930
- [2] D. M. Parker e N. D. McCollough, "Medium-voltage sensors for the smart grid: Lessons learned," 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, MI, USA, 2011, pp. 1-7.  
doi: 10.1109/PES.2011.6039775
- [3] E. Carvalheira, J. Aprea e M. Paulino, "Impactos da Nova Norma IEC 62586 na Calibração de Medidores de Qualidade de Energia Elétrica", In: Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2015, Campina Grande, PB. XI CBQEE – 2015, Campina Grande - PB, 2015.
- [4] J. B. Rosolem, C. Florida, F. R. Bassan, E. F. da Costa, C. F. Barbosa, D. C. Dini, R. S. Penze, F. L. dos Reis Marques e R. A. V. Teixeira, "Optical sensors technologies evolution applied for power quality monitoring in the medium-voltage", Proc. SPIE 10654, Fiber Optic Sensors and Applications XV, 1065404 (14 May 2018). doi: 10.1117/12.2304641
- [5] C.A.M. Nascimento, R. S. Penze, C. Florida, J. B. Rosolem, C. A. Hortêncio, D. C. Dini, E. K. Tomiyama, "Redes Sinérgicas: Uma nova concepção tecnológica para a integração de fibras ópticas e cabos condutores de energia elétrica", XI Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos (SIMPASE), 16 a 19 de agosto 2015, Campinas-SP.
- [6] C.A.M. Nascimento, V. F. Coelho, L. S. Obara, F. T. Yoshida, A. Dellallibera, C. A. Hortêncio, B. N. Aires, J. B. Rosolem, D. C. Dini, J. G. de Aguiar, R. Peres, C. Florida, R. S. Penze, J. P. V. Fracarolli, "Desenvolvimento da Rede Sinérgica Experimental utilizando Cabos Condutores de Energia Elétrica com Fibras Ópticas Integradas", IX CITENEL e o V SEENEL, João Pessoa - Paraíba, 2 a 4 de agosto de 2017.
- [7] J. B. Rosolem, D. C. Dini, C. A. Hortêncio, E. F. Da Costa, R. S. Penze, J. P. V. Fracarolli, C. A. M. Nascimento, A.V.P. Pinto, W. R. Silva, V. F.

. Coelho, "Optical system for broadband data transmission concomitant to monitoring the physical integrity of conductors in overhead transmission lines". In: CIGRE 2018, 2018, Paris. Anais do CIGRE 2018, 2018.

---