

# Development of an Industrial IoT Based Monitoring System for Voltage Regulators

C. L. Izidoro, M. A. O. Rocha, J. D. Spacek, J. M. Neto, A. D. Spacek and O. H. Ando Junior

**Abstract** — The increase in electronic loads connected to electrical network became relevant requirements of the quality of supply. Among the equipment used in the power distribution system stands out regulators medium voltage installed over the grid to maintain voltage levels within indifferent operating range of the oscillations. Therefore, the quality of supply has become a priority and the implementation of technologies that allow transforming conventional electrical distribution networks into intelligent ones is strategic for Distribution Operation Centers (COD) to perform remote interaction with the equipment, in this case, with a power regulator. medium voltage. In this context, this article demonstrates an IoT (Internet of Things) solution for monitoring and controlling medium voltage regulators, through the use of LPWA (Low Power Wide Area) networks, integrating this equipment with the concepts of Smart Grid (SG). The complete development of the project is presented, including the study of the communication protocol DNP3 (Distributed Network Protocol 3), responsible for the exchange of information, between the hardware system and the voltage regulator, the communication system being through the Sigfox and GPRS (General Packet Radio Service), transmitting the regulator data to supervision software. Validation of communication hardware and software with the medium voltage regulator, occurred with bench tests in expressive periods and, after installation in the field, the experiment was validated by reading and recording parameters, such as number of maneuvers, voltage and mains current, obtained directly from the voltage regulator.

**Index Terms** — Smart grid, IoT, Sigfox, Voltage Regulators.

## I. INTRODUÇÃO

Os reguladores de tensão (RT) são utilizados ao longo da linha primária do sistema de distribuição (SD) para compensar a variação da tensão elétrica e manter dentro dos limites de operação. O RT é de suma importância para garantir a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) do dentro dos limites estabelecidos pelo Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) [1][2].

Submission date: July 16, 2020.

Esta pesquisa conta com apoio e fomento da COOPERA e CERMOFUL pelo Programa de P&D regulado pela ANEEL (PD5370-0003/2018).

C. L. Izidoro, Faculdade SATC, Criciúma/SC, Brasil. e-mail: cleber.izidoro@satc.edu.br.

M. A. O. Rocha, Faculdade SATC, Criciúma/SC, Brasil. e-mail: marco.rocha@satc.edu.br.

J. D. Spacek, COOPERA, Forquilha/SC, Brasil. e-mail: jefferson.spacek@coopera.com.br.

J. M. Neto, Faculdade SATC, Criciúma/SC, Brasil. e-mail: joao.neto@satc.edu.br.

A. D. Spacek, Faculdade SATC, Criciúma/SC, Brasil. e-mail: anderson.spacek@satc.edu.br.

O. H. Ando Junior, UNILA, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. e-mail: oswaldo.junior@unila.edu.br.

Destaca-se ainda que grande parte dos RTs que estão instalados e em operação nas permissionárias e/ou

concessionárias de distribuição de energia não possuem sistema de monitoramento com comunicação remota com o COD (Centro de Operação distribuição).

A falta de comunicação com RT impossibilita o efetivo controle da QEE pelo ajuste do nível de tensão de fornecimento pelo chaveamento remoto dos contatos do regulador de tensão (também chamados de taps). Além de ocasionar perdas de faturamento, pela má QEE e por deslocamento de equipes, que poderiam ser evitados, para averiguações de ocorrências que poderiam ser solucionadas de forma remota se houvesse um sistema de gerenciamento do RT instalado no SD.

Nos dias atuais, tem-se uma tendência mundial da inclusão de elementos de controle e de automação em SD, geração distribuída e armazenamento de energia trazendo consigo mudanças drásticas na operação, gerenciamento e manutenção do SD encaminhando para um processo de adaptação e transição para as Redes Inteligentes (*Smart Grids*) [3][4][5].

As *Smart Grids* utilizam-se da tecnologia da informação, sistemas de controle e automação para promover o acréscimo da disponibilidade e eficiência do sistema de potência por meio da integração e tomada de decisão ponta a ponta tendo como base dados reais de operação em tempo real [3]. Sendo que o modelo de SD como *Smart Grids*, é motivada pela crescente inclusão das fontes renováveis no SD e sua característica de ser uma fonte de geração intermitente [6].

Um dos grandes entraves para consolidação das *Smart Grids* deve-se ao sistema de comunicação e a falta de infraestrutura de rede de telecomunicações em muitas regiões do Brasil [7]. Dentre as tecnologias emergentes tem-se a utilização da fibra ótica integrada à rede elétrica pelo seu alto desempenho e estabilidade. Enquanto, que para regiões remotas e com pouca infraestrutura disponível vem se estudando o uso de redes do tipo LPWA (*Low Power Wide Area*) pelo baixo consumo, a baixa transferência de dados entre os dispositivos e operação de longo alcance [8][9].

Diante do exposto, o presente artigo apresenta o desenvolvimento tecnológico de um sistema de gerenciamento de um regulador de tensão composto de *software* e *hardware* capaz de realizar o monitoramento e controle das condições de operação do RT e de ajustes no nível de tensão de fornecimento da rede primária de forma remota ou via solicitação do COD.

## II. ESTADO DA ARTE

O portfólio bibliográfico desta pesquisa sobre a aplicação de IoT no monitoramento de reguladores de tensão foi

realizado utilizando o método *ProKnow-C*. Este método possibilita sistematizar e estruturar eficientemente o desenvolvimento e seleção do portfólio bibliográfico da seguinte forma: (A) Seleção do portfólio bibliográfico; (B) Análise bibliométrica do portfólio bibliográfico; (C) Análise sistêmica do portfólio bibliográfico; e (D) Pergunta de pesquisa [10].

A primeira etapa está na definição das palavras chaves e banco de buscas. Nos termos relativos ao tema de pesquisa, buscando combinar eixos utilizando as palavras chaves. Para as palavras chaves, no eixo 1 foram combinadas: “*Voltage Regulator*” e “*Internet of Things*”, para o eixo 2 “*Voltage Regulator*” e “*Monitoring system*”, e, para o eixo 3 “*Voltage Regulator*” e “*Smart grid*”.

Após a definição das palavras chaves, foram definidos os bancos de busca das informações com melhor abrangência dos termos de pesquisa que são: “*IEEE Xplore*” e “*Science Direct*”.

Os filtros selecionados foram: artigos a partir do ano de 2010; tipo de publicação: periódicos e congressos relevantes; área do artigo: engenharia e energia; palavras-chaves devem estar contidas no título, resumo ou palavras-chaves, o número de artigos encontrados pode ser visto na Tabela I. Tendo como resultado 1646 artigos nos filtros de busca utilizados, destes, restaram 1531 eliminando os com repetição.

Com base na busca realizada, e utilizando os filtros específicos, chegou-se a um número de 15 artigos para realização da leitura na íntegra que possuíam a aderência ao tema desenvolvido.

Após a leitura de todos os selecionados, apenas sete artigos possuem aderência a temática do projeto desenvolvido, como o descrito em [11], que propõem a instalação de um sistema

que armazena as informações para o caso da instalação em locais remotos.

A pesquisa realizada em [15] propõe uma metodologia para controle dos níveis de tensão, estendendo-se as otimizações na hierarquia entre reguladores através do ajuste do tempo de atraso com base na topologia da rede.

Em [16] é desenvolvido um protótipo de controle inteligente e dinâmico para reguladores de tensão. O sistema proposto possui a capacidade de coletar informações de consumo do alimentador e realizar o auto ajuste dos seus parâmetros, além de realizar o envio das informações para um sistema de supervisão.

Já [17], apresenta um sistema de monitoramento online de reguladores incluindo a supervisão de aspectos relativos ao líquido isolante empregado no equipamento.

O trabalho desenvolvido em [18], demonstra a importância do *Smart Metering* (SM) e *Smart Grids* (SG) de forma a realizar uma análise de arquitetura dos principais módulos para inserção de equipamentos com estes dispositivos, incluindo, sistemas microprocessados e envio de dados à nuvem.

Outros trabalhos com relevância a pesquisa tratam das normatizações aplicadas a sistemas de automação e potência, como o descrito por [19], ao realizar uma pesquisa a respeito da IEC 1451, que estabelece padrões de identificação de dispositivos por radiofrequência (RFID) para diversos tipos de tecnologias, propondo uma nova solução baseada na arquitetura *Plug-and-Play* (PnP) voltado sistemas *IoT*. Além do artigo apresentado em [20], que apresenta o modelo de informação e a solução de mapeamento de serviços de comunicação para a aplicação da IEC 61850 em redes de distribuição.

Apesar da grande importância que estes sistemas de padronização possuem para o desenvolvimento de equipamentos inerentes a sistemas de automação e energia, estes não foram citados no presente trabalho devido ao mesmo tratar no desenvolvimento de um equipamento aplicado ao monitoramento dos sistemas de potência. De acordo com a pesquisa do estado da arte realizada, destaca-se que não se encontra na literatura pesquisas com o emprego de tecnologias emergentes baseadas em redes de baixa potência, em especial da rede *Sigfox*, para realização do monitoramento e controle de reguladores de tensão.

Do ponto de vista tecnológico realizou-se uma busca no banco de dados do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) utilizando as palavras: (i) monitoramento; (ii) regulador de tensão e (iii) Média Tensão. Dentre os resultados obtidos destacam-se que os seguintes registros:

Na patente de número PI 0414201-2 A2 intitulada derivação de manutenção preventiva e monitor de ciclo ativo para regulador de tensão apresenta a técnica de derivação de manutenção preventiva que inclui a anotação de uma posição de derivação de um comutador de derivação de carga e a anotação de uma duração em que a posição de derivação foi mantida [21].

A patente de número MU 9100891-3 U2 intitulada equipamento para o monitoramento on-line de transformador de distribuição de energia elétrica de alimentação 380/440v refere-se a patente de modelo de utilidade a um equipamento

TABELA I  
EIXOS DE PESQUISA E NÚMERO DE ARTIGOS ENCONTRADOS

Plataforma	IEEE Xplore	Science Direct
Etapa 1	82	111
Etapa 2	372	217
Etapa 3	504	360

com sensores de tensão e corrente para desenvolvimento de *microgrids* de monitoramento em diversos elementos, como reguladores de tensão, através de envio de dados por rede GPRS e um sistema *WEB* para análise dos dados recebidos.

O estudo realizado por [12], propõem uma metodologia baseada nos conceitos de *Smart Grids* para aumento da eficiência do controle de tensão em sistemas de distribuição. A metodologia busca a otimização dos níveis de eletricidade dentro das áreas de atuação de reguladores de tensão.

Em [13], os autores desenvolveram um sistema de controle para RT de forma a efetuar comunicação com sistemas de *software* livre, incluindo o sistema SCADA por protocolo MODBUS, tendo como vantagem a abstração de informações dos protocolos DNP3 ou IEC61850.

Já em [14], o projeto demonstra a criação de um sistema de controle para um regulador com comunicação entre um módulo de análise de energia e regulador de tensão para posterior processamento em *software* SCADA, também um canal de comunicação RS232 que permite o envio por protocolos *IoT*, e, por fim, um módulo de cartão de memória

de medição eletrônica de ligação indireta de energia ativa, aparente e reativa para uso em sistemas trifásicos 380/440v [22].

Já na patente de número BR 10 2016 006265 9 A2, intitulada sistema de regulagem de tensão descentralizado e método para regular a tensão de um sistema refere-se a um sistema de regulagem de tensão descentralizado de um método para regular a tensão de um sistema elétrico [23].

Logo, do ponto de vista de desenvolvimento tecnológico, o presente desenvolvimento tecnológico, diferencia-se das patentes registradas no INPI por: (i) realizar o monitoramento e gerenciamento de parâmetros operação e manutenção do regulador de tensão, (ii) pelo emprego da tecnologia da rede Sigfox no SD, (iii) por atuar de forma remota via COD no controle do nível de tensão da rede primária do SD e (iv) pelo desenvolvimento do sistema embarcado (software e hardware) proposto. Sendo assim, destaca-se que não se encontra registro de invenção no INPI de sistemas com características similares ao desenvolvimento proposto sendo este passível de registro.

III. ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO

A arquitetura do sistema proposto foi desenvolvida em parceria com o setor de Engenharia da COOPERA e da CERMOFUL. Onde, para fins de definição levaram-se em consideração as necessidades, restrições do local de operação e a realidade socioeconômica das permissionárias e/ou distribuidora de energia elétrica da Região Sul de Santa Catarina e conseqüentemente, das limitações de infraestrutura de telecomunicações da área de concessão na Região Sul de Santa Catarina.

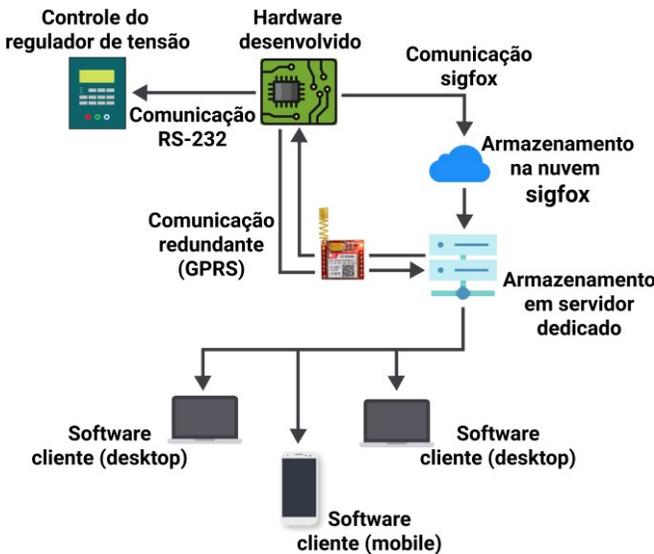


Fig. 1. Fluxograma de funcionamento do sistema

O sistema objetiva realizar a leitura dos parâmetros provenientes da porta de comunicação do relé regulador TB-R800 da marca TOSHIBA com base de um sistema eletrônico dedicado através de rede IoT (Sigfox e GPRS), permitindo tanto a leitura de parâmetros, quanto a manipulação quando necessário, conforme é demonstrado na Fig. 1.

O relé controlador possui uma porta frontal padrão RS232 que possibilita a troca de informações com base no protocolo DNP3, esta realizada através de um hardware proprietário, que

efetua a leitura/escrita e envia mensagens via rede Sigfox e/ou via rede GPRS para um servidor dedicado.

Os dados são armazenados em um servidor dedicado, ficando assim, disponíveis para serem monitorados através da aplicação *desktop* desenvolvidos.

A. Protocolos de Comunicação

O protocolo DNP3 (*Distributed Network Protocol*) é um protocolo de comunicação não proprietário, amplamente utilizado em sistemas SCADA para controle de dispositivos. Sistemas que utilizam o protocolo DNP, trabalham geralmente com o paradigma mestre – escravo, tendo como particularidade a permissividade para que estações “escravo” possam transmitir mensagens sem uma solicitação prévia [24].

Com base na estrutura de comunicação da rede DNP3, e, através da análise do tráfego entre controlador e o software de supervisão proprietário do fabricante, foi possível verificar a estrutura de dados para requisição das informações.

Para recepção das informações contidas no TB-R800, é necessário iniciar a comunicação por meio do envio de um pacote de 18 bytes de requisição de dados, conforme ilustra a Fig. 2.

Após a validação do pacote, o controlador responderá com



Fig. 2. Estrutura do Pacote de Solicitação de Parâmetros de Controle ao RT

um pacote de 247 bytes de dados, onde estarão contidos os valores de suas entradas binárias e analógicas e de suas saídas analógicas, destes são formatados e enviados via rede Sigfox: tensão e corrente na carga, tensão e corrente na linha, tensão e corrente na fonte, tap máximo, tap mínimo, tap atual e contador de operações.

Para efetuar a troca de parâmetros de configuração o pacote deve obedecer ao formato da Fig. 3.



Flag para separação - 1 Byte

Fig. 3. Estrutura do Pacote de Envio de Parâmetros de Controle ao RT

Através do envio de 21 bytes correspondentes a cada dado enviado, os possíveis parâmetros a serem manipulados são a tensão de referência, insensibilidade, bloqueio de tap máximo, bloqueio de tap mínimo, temporização, relação do

TP (Transformador de Potencial) e relação do TC (Transformador de Corrente).

A troca dos parâmetros é realizada através da rede GPRS, devido a limitação do pacote de recebimento Sigfox (apenas 4 mensagens ao dia).

**B. Desenvolvimento do Hardware**

O sistema eletrônico foi criado a partir de testes de bancada realizados para efetuar a comunicação entre os dispositivos e, conseqüentemente, enviar os dados provenientes do controlador do regulador de tensão através da rede LPWA. Após a realização dos testes iniciais, optou-se pelo desenvolvimento de um circuito eletrônico dedicado à aplicação. A Fig. 4 demonstra o fluxograma de funcionamento do hardware.

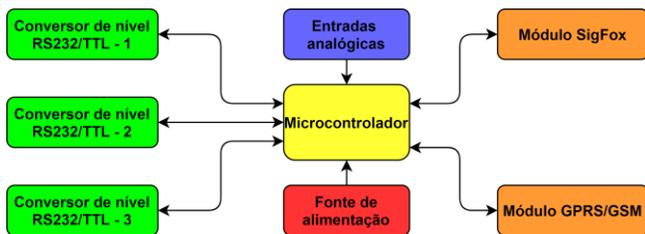


Fig. 4. Demonstrativo do Fluxograma do Hardware.

Como se pode observar no fluxograma do circuito desenvolvido, a figura central é o microcontrolador (ATMEGA328P) responsável por adquirir as informações provenientes de até 3 módulos reguladores de tensão (considerando um sistema trifásico). Foram disponibilizados também seis pontos de entradas analógicas, 0 a 10 V (Volts), para que possam ser ligados sensores diversos como temperatura, umidade ou outros parâmetros para monitoramento do óleo isolante. Além disso, há uma fonte de alimentação que converte os sinais de 12V para sinais de menor intensidade a fim de alimentar tanto o microcontrolador (5V) como o módulo Sigfox (3,3V) e o módulo GPRS (4,2V).

Para a comunicação e envio das informações para a nuvem (servidor Sigfox) foi utilizado um módulo modelo SFM10R2AT além de um módulo GPRS/GSM SIM800L, que fará a função redundante do sistema e troca de parâmetros de configuração.

O desenvolvimento do projeto das PCIs (Placas de Circuito Impresso) deu-se através do software *Autodesk Eagle Educational*, versão 9.5.2 com base no que se pretende obter de informações do regulador. Na Fig. 5 (a), demonstra o projeto da placa de comunicação com o RT e a Fig. 5 (b) a placa de circuito desenvolvida.

A Fig. 6 (a), demonstra o projeto da placa de envio de informações provenientes do COD para comando e a Fig. 6 (b) a placa de circuito desenvolvida, composta também de um microcontrolador ATMEGA328P uma fonte externa de 12V um cabo de comunicação USB/SERIAL e um módulo GPRS/GSM SIM800L.

Através do sistema de supervisão comunicando através da porta serial RS232, o microcontrolador recebe o pacote de troca de parâmetros e envia via rede GPRS ao módulo receptor que efetua a troca dos parâmetros.

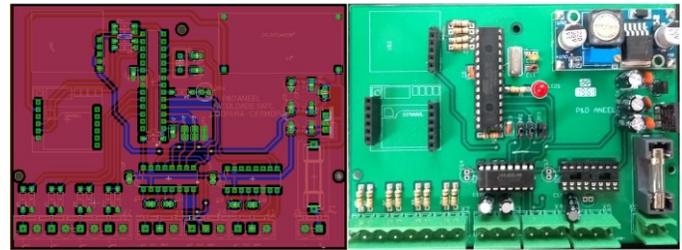


Fig. 5. Demonstrativo da PCI Projetada e PCI Desenvolvida (B).

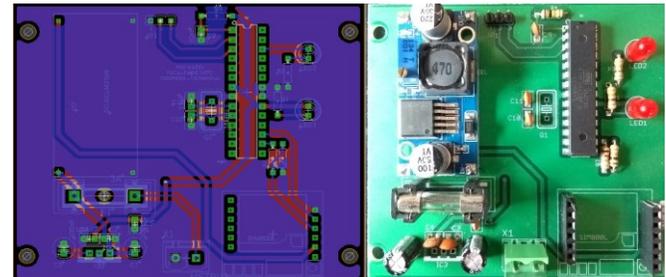


Fig. 6. Demonstrativo da PCI Projetada e PCI Desenvolvida (B).

**C. Firmware do Microcontrolador**

Para realizar a varredura e troca de informações entre relé regulador e o sistema de supervisão, foi necessário a construção de um *firmware* conforme demonstrado no fluxograma da Fig. 7.

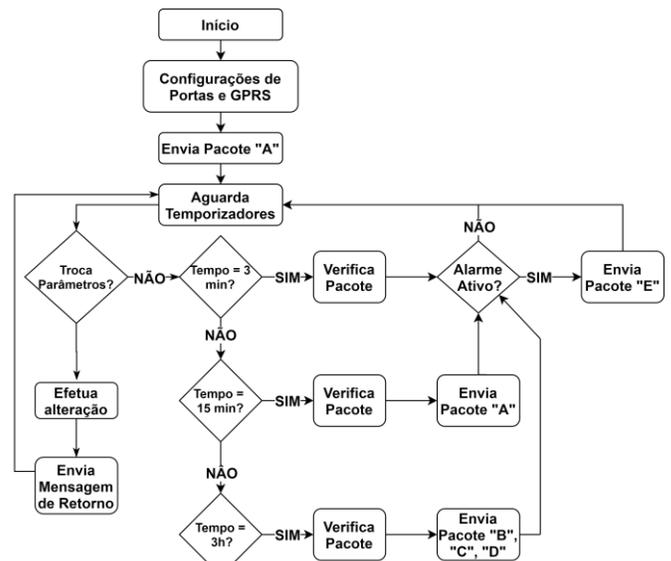


Fig. 7. Fluxograma de funcionamento do firmware do microcontrolador

Baseado na plataforma de desenvolvimento Arduino, programado em linguagem C, o sistema é capaz de efetuar a leitura e escrita das informações a cada período de tempo, e, obedecendo a quantidade de mensagens da plataforma Sigfox, que permite o envio de até 140 mensagens diárias.

O sistema inicia efetua as configurações básicas de portas de comunicação e módulo SIM800L, após, caso a rede GPRS receba algum dado para troca de parâmetro é realizada a troca e enviado ao COD novamente uma confirmação.

Caso não haja troca de dados o programa requisita os dados do regulador a cada 3 minutos, efetuando apenas a

verificação dos dados e se há ou não algum alarme, que são: tensão da carga maior que 7% da nominal ou menor que 5% da tensão nominal (conforme manual PRODIST), acionamento do *tap* máximo ou *tap* mínimo e corrente na carga superior a 80% do valor nominal do regulador, neste caso específico o regulador em estudo pode suprir até 300 A (Amperes), sinalizado como pacote “E”.

A cada 15 minutos, é enviado um dado através da rede Sigfox, com o prefixo “A”, são enviados o valor da tensão na carga, corrente na carga e o *tap* atual do regulador.

Já a cada período de 3 horas, são enviados o pacote “B”, “C” e “D”, onde estão contidos os demais parâmetros. No pacote “B” constam a corrente da carga, tensão na fonte e *tap* máximo. Já no pacote “C”, são enviados a tensão na linha, corrente na linha e o *tap* mínimo, e, por fim no pacote “D”, são enviados o contador de operações e a corrente na carga.

#### D. Sistema de Supervisão de Dados

O sistema de supervisão desenvolvido permite o monitoramento dos principais parâmetros provenientes do sistema de controle do regulador de tensão, como: tensão e corrente de entrada, tensão e corrente de saída, *tap* atual, valor do *tap* mínimo e valor do *tap* máximo. Concebido em plataforma com interface cliente/servidor e sistema de banco de dados, permite o monitoramento das informações diretamente no COD para microcomputador ou ainda, em fase de implantação e para dispositivos móveis.

Do lado do cliente será possível observar e analisar os dados salvos no servidor, como se observa na Fig. 8, na tela chamada de “Monitoramento Gráfico”, onde é possível visualizar as últimas 24 horas leituras realizadas pelo dispositivo.



Fig. 8. Tela do supervisório para monitoramento gráfico das variáveis

Além desta funcionalidade outras também foram implementadas a fim de facilitar a verificação dos dados, são elas:

- Monitoramento de dados: permite acompanhar de forma *on-line* os dados recebidos de forma numérica;
- Monitoramento de alarmes: permite acompanhar também de forma *on-line* o monitoramento dos alarmes, esta funcionalidade também abre automaticamente sempre que um dos alarmes acontecerem;

- Parâmetros do óleo: tela para cadastro dos dados de análises de óleo conforme sejam efetuadas englobando análises físico químicas e de gases;

- Relatório planilha: permite realizar a análise histórico dos dados recebidos, de forma que seja selecionado o período e as variáveis que se deseja demonstrar;

- Relatório gráfico: efetua a análise histórica em gráficos conforme a variável e o período;

- Relatório de alarmes: permite realizar a análise dos alarmes de acordo com períodos preestabelecidos;

- Relatório do óleo: efetua de forma temporal as análises efetuadas permitindo sua comparação;

- Controle de usuários: cadastro de usuários e níveis de acesso;

- Previsão de dados: realiza a previsão das próximas leituras das variáveis com algoritmo específico;

- Troca de parâmetros: permite ao usuário efetuar a troca dos parâmetros do regulador via COD.

#### IV. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao longo do desenvolvimento do projeto foram realizados diversos testes para validar o sistema, tanto no que tange a comunicação entre os dispositivos, funcionalidades do sistema de supervisão e desempenho da rede Sigfox.

Os primeiros testes de validação foram realizados em bancada com o objetivo de verificar se a comunicação entre a nuvem (servidor Sigfox) estava de acordo com a aquisição realizada pelo servidor local, constatando a perda de alguns pacotes que ocasionava o travamento do servidor dedicado.

Sendo que estes testes foram realizados durante 12 dias com a montagem realizada em uma matriz de contatos que gerou dados aleatórios com o envio de pacotes a cada 20 minutos. Com isso, foram obtidas 180,25 horas de testes e cerca de 720 mensagens, sendo que 363 mensagens não foram recebidas pelo sistema de supervisão, ou seja, houve uma perda alta em torno de 50% das mesmas. Analisando-se o código e o formato das mensagens, verificou-se uma inconsistência no servidor local, pois como a rede Sigfox envia 3 pacotes distintos, ao encontrar o primeiro erro o sistema já descartava o pacote em vez de aguardar o erro dos demais.

Após a correção do problema, verificou-se em um segundo teste que 100% dos pacotes chegaram corretamente no mesmo período analisado. Partiu-se então para um próximo teste, já na placa desenvolvida exclusivamente ao monitoramento, que, foi realizado em um cubículo da subestação no campus da SATC, de forma a verificar-se problemas de compatibilidade eletromagnética e o desempenho da rede em campo, como se observa na Fig. 9.

Este ensaio foi realizado durante um período de 40 dias com envio de mensagens em um intervalo de 15 minutos. Durante este período cerca de 3840 mensagens foram transmitidas ao servidor, onde houve 100% dos dados obtidos com sucesso, todos registrados em banco de dados, permitindo a análise histórica das informações.

Por fim, e, após períodos de adaptação e adequação do protocolo DNP3, foram realizados testes em campo com a finalidade de validar o sistema completo validando a comunicação e funcionalidades do hardware proposto.



Fig. 9. Testes de bancada anterior a instalação em campo

Após sua inserção próxima ao regulador (vide Fig. 10), os testes preliminares durante 15 dias, validaram o funcionamento do sistema, com o mesmo operado conforme o esperado, ou seja, enviando as informações para a nuvem nos períodos especificados e registrando as informações no sistema de supervisão.



Fig. 10. Demonstrativo de relatório de corrente na carga no período de 7 dias

Conforme os testes realizados no período de desenvolvimento do sistema como um todo, verificou-se a estabilidade da rede LPWA Sigfox, bem como do hardware desenvolvido e o sistema de supervisão, considerando o desempenho do banco de dados e leitura das informações e geração de relatórios.

Os dados registrados foram adquiridos e salvos diretamente no servidor instalado no laboratório da Faculdade SATC, o que permite a análise em tempo real das informações e acesso pelos softwares clientes onde estejam instalados, dentro ou fora da instituição, tanto para aquisição quanto para alterações dos parâmetros dos dados via rede GPRS.

## V. CONCLUSÃO

De acordo com ensaios e teste de campo destaca-se que o sistema proposto apresenta resultado satisfatório considerando as restrições do local de operação e de infraestrutura de telecomunicações da área de concessão na Região Sul de Santa Catarina.

Adicionalmente, destaca-se que o sistema atende todas as especificações tanto na operação/atuação quanto no processamento dos dados de operação do RT validando assim o sistema de comunicação e incorporação à rede Sigfox.

A integração do sistema proposta junto ao RT apresenta uma série de vantagens às permissionárias/concessionárias,

como por exemplo, a melhoria da qualidade no fornecimento de energia elétrica, pois possíveis problemas podem ser monitorados a distância, permitindo ao COD interferir quando necessário imediatamente nos parâmetros regulados.

Além disso, tem-se o monitoramento do desgaste dos contatos do RT e contaminação do óleo isolante o que permite que a equipe técnica faça manutenção preditiva com interrupção do fornecimento programa.

Destaca-se que o uso de tecnologias baseadas em IoT aliadas a sistemas de supervisão e controle abre novos horizontes para a gestão total da rede elétrica, com um caráter totalmente inovador, permitindo ao operador do SD um monitoramento real do SD facilitando o levantamento de curvas de carga, operação e condições do RT. De tal forma a incorporar gradativamente no SD o conceito de *Smart Grids* através da tecnologia de IoT. Por fim, o equipamento desenvolvido mostrou-se uma solução tecnológica robusta e de baixo custo (em torno de R\$ 400,00) sem equivalente no mercado nacional e customizada a realidade e necessidade das permissionárias COOPERA e CERMOFUL.

Atualmente o sistema encontra-se operante no COD da COOPERA auxiliando na operação e manutenção do sistema elétrico com possibilidade de expansão para mais elementos reguladores.

## REFERÊNCIAS

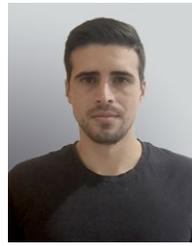
- [1] J. Crepaldi, M. M. Amoroso, and O. H. Ando Junior, "Analysis of the Topologies of Power Filters Applied in Distributed Generation Units - Review," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 7, pp. 1892–1897, Jul. 2018, doi: 10.1109/TLA.2018.8447354.
- [2] O. H. Ando Junior, A. S. Bretas, and R. C. Leborgne, "Methodology for Calculation and Management for Indicators of Power Quality Energy," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2217–2224, 2015.
- [3] B. Srbinski, G. Conte, A. P. Morrison, P. Leahy, and E. Popovici, "ECO: An IoT platform for wireless data collection, energy control and optimization of a miniaturized wind turbine cluster: Power analysis and battery life estimation of IoT platform," in *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Mar. 2017, pp. 412–417, doi: 10.1109/ICIT.2017.7913266.
- [4] S. V. Nandury and B. A. Begum, "Big data for smart grid operation in smart cities," in *2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, Mar. 2017, pp. 1507–1511, doi: 10.1109/WiSPNET.2017.8300013.
- [5] R. Kristina Schneider Barcelos, W. Cardoso Celeste, L. Otavio Rigo Junior, and G. de Lorena Diniz Chaves, "Identification of Similar Loads for Electric Power Management in Smart Grid," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 08, pp. 1318–1325, Aug. 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8932341.
- [6] S. Gheorghe, N. Golovanov, G.-C. Lazaroiu, and R. Porumb, "Smart Grid, Integration of Renewable Sources and Improvement of Power Quality," in *2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, May 2017, pp. 641–645, doi: 10.1109/CSCS.2017.98.
- [7] S. Cui, Q. Yu, G. Gu, and Q. Gang, "Research on the architecture of electric power information communication network for smart grid," in *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, Nov. 2017, pp. 1–4, doi: 10.1109/EI2.2017.8245608.
- [8] M. Taneja, "802.11ah - LPWA interworking," in *2016 IEEE NetSoft Conference and Workshops (NetSoft)*, Jun. 2016, no. DL, pp. 441–446, doi: 10.1109/NETSOFT.2016.7502482.
- [9] F. Gimenez, C. Zerbini, and G. Riva, "Extending SMS Service Coverage in Rural Areas by using LoRa Communication Technology," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 02, pp. 214–222, Feb. 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9085273.

- [10] L. Ensslin, S. R. Ensslin, R. T. O. Lacerda, and J. E. Tasca, "Processo de Análise Sistêmica. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI." 2010.
- [11] S. H. Nandipati, P. T. Babu, M. Chigurupati, and C. Vaithilingam, "Interface Protection and Energy Management System for Microgrid using Internet of Things," *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 201–208, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.05.123.
- [12] P. Pereira, "Optimization of voltage regulators settings and transformer tap zones in distribution systems with great load variation using distribution automation and the smart grids initiatives," in *2011 8th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, May 2011, no. May, pp. 365–369, doi: 10.1109/EEM.2011.5953038.
- [13] P. B. Zorrilla, L. N. Canha, R. G. Milbradt, A. R. Abaide, P. R. Pereira, and S. M. Schmaedecke, "Methodologies for the development of a central control system in a smart grid environment based in free softwares," *2013 IEEE PES Conf. Innov. Smart Grid Technol. ISGT LA 2013*, 2013, doi: 10.1109/ISGT-LA.2013.6554491.
- [14] L. F. Encarnacao, R. E. Volkers, and W. J. Tozi, "Development of a modular power quality meter for medium voltage regulators," *SBSE 2018 - 7th Brazilian Electr. Syst. Symp.*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/SBSE.2018.8395815.
- [15] L. N. Canha, P. R. Pereira, R. Milbradt, A. da Rosa Abaide, K. E. Kork Schmitt, and M. de Abreu Antunes, "Intelligent voltage regulator to distributed voltage control in smart grids," in *2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Aug. 2017, pp. 1–6, doi: 10.1109/UPEC.2017.8231977.
- [16] F. De Carli, "Controle dinâmico inteligente para reguladores de tensão de redes de distribuição de energia," Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, 2018.
- [17] B. Srbinovski, G. Conte, A. P. Morrison, P. Leahy, and E. Popovici, "ECO: An IoT platform for wireless data collection, energy control and optimization of a miniaturized wind turbine cluster: Power analysis and battery life estimation of IoT platform," in *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Mar. 2017, pp. 412–417, doi: 10.1109/ICIT.2017.7913266.
- [18] F. Al-Turjman and M. Abujubbeh, "IoT-enabled smart grid via SM: An overview," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 96, pp. 579–590, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.future.2019.02.012.
- [19] M. S. Aguiar *et al.*, "An IEEE 1451 Standard-based Plug-and-Play Things," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 100, pp. 1–8, 2020.
- [20] Z. Zhu, W. Gao, B. Xu, J. Cheng, and J. Ye, "Application of IEC61850 for Communication of Distribution Grid Automation," in *2019 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC)*, Nov. 2019, pp. 1395–1400, doi: 10.1109/iSPEC48194.2019.8974870.
- [21] A. Hernandez, D. Down, F. Rapant, and R. Kaluzny, "Derivação de manutenção preventiva e monitor de ciclo ativo para regulador de tensão," INPI PI 0414201-2, 2006.
- [22] C. R. A. P. Junior, "Equipamento para o monitoramento on-line de transformador de distribuição de energia elétrica de alimentação 380/440v," INPI MU 9100891-3 U2, 2013.
- [23] M. de A. M. S. T. Mendes, A. N. de Araujo, and A. P. de Carvalho, "Sistema de regulagem de tensão descentralizado e método para regular a tensão de um sistema," INPI BR 10 2016 006265 9, 2017.
- [24] R. S. Netto, "Framework em Tempo Real para Sistema de Gerenciamento de Energia de uma Smart Microgrid Utilizando Sistema Multiagente," Ph.D. Dissertation, Dep. Eng. Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, 2018.



**C. L. Izidoro** Mestre pelo Programa de Pós Graduação em Minas, Metalurgia e Materiais pela UFRGS, graduado em Automação Industrial pela UNESC, pós-graduação em Psicopedagogia pelo ICPG/ESUCRI e pós-graduação em Automação Industrial pelo CTAI/SENAI. É atualmente professor do curso de Engenharia Mecatrônica da Faculdade SATC/SC. Possui pesquisas nas áreas de eletrônica industrial, eletrônica

embarcada com foco na programação de microcontroladores, programação visual e robótica.



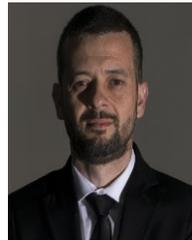
**M. A. O. Rocha** graduado em Engenharia Mecatrônica (2020) pela Faculdade SATC. Possui experiência em desenvolvimento de software, aplicações web, desktop e *mobile*. Tem interesse nos temas de IA, visão computacional, processamento de imagens além de áreas relacionadas à segurança da informação



**J. D. Spacek** possui graduação em Engenharia Elétrica pela Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina - FACULDADE SATC (2010) e Pós-graduação em Engenharia de Segurança pela Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC (2012). Atualmente é Engenheiro eletricitista da Cooperativa Pioneira de Eletrificação (COOPERA).



**J. M. Neto** graduado em Automação Industrial pela UNESC com Mestrado e Doutorado em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Tem experiência na área de educação no ensino superior, com ênfase em aprendizagem ativas, atuando principalmente nos seguintes temas: eletrônica, robótica e sistemas de controle.



**A. D. Spacek** graduado em Automação Industrial pela UNESC com Mestrado e Doutorado pelo Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atua como Analista de Estudos e Projetos pelo Centro Tecnológico SATC (CT SATC) da Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina.



**O. H. Ando Junior** graduado em Engenharia Elétrica com Mestrado e Doutorado em Engenharia na UFRGS. Professor do Curso de Engenharia de Energias na UNILA. Atualmente é consultor ad hoc da FAPESC, Hindawi e Revista IEEE América Latina. Atuando principalmente nas áreas: Energy Harvesting, Autonomous Sensor, Conversão de Energia, e Qualidade da Energia Elétrica.