



**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES
- GTM**

TESTADOR DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO NO CAMPO, DO P&D AO PRODUTO

**PAULO CESAR LOPES LEITE(1);HUGO ARMANDO DOMINGUEZ ALMAGUER(2);THAIR IBRAHIM ABDEL
HAMID MUSTAFA(2);LUIZ HENRIQUE MEYER(2);LEANDRO PERES CAMPOS(3);DANIEL BELLAS
AZEVEDO(3);HUGO MOREIRA DA CRUZ(3);VITOR RIBEIRO AMARAL DOS SANTOS(3);GUSTAVO
HAUBRICH(1);ROBERTO DE VASCONCELLOS DIAS(4);REGINALDO DA SILVA CARVALHO(1);SÉRGIO
HENRIQUE LOPES CABRAL(2)
CLARLEI TECNOLOGIA LTDA.(1);FURB(2);AMPLA ENERGIA E SERVICOS S.A.(3);LIGHT SERVIÇOS DE
ELETRICIDADE S.A. (4)**

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicabilidade de um equipamento testador de transformadores de distribuição em campo, concebido a partir de um caso bem-sucedido de integração entre universidade, fabricante e distribuidoras. O equipamento viabiliza o teste de transformadores instalados nas redes de distribuição sob suspeita de estarem avariados, após o desarme das chaves-fusíveis de sua proteção. Os principais objetivos são de evitar a substituição de um transformador operacional, mas sob suspeita de estar avariado e a energização de um transformador em falha, com os possíveis riscos de acidente para os operadores e danos para a rede de média tensão.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador de distribuição, Testador de transformador, Diagnóstico de transformador, Manutenção corretiva

1 INTRODUÇÃO

Os transformadores de distribuição são equipamentos robustos, mas assim como a maioria dos equipamentos elétricos e mecânicos, apresentam falhas mesmo dentro da sua vida útil, que na maioria dos casos é de cerca de 20 anos. As falhas podem ser provocadas por vários motivos como: Descargas atmosféricas; Curtos-circuitos; Sobrecargas excessivas; Entrada de umidade; Corrosão do tanque e Falha de isolamento nas buchas.

Os transformadores são protegidos por chaves fusíveis que abrem por sobre corrente devido à sobrecarga ou pela queima do transformador. Por exemplo, segundo as estimativas da CEMIG, as equipes de manutenção realizam cerca de 100.000 operações de fechamento de chaves fusíveis, instaladas junto a transformadores em redes de distribuição, por ano. Considerando que aproximadamente 5.600 transformadores são substituídos anualmente devido a falhas verificadas durante a tentativa de religamento, 5,6 % das operações de fechamento de chaves fusíveis podem ser consideradas operações de risco (1).

Os métodos disponíveis para testes de campo em transformadores são lentos, principalmente devido a necessidade da desconexão e reconexão dos cabos na baixa tensão, que demandam em média de 20 a 40 minutos. Considerando 30 consumidores por transformador, 30 minutos de desconexão e reconexão dos cabos e teste em 10% dos 100.000 transformadores que tiveram a chave fusível operada, teríamos 9.000.000 de horas de interrupção por ano, apenas na preparação para o teste dos transformadores.

As estatísticas mostram ainda que os procedimentos utilizados pelas equipes de emergência não são totalmente assertivos, acarretando em uma alta incidência de troca de transformadores ainda operacionais, com os consequentes custos envolvidos, além de um desnecessário aumento no DEC.

Um dos procedimentos bastante utilizados pelas concessionárias, consiste no religamento do transformador suspeito de estar em falha com um elo 1H na chave fusível, que é o de menor corrente disponível. Esse procedimento, além da necessidade da desconexão dos consumidores do secundário com o consequente aumento no tempo de ensaio, tem-se mostrado inseguro, especialmente se o transformador estiver com um curto-circuito interno. Dependendo do tipo de falha, existe a possibilidade de explosão do transformador, podendo atingir os eletricitistas com óleo quente, fagulhas ou com alguma de suas partes. Existe também a possibilidade do elo fusível, ao atuar, explodir, e também

atingir os eletricitistas com seus fragmentos. Existem vários casos de acidentes de trabalho e perdas de materiais devido às falhas nos transformadores. Tais acidentes e perdas normalmente ocorrem durante a reativação ou teste do sistema (1).

Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento da tecnologia, os diversos ensaio com protótipos, a engenharia de produto até chegar ao equipamento TT-100, que é um testador de transformadores de distribuição no campo, a partir de um caso bem-sucedido de integração entre Universidade, Fabricante e Distribuidoras. O equipamento viabiliza o teste de transformadores instalados nas redes de distribuição de uma forma extremamente rápida, simples e segura, sem a necessidade de desconectar os cabos do secundário do transformador. O equipamento pode também ser utilizado para avaliar os transformadores armazenados nos almoxarifados, evitando a instalação de transformadores que não estejam em perfeitas condições de operação.

2 METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO

2.1 Procedimentos metodológicos

De forma a disponibilizar às empresas concessionárias de energia elétrica um testador de transformadores, para suprir uma lacuna de equipamentos no mercado, foram desenvolvidas tecnologias (projeto de P&D), incluindo procedimentos de medição e algoritmos de processamento, e as demais etapas até chegar a um equipamento robusto e preciso, viável de ser utilizado no campo pelas equipes de emergência. As seguintes etapas de trabalho foram seguidas:

- Etapa de P&D
 - Estudo das causas de abertura das chaves fusíveis;
 - Avaliação e modelagem das diversas falhas em transformadores;
 - Pesquisa de procedimento de identificação de falha em transformadores com conexões apenas pelo primário;
 - Montagem de protótipo de bancada e comprovação dos algoritmos desenvolvidos.
- Etapa de Desenvolvimento de Hardware e Software
 - Transferência de tecnologia (da universidade para a empresa executora);
 - Revisão e análise das informações encaminhadas;
 - Elaboração da Especificação Técnica para o equipamento (produto final);
 - Projeto eletrônico;
 - Desenvolvimento do software embarcado;
 - Montagem do protótipo de bancada e testes funcionais em laboratório;
 - Montagem do protótipo de campo e testes funcionais nas instalações de concessionárias;
- Etapa de Engenharia de produto
 - Pesquisa de atualização tecnológica de componentes tais como baterias, circuito integrados e processadores;
 - Engenharia de produto do equipamento;
 - Fabricação do cabeça de série;
 - Testes e ensaios em transformadores instalados e nas instalações de concessionárias;
 - Análise dos resultados dos testes e ensaios;
 - Adequações e refinamentos no projeto do equipamento;
 - Elaboração da documentação final do produto, contemplando procedimento de fabricação, manual de operação e especificações técnicas.

O detalhamento das etapas Desenvolvimento de Hardware e Software e Engenharia de Produto serão explicitados nos próximos itens deste Informe Técnico.

2.2 Equipamento protótipo original, fruto de um projeto de P&D

O desenvolvimento do Testador de Transformadores teve como ponto de partida os resultados de um projeto de P&D ANEEL do tipo Pesquisa Aplicada, firmado entre a CELESC e a FURB, que foi executado entre 2011 e 2013. As motivações para a realização do projeto foram as mesmas já relatadas na introdução deste artigo.

Desta forma, durante a execução do P&D foi concebido e construído um protótipo de um equipamento inédito de teste, que contemplava os algoritmos de diagnóstico da integridade do circuito elétrico (bobinas) dos transformadores a serem ensaiados, assim como os procedimentos de operação do dispositivo para seu uso em campo. A Figura 1 mostra o visual da versão final do protótipo.



Figura 1 - Equipamento protótipo desenvolvido pela FURB através de um P&D ANEEL/CELESC.

Os testes realizados, tanto em laboratório quanto em campo, evidenciaram que o equipamento protótipo desenvolvido conseguiu diagnosticar com precisão e relativa rapidez o estado dos enrolamentos dos transformadores de distribuição trifásicos classe 15 e 25 kV, para as potências nominais de 30 a 112,5 kVA.

Seguem abaixo algumas das principais especificações técnicas do protótipo, que foram melhoradas na versão final do produto, conforme será descrito neste artigo.

- Tipo de transformador de distribuição que pode ser testado: trifásico, classes 15 e 25 kV, de 30 a 112,5 kVA;
- Gerador do sinal de teste: trifásico em estrela, com tensão eficaz em circuito aberto de 400/ 692,82 V;
- Frequência do sinal de teste: 1kHz;
- Tempo de resposta durante a execução de um teste: oito segundos.
- Fonte de alimentação (externa): saída de 15 Vcc para carga da bateria interna (12 pilhas de 1,2 V/2.300 mAh de níquel metal hidreto);
- Gabinete: maleta de polipropileno, com dimensões externas: 315 x 385 x 170 mm;
- Peso: 7 kg.

Informações mais detalhadas sobre o protótipo original do Testador de Transformadores podem ser encontradas em (4) e (5).

2.3 Especificações Técnicas para o produto

Em 2020 a Enel Rio, através do Projeto “Melhoria da Qualidade da Rede de Baixa Tensão (PMQBT)”, identificou a necessidade de um equipamento para teste de transformadores similar ao concebido pelo projeto de P&D CELESC/FURB. Desta forma, em agosto de 2020 a FURB e a Clarlei Tecnologia firmaram uma parceria com transferência de tecnologia, para que, a partir dos algoritmos e testes desenvolvidos pela FURB, a Clarlei Tecnologia desenvolvesse um produto. A especificação técnica do produto, documento “ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA – ET RT-TT100[PL1] -001 Ver.E”, foi elaborada e aprovada pela Enel, pela Clarlei Tecnologia e pela FURB antes do início da transformação do protótipo de P&D em produto. Segue abaixo o item 1, Objetivo, da especificação técnica (ET):

O equipamento deve ser para trabalho em campo, portátil e robusto, que permita o diagnóstico, de forma extremamente simples, segura e rápida, da integridade do circuito ativo (bobinas) de transformadores de 15 a 150 kVA, trifásicos, das redes aéreas e subterrâneas de distribuição de energia. A operação deve ser bastante simples e rápida: bastando o operador selecionar entre transformadores trifásicos ou bi/monofásicos e pressionar a botoeira teste. O resultado entre operacional e falha deve aparecer em poucos segundos.

Em outubro de 2020, a Light mostrou interesse no equipamento desde que a ET tivesse duas alterações: Que o equipamento atingisse a capacidade de ensaios em transformadores de até 2000 kVA e que fosse possível carregar a bateria do equipamento no campo, através do conector de isqueiro dos caminhões. Dessa forma, a ET do produto foi atualizada, aumentando a faixa de potência para até 2.000 kVA e a inclusão de ensaios também para transformadores mono e bifásicos.

2.4 Projeto

Cinco itens da Especificação Técnica final aumentaram consideravelmente a complexidade do projeto do produto:

- A alta faixa de potência dos transformadores a serem testados, de 15 a 2.000KVA, com a consequente alta variação da impedância dos enrolamentos das bobinas;
- Equipamento portátil, com o necessário baixo peso e tamanho;
- Operação simples e rápida;

- Operação segura, implicando na utilização de baixas tensões;
- Alta taxa de acertos nos diagnósticos, se possível 100%;
- Inclusão de transformadores monofásicos e bifásicos, que não eram contemplados nos algoritmos desenvolvidos pelo projeto de P&D.

A nova ET exigiu um novo, e bem mais complexo, projeto de hardware, incluindo um novo processador com dois núcleos, e novo software com novos algoritmos.

2.4.1 Arquitetura do Hardware

A Figura 2 apresenta a arquitetura do hardware do equipamento. Os principais componentes da arquitetura são:

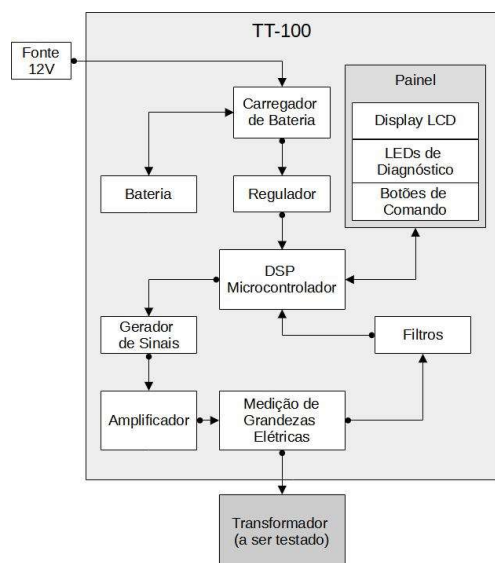


Figura 2 - Diagrama em blocos do hardware do produto final.

Bateria e Carregador de Bateria: devido às especificações técnicas de baixo peso e a necessidade de operação em campo, optou-se por usar um pacote de baterias de Íons de Lítio, com uma alta concentração de carga por volume e alta disponibilidade de fornecimento de corrente elétrica. O carregador de baterias utilizado no equipamento, é do tipo inteligente, que monitora a carga e descarga com o objetivo de preservar uma longa vida útil à bateria. O carregador pode ser alimentado por uma fonte bivolt (127/220 V) externa ou diretamente por um adaptador de isqueiro automotivo (12V), facilitando a recarga do equipamento no campo pelas equipes que utilizam caminhões.

Regulador de Tensão: para alimentar os diversos circuitos eletrônicos internos do equipamento, utilizou-se um regulador de tensão, do tipo conversor DC-DC de alta eficiência, que converte a tensão do pacote de baterias para os níveis de tensão DC de alimentação dos circuitos digitais e analógicos do equipamento.

DSP/Microcontrolador: os algoritmos desenvolvidos para o diagnóstico dos transformadores, a geração de sinais injetados no transformador, as medições de grandezas elétricas, processamento de sinais, e controle dos diversos dispositivos de interface do equipamento, exigiram a utilização de um DSP/Microcontrolador de dois núcleos de processamento. Os dois núcleos trabalham como duas CPU independentes, que trabalham em cooperação e trocam informações a todo instante e em tempo real. Neste componente é instalado o firmware/software de controle de todo o equipamento, desde a Interface Homem Máquina, até a execução dos algoritmos de análise dos transformadores a serem diagnosticados.

Painel: A Interface Homem Máquina ou painel do equipamento, é composto por um display de LCD de 20x04 caracteres, onde são apresentados os menus de utilização do equipamento, bem como as grandezas e o resultado dos diagnósticos e testes feitos nos transformadores. Para que o operador possa interagir com o equipamento foram disponibilizados dois botões, pelos quais é possível navegar pelos menus e selecionar as operações a serem realizadas. Foram disponibilizados também quatro LEDs, nas cores: verde, vermelho, amarelo e azul; que apresentam o estado de funcionamento do equipamento, bem como o resultado de falha ou bom funcionamento do transformador em teste.

Gerador de Sinais e Amplificador: Embora o DSP/Microcontrolador seja o responsável pela geração digital dos sinais que são injetados no transformador para o seu diagnóstico, estes sinais precisam ser filtrados e colocados em níveis

de tensão e potência compatíveis com os transformadores em teste. Desta forma foram projetados circuitos de conversão digital/analógica, filtragem e amplificação dos sinais, com características específicas para o Testador de Transformadores, de forma a se obter uma alta precisão no diagnóstico dos transformadores. Os níveis de tensão e defasamento precisos desses circuitos são importantes para o bom diagnóstico do transformador em teste.

Medição de Grandezas Elétricas e Filtros: uma vez que os sinais gerados são injetados no transformador em teste, é preciso fazer uma leitura das grandezas elétricas, tensão e corrente, aplicadas no primário do transformador, para que se possa diagnosticá-lo. Os circuitos de medição e filtragem, têm a função de digitalizar novamente os sinais para que os mesmos sejam analisados pelos algoritmos. A precisão das medições também está diretamente ligada à qualidade desses circuitos. Os circuitos de medição projetados no Testador de Transformadores, foram desenvolvidos juntamente com os algoritmos, de forma a obter-se o par perfeito de medição e análise dos dados.

2.4.2 Software e algoritmos

O software/firmware do equipamento utiliza técnicas de desenvolvimento de sistemas embarcados de tempo real, de forma a garantir uma interação eficiente com hardware, obtendo o máximo de sua performance. Devido à necessidade de utilização de duas CPUs, foram necessárias ainda, tecnologias de comunicação e sincronização de processos distribuídos, de forma a garantir a cooperação e troca de informações entre as CPUs. A implementação do software pode ser dividida em 3 partes principais: controle do hardware, geração dos sinais, e por fim medição e processamento de sinais. O controle do hardware envolve a interação com os diversos circuitos, desde a leitura e escrita nos componentes do painel, até a comunicação dos circuitos integrados que compõem os diversos circuitos do equipamento. A geração dos sinais digitais que são injetados nos transformadores em teste, exige um altíssimo desempenho de software e hardware e é uma das funções mais complexas, onde técnicas de software em tempo real são mais utilizadas. Por fim a medição e o processamento de sinais, compõem a parte de final, onde o algoritmo e os diagnósticos são executados. Nesta parte fica toda a inteligência do equipamento que permite avaliar se o transformador está bom ou em falha.

Os algoritmos desenvolvidos para diagnósticos dos transformadores, tiveram sua origem no trabalho da FURB concluído em 2013. Esses algoritmos são baseados em desbalanceamentos de correntes no primário do transformador em teste. A precisão nas medições de corrente são fundamentais para que o diagnóstico seja conclusivo. Neste novo produto, além dos algoritmos iniciais de diagnósticos, foram implementados novos algoritmos de controle e geração dos sinais injetados, de forma a garantir uma maior precisão nas medições de corrente. Esses algoritmos implementam controles de tensão, frequência e fase. No projeto original, somente transformadores trifásicos eram ensaiados. Com a nova especificação de ensaios em transformadores monofásicos e bifásicos, foi necessário o desenvolvimento de um novo algoritmo uma vez que o algoritmo anterior era baseado no desbalanceamento de correntes entre as fases, o que não existe nestes tipos de transformadores. Foi desenvolvido então um novo algoritmo baseado em caracterização de impedâncias, onde as impedâncias são medidas e avaliadas, e dependendo desta caracterização o transformador é considerado bom ou em falha.

3 PRODUTO

A Figura 3 apresenta as partes externa e interna do produto final.

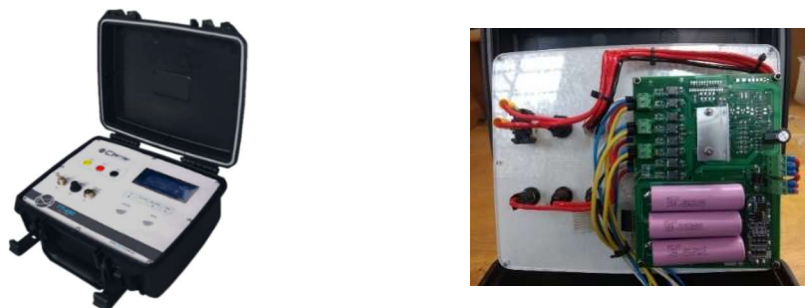


Figura 3 - Fotos do produto final.

Os itens a seguir apresentam as principais características técnicas do produto.

3.1 Características físicas

O equipamento é montado dentro de uma maleta de polipropileno, isolante, capaz de permitir a operação no alto do poste, junto ao transformador, ou no solo com cabos longos adequados para ensaios em transformadores instalados no poste.

- Dimensões: 280 x 250 x 125mm;
- Peso: 3,3Kg.

3.2 Interface homem máquina – IHM

A Figura 4 mostra o painel com as IHMs do equipamento, listadas a seguir:

- Display LCD de 4 linhas e 20 colunas;
- Leds indicadores: Equipamento ligado; Equipamento em operação (teste sendo executado); Resultado do teste - transformador com defeito; Resultado do teste - transformador OK;
- Beep indicador de alerta de equipamento em operação;
- Chave liga-desliga;
- Duas botoeiras para seleção e início de teste.



Figura 4 - IHM

3.3 Alimentação

- 3 baterias de 3,7V de Lítio;
- Capacidade de carga para uma semana ou no mínimo 30 operações sem a necessidade de carga na bateria;
- Carregador de bateria 127/220V ou 12V com conector de isqueiro veicular;
- Vida útil mínima da bateria de 5 anos;
- Controlador de carga para evitar sobrecarga e/ou descarga excessiva da bateria, de forma a aumentar a vida útil da bateria;
- Intertravamento para impedir ensaio com bateria descarregada e possíveis erros de diagnóstico devido à baixa tensão de alimentação.

3.4 Operação do Testador de Transformadores

3.4.1 Instalação elétrica Figura 5 – Ligações elétricas

A instalação do equipamento, apresentada na Figura 5, é composta das seguintes ações:

- Desconectar a alta tensão (AT) do primário (H1, H2 e H3) do transformador, de acordo com os procedimentos de segurança definidos pela concessionária de energia;
- Certificar-se que não existe tensão na saída (BT), terminais X0, X1, X2 e X3;
- Utilizar o cabo com quatro garras para curto circuitar o secundário (X0, X1, X2 e X3). Não é necessário desconectar os consumidores do secundário;
- Conectar os terminais H1, H2 e H3 do TT-100 em H1, H2 e H3 do transformador.

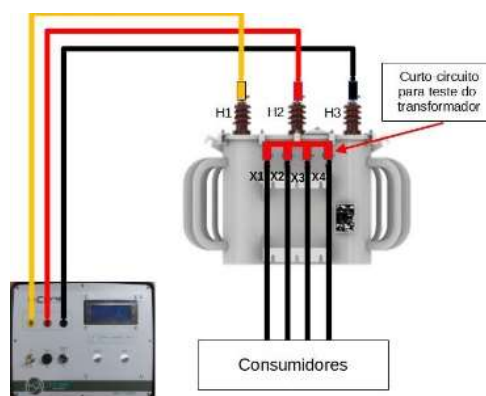


Figura 5 – Ligações elétricas

3.4.2 Funcionamento

- Ligar o equipamento e utilizar a botoeira SELEÇÃO para selecionar entre transformador Trifásico ou Mono/Bifásico;
- Pressionar a botoeira TESTE;
- Durante o teste, o Testador de Transformadores aplica 34Vac no primário do transformador, e para segurança do operador, um led amarelo pisca junto com um beep;
- Ao final do teste, com duração de poucos segundos, o led amarelo e o beep deixam de ser acionados e a condição do transformador é informada pelos leds verde, OK ou vermelho, FALHA;
- O resultado também é apresentado no display com as seguintes informações:
 - T: FALHA ou T: OK (transformador em falha ou transformador sem falha)
 - IA, IB e IC: Correntes durante o teste nas três fases.

4 ENSAIOS

Desde a etapa da pesquisa até o comissionamento do cabeça de série, foram realizados mais de dois mil ensaios em transformadores novos e defeituosos.

4.1 Ensaios na fase de P&D

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Regional de Blumenau/SC. Foram utilizados dois transformadores trifásicos de distribuição, ambos em bom estado de operação: um de 75 kVA de potência, classe 15 kV e outro de 30 kVA classe 25 kV. Para avaliar o desempenho do protótipo no diagnóstico, foram simuladas situações de falha nos transformadores. Os estados de detecção definidos foram “com defeito” e “sem defeito”.

Desta forma, foram simuladas sete condições teste, sendo seis delas representativas de possíveis falhas. Em todos os casos a excitação é aplicada pelos terminais da alta tensão (AT) do transformador (circuito primário) e as saídas do lado secundário de baixa tensão (BT) são colocadas em curto-circuito. Devido à conexão em delta da AT do transformador e ao fato do equipamento ter configuração de saída do sinal trifásico em estrela, a tensão aplicada é de linha (fase-fase). As variantes de condições de teste foram:

- Configuração normal (transformador sem defeito) ;
- Terminal 1 da alta do transformador (H1) em aberto;
- Terminal 2 da alta do transformador (H2) em aberto;
- Terminal 3 da alta do transformador (H3) em aberto;
- Terminais 1 e 2 da alta do transformador (H1 e H2) em curto-circuito;
- Terminais 2 e 3 da alta do transformador (H2 e H3) em curto-circuito;
- Terminais 1 e 3 da alta do transformador (H1 e H3) em curto-circuito.

A maneira de exemplo, a Figura 6 mostra detalhes dos ensaios efetuados, dando destaque à configuração das conexões na AT do transformador e ao display do protótipo de P&D durante a operação.



Figura 6 – Ensaio do protótipo P&D.

Os resultados dos ensaios foram considerados satisfatórios, pois o protótipo efetuou o diagnóstico correto para todas as situações simuladas, nas duas unidades de transformadores.

4.2 Ensaios com o produto final

A partir dos resultados do P&D e da nova especificação técnica, foram desenvolvidos os circuitos eletrônicos e o software embarcado para o produto final, dando início a seguinte sequência de ensaios:

- Ensaios em protótipo de bancada, conforme ilustrado na Figura 7;
- Testes de campo em três protótipos fabricados para esta finalidade;
- Testes de campo no produto final, após as etapas de engenharia de produto e fabricação do cabeça de série.

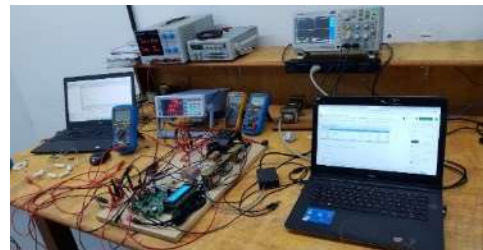


Figura 7 - Ensaios na Clarlei com o protótipo de bancada.

De forma a cobrir todas as possíveis falhas, para os transformadores operacionais, foram realizados ensaios com as seguintes falhas simuladas:

- Uma fase do primário aberta;
- Duas fases do primário em curto;
- Uma fase do secundário aberta;
- Duas fases do secundário abertas.

A Figura 8 apresenta algumas fotos dos ensaios de campo que foram realizados nos seguintes locais:

- Nos laboratórios da Clarlei em 3 transformadores novos (10KVA monofásico, bifásico e 45KVA trifásico);
- Enel Petrópolis no dia 23 de setembro de 2020;
- Enel, em Campos dos Goytacazes, nos dias 14 e 15 de outubro de 2020;
- LIGHT, Jardim América, no dia 27 de outubro de 2020;
- Medral, em Manilha, no dia 3 de novembro de 2020;
- ENEL, com 3 protótipos de campo, por três equipes de emergência, durante quatro meses;
- Enel Petrópolis em 11 de junho de 2021, Petrópolis, em 26 de agosto de 2021;
- LIGHT, Jardim América e Cordovil, no dia 13 de setembro de 2021.

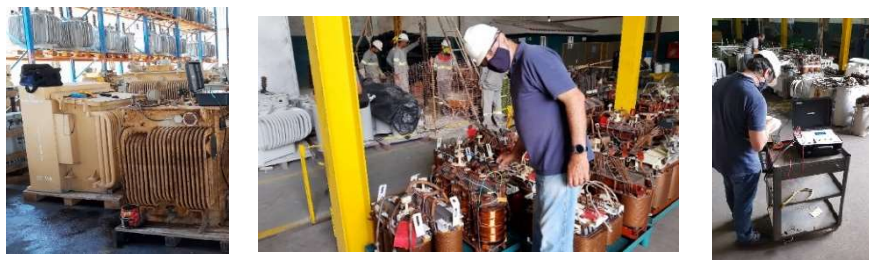


Figura 8 – Ensaios de Campo com o protótipo.

A Tabela 1 apresenta a quantidade, o tipo e o estado dos transformadores ensaiados.

Tabela 1 – Número de ensaios realizados em cada tipo de transformador

Quant.	Tipo	Estado		Quant.	Tipo	Estado
23	5KVA Mono/bifásico	Operacional		28	75KVA Trifásico	Falhas simuladas
6	5KVA Mono/bifásico	Falhas simuladas		22	112,5KVA Trifásico	Operacional
268	10KVA Mono/bifásico	Operacional		1	112,5KVA Trifásico	Em falha
20	10KVA Mono/bifásico	Em falha		32	112,5KVA Trifásico	Falhas simuladas
41	10KVA Mono/bifásico	Falhas simuladas		103	150KVA Trifásico	Operacional
32	15KVA Mono/bifásico	Operacional		2	150KVA Trifásico	Em falha
2	15KVA Mono/bifásico	Em falha		27	150KVA Trifásico	Falhas simuladas
11	15KVA Mono/bifásico	Falhas simuladas		1	225KVA Trifásico	Operacional
37	25KVA Mono/bifásico	Operacional		4	225KVA Trifásico	Falhas simuladas
30	25KVA Mono/bifásico	Falhas simuladas		23	300KVA Trifásico	Operacional
66	15KVA Trifásico	Operacional		1	300KVA Trifásico	Em falha
1	15KVA Trifásico	Em falha		10	300KVA Trifásico	Falhas simuladas
26	15KVA Trifásico	Falhas simuladas		11	500KVA Trifásico	Operacional
66	30KVA Trifásico	Operacional		1	500KVA Trifásico	Em falha
7	30KVA Trifásico	Em falha		6	500KVA Trifásico	Falhas simuladas
29	30KVA Trifásico	Falhas simuladas		23	1000KVA Trifásico	Operacional
381	45KVA Trifásico	Operacional		12	1000KVA Trifásico	Falhas simuladas
9	45KVA Trifásico	Em falha		20	2000KVA Trifásico	Operacional
191	45KVA Trifásico	Falhas simuladas		9	2000KVA Trifásico	Falhas simuladas
92	75KVA Trifásico	Operacional		12	3000KVA Trifásico	Operacional
4	75KVA Trifásico	Em falha		3	3000KVA Trifásico	Falhas simuladas

Para todos os ensaios apresentados na Tabela 1, o índice de acerto foi de 100%. A tabela acima não contempla os diversos ensaios realizados nos laboratórios da Clarlei, assim como os ensaios realizados pelas três equipes de emergência da Enel durante quatro meses.

O alto número de ensaios realizados é justificado pelo ineditismo do projeto. Os diversos trabalhos já realizados no assunto, sempre utilizaram medições no primário e no secundário do transformador. Porém, os itens de “operação

simples e rápida" da especificação técnica sugeriram apenas a ligação em curto-circuito do secundário, sem a desconexão dos consumidores e a não conexão de cabos do secundário do transformador ao equipamento. Os numerosos ensaios foram fundamentais para garantir que os diagnósticos do equipamento sejam corretos, independente da imensa variação de impedância das bobinas dos diversos tipos e fabricantes de transformadores.

5 CONCLUSÃO

O testador de transformadores desenvolvido é um caso bem-sucedido de integração entre universidade, fabricante e distribuidoras. A partir de uma necessidade da CELESC, foi realizado um projeto de P&D em que a FURB desenvolveu, e comprovou com ensaios preliminares, uma tecnologia viável para a solução do problema que gerou essa necessidade. Em uma segunda etapa, a ENEL, LIGHT, CLARLEI e FURB desenvolveram uma nova Especificação Técnica, que resultou em um produto, projetado pela CLARLEI, que foi exaustivamente testado pelos quatro participantes.

Com 100 % de acerto nos diagnósticos dos inúmeros ensaios realizados, o testador de transformadores desenvolvido passa a ser uma alternativa interessante para as equipes de emergência das distribuidoras, com vantagens operacionais tais como: realizar testes extremamente rápidos, sem a necessidade de desligar os consumidores do secundário do transformador; ensaios seguros, por serem realizados com baixa tensão e baixa corrente; operação simples, sem a necessidade de ajuste e/ou configurações de software.

Para as empresas, a utilização do testador de transformadores desenvolvido implica na eliminação de riscos de acidentes para seus colaboradores, redução dos custos operacionais, redução do DEC e eliminação dos surtos na média tensão decorrentes da energização de transformadores em curto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SOUZA, L. M.; "Método de detecção de falhas em transformadores de distribuição de poste com proteção operada" 2006 Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006.
- (2) SANTOS, C. M. P.; JÚNIOR, W. B. A. "Falhas em transformadores de potência, seus efeitos e as recomendações associadas" XXV SNPTEE. Belo Horizonte - RJ, 2019.
- (3) FERREIRA, Daniel A. P. "Análise de falhas em transformadores de distribuição por metodologia forense". 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- (4) ALMAGUER, H.A.D., CABRAL, S. H. L., CARDOSO, G., et. al. "Desenvolvimento de equipamento para diagnóstico in loco de defeitos em transformadores de distribuição", VIII CITENEL - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. Costa do Sauípe - Bahia, 2015.
- (5) CELESC Oficial. Projeto P&D Celesc – Desenvolvimento de equipamento para diagnóstico e análise de defeitos de operação de transformadores de distribuição. Youtube, 14 jul. 2016. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=t68ubUfMGw4>>. Acesso em: 03 set. 2021.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) PAULO CESAR LOPES LEITE Possui graduação em Engenharia Eletrônica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1980) e mestrado em Sistemas de Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1987). Atualmente é professor Assistente da Universidade Católica de Petrópolis e Diretor Técnico da Clarlei Tecnologia Ltda. Tem experiência nas áreas de controle automático de processos, instrumentação e sistemas embarcados, atuando principalmente em projetos de equipamentos eletrônicos voltados para o setor de distribuição de energia elétrica, sistemas de aquisição de dados, sistemas de controle e projeto de equipamentos microprocessados.

(2) HUGO ARMANDO DOMINGUEZ ALMAGUER

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Oriente/CUBA (1994), e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003). Desde 2003 é professor e pesquisador da Universidade Regional de Blumenau (FURB), Santa Catarina. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase nos seguintes temas de pesquisa: modelagem numérica de dispositivos e fenômenos eletromagnéticos, sistemas de aterramento elétrico, bioeletromagnetismo e medição de sinais radiados (alta e baixa frequência).

(3) SÉRGIO HENRIQUE LOPES CABRAL

Sérgio H. L. Cabral nasceu em São Paulo -SP, em 1965, obtido o grau de Engenheiro Eletricista em 1989, pela UFF. Em 1994, obteve pela COPPE/UFRJ o título de M.Sc., em Alta-Tensão e Equipamentos, ingressando no mesmo ano, como professor tempo integral, na Universidade Regional de Blumenau, ministrando várias disciplinas e atuando na administração acadêmica, tendo participado da implantação do curso de mestrado em Engenharia Elétrica, sendo membro permanente, desde então. Em 2003, obteve pela UFSC o título de doutor em Engenharia Elétrica. Seus temas de interesse são da área de Potência e estão representados pelos trabalhos listados <https://scholar.google.co.za/citations?user=xZRM1YUAAAAJ&hl=en>

(4) THAIR IBRAHIM ABDEL HAMID MUSTAFA

Nasceu em Santa Maria-RS, em 28 de setembro de 1967. É professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Blumenau, SC, Brasil. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, em 1990. Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC em 1994 e 2004, respectivamente. Ingressou no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Blumenau em 1994, onde está envolvido com atividades acadêmicas de graduação, pós-graduação e atividades de P&D. Atua em pesquisas na área de proteção e simulação de sistemas de potência, qualidade de energia e compatibilidade eletromagnética.

(5) LUIZ HENRIQUE MEYER

Luiz Henrique Meyer, Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1990), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1994) e doutorado em Electrical and Computer Engineering pela University of Waterloo (2003). Atualmente é professor do quadro (vínculo público) com dedicação exclusiva (DE) na Universidade Regional de Blumenau, lotado no Departamento de Eng. Elétrica e de Telecomunicações (1993), professor no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eng. Elétrica (PPGEE) e nos cursos de graduação de Eng. Elétrica e de Telecomunicações. Principal interesse de pesquisa na área de desempenho de materiais isolantes de uso externo.

(6) LEANDRO PERES CAMPOS

Leandro Peres Campos, 57 anos, engenheiro eletrcista, pós-graduado em Sistemas Elétricos de Potência pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, curso de extensão em Getão de Pessoas pela Fundação Getúlio Vargas e Gestão de Negócios pelo Ibemc Rio, tendo atuado 15 anos na área industrial e distribuidoras de energia com equipamentos e obras de média e alta tensão, atuando a 17 anos na Enel Distribuição Rio na operação da rede elétrica, manutenção e obras de média e baixa tensão. Atualmente atuando no planejamento e desenvolvimento de novos projetos e soluções elétricas para facilitar as atividades de campo e processos.

(7) DANIEL BELLAS AZEVEDO

Engenheiro com 16 anos de experiência em Distribuição de Energia tendo atuado em diversos processos relacionados a essa operação. Atualmente, trabalho como Responsável pelo Polo Operacional Lagos, na Enel Distribuição Rio, e gerencio as atividades de Manutenção (Preventiva e Corretiva), Emergência, Poda, Novas Ligações, Corte/Religação e Leitura de Medidores para mais de 420.000 clientes mensalmente. Atuo também como Embaixador da Inovação pela Enel Rio com o propósito de ajudar aos inovadores dentro da empresa a desenvolver seu projetos, sendo reconhecido como um dos 05 melhores nessa função em atuação na Enel Brasil.

(8) HUGO MOREIRA DA CRUZ

Graduado em Engenharia Elétrica pela UNIVALE com especializações em Engenharia de Segurança do Trabalho e Engenharia de Produção possuindo MBA em Gestão Empresarial com Ênfase no Setor Elétrico pelo IBMEC, tendo mais de 15 anos de experiência na área de distribuição de energia elétrica. Atualmente atua como Gerente Regional de Operações na Enel Distribuição Rio.

(9) VITOR RIBEIRO AMARAL DOS SANTOS

Formação Acadêmica Especialista em sistemas Elétricos – Ênfase Transmissão Curso de Qualificação em sistemas Elétricos Universidade Federal de Itajubá – Organizado pela FUPAI Conclusão: 12/2017 Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho Universidade Cândido Mendes Conclusão: 12/2014 Engenharia de Produção Institutos Superiores de Ensino do Censa Conclusão: 06/2011 Técnico em Mecânica Instituto Federal Fluminense - IFF Conclusão: 12/2011 Experiência Profissional Enel Distribuição Rio Início: 01/09/2014 – 01/06/2021 Cargo: Especialista de Manutenção Início: 01/06/2021 – Atual Cargo: Responsável de operação e Manutenção GEMON – Geral de Engenharia e Montagem- Grupo MPE Início: 10/09/2012 Término: 01/09/2014 Cargo: Engenheiro Especialista de Operação

(10) GUSTAVO HAUBRICH

MSc. Gustavo Haubrich, graduado em Engenharia Eletrônica pela UFRJ em 1999. Mestrado em Processamento de Sinais pela COPPE/UFRJ em 2004. Professor e pesquisador na UCP de 2001 a 2006. Engenheiro e Diretor de P&D da CMsatisloh de 1999 a 2018. Atualmente sócio-fundador e diretor das empresas Clarlei Tecnologia, desde 2013, e HGL Engenharia e Usinagem desde 2018. Experiência de 22 anos no desenvolvimento de máquinas e

equipamentos eletrônicos para os setores de distribuição de energia elétrica e indústria oftálmica. Especialista em desenvolvimento de hardware e software de tempo real e processamento de sinais em sistemas embarcados.

(11) ROBERTO DE VASCONCELLOS DIAS

Graduação em engenharia elétrica pela Universidade Gama Filho. Pós graduação em “Metodologia do ensino superior” pela Universidade Veiga de Almeida. Engenheiro de campo da Light Serviços de eletricidade S.A. na área de Distribuição de energia elétrica.

(12) REGINALDO DA SILVA CARVALHO

Possui graduação em engenharia elétrica pela universidade Católica de Petrópolis (2015). Atuou junto ao IPqM (Marinha do Brasil), em sistemas de monitoramento de baterias de submarinos (2016). Atualmente é engenheiro na empresa Clarlei Tecnologia Ltda. Possui experiência na análise, projeto e comissionamento de sistemas eletrônicos de automação e medição de energia elétrica, atuando principalmente no desenvolvimento de hardwares de equipamentos eletrônicos para o setor elétrico.