Thiago Samuel Bonfin

Sistema Especialista Para Análise Integrada de Respostas Advindas de Ensaaios Experimentais Executados em Transformadores de Potência

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, sendo parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Sistemas Elétricos de Potência.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Nunes da Silva

São Carlos

2015

Trata-se da versão corrigida da dissertação. A versão original se encontra disponível na EESC/USP que aloja o Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

S713s Samuel Bonfin, Thiago
Sistema Especialista Para Análise Integrada de
Respostas Advindas de Ensaaios Experimentais Executados
em Transformadores de Potência / Thiago Samuel Bonfin;
orientador Ivan Nunes da Silva. São Carlos, 2015.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em
Sistemas Elétricos de Potência -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

1. Transformadores de potência. 2. Falhas em
transformadores. 3. Métodos de avaliação. 4. Sistemas
inteligentes. I. Título.

"Sinta-se envergonhado de morrer até que você tenha
conseguido alguma vitória para a humanidade."
(Horace Mann).

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a CTEEP (Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista) pelo irrestrito apoio, incentivo e oportunidade no desenvolvimento deste importante trabalho.

Ao Professor Ivan Nunes da Silva pela transmissão de conhecimentos e pelas orientações durante a elaboração e desenvolvimento desta pesquisa.

A minha esposa Ana Paula, por toda sua compreensão e apoio em minha ausência justificada pelo desenvolvimento deste programa.

Agradeço, ainda, aos nossos amigos da CTEEP, Marcelo A. Carrapato e Paulo Izidio da Costa, que de alguma forma colaboraram para a conclusão deste processo.

Aos meus pais Jose Donizete Bonfim e Leonilde da Silva Bonfim, e irmãos Michel e Matheus, pela alegria e satisfação, que me impulsionaram a conclusão de mais uma etapa.

E acima de tudo a Deus, por que até aqui me permitiu mais esta jornada de desenvolvimento.

Índice

Resumo	ix
Abstract.....	xi
Lista de Siglas e Abreviaturas.....	xiii
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas	xix
 Capítulo 1. Introdução.....	 21
1.1 A TRANSFORMAÇÃO DA ELETRICIDADE.....	21
1.2 TRANSFORMADORES DE ENERGIA ELÉTRICA	23
1.3 A TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	24
1.4 CAUSAS DE FALHAS EM TRANSFORMADORES	26
1.5 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO	29
1.6 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	31
1.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	35
 Capítulo 2. Principais Aspectos Relacionados aos Ensaios de Transformadores de Potência Visando a Detecção de Falhas.....	 37
2.1 INTRODUÇÃO.....	37
2.2 ENSAIOS REALIZADOS EM ÓLEOS ISOLANTES	41
2.3 DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM TRANSFORMADORES UTILIZANDO ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS	45
2.3.1 Método de Rogers.....	46
2.3.2 Método de Dornenburg.....	48
2.3.3 Método do Gás Chave	49
2.3.4 Relação dos Códigos IEC	50
2.3.5 Triângulo de Duval.....	51
2.4 ENSAIOS DE RELAÇÃO DE ESPIRAS (TTR)	53
2.5 ENSAIOS DE TENSÃO INDUZIDA.....	58
2.5.1 Ensaio de Curta Duração Para Enrolamento Uniformemente Isolado.....	59
2.5.2 Ensaio de Curta Duração Para Enrolamento “Não-uniformemente” Isolado.....	60
2.5.3 Ensaio de Longa Duração para Enrolamento Uniforme e Gradual	62
 Capítulo 3. Aspectos Envolvendo o Ambiente de Desenvolvimento do Sistema Especialista.....	 67
3.1 INTRODUÇÃO.....	67
3.2 NET FRAMEWORK	67

3.2.1 Execução gerenciada.....	68
3.2.2 Executando seu Código.....	69
3.2.3 Assemblies	69
3.2.4 O Global Assembly Cache (GAC).....	70
3.2.5 .NET Framework Class Library.....	71
3.2.6 Interoperabilidade entre Linguagens.....	71
3.3 TRATAMENTO DE VARIÁVEIS	72
3.3.1 Removendo Inconsistências	73
3.3.2 Níveis Superiores de Tipos Seguros	75
3.3.3 Programando Matrizes	77
3.3.4 Uma nova sintaxe para propriedades	78
3.3.5 Propriedades Indexadas e Propriedades Default.....	79
3.4 MULTITHREADING EM AÇÃO COM VB .NET	80
3.5 TRATAMENTO DE ERROS.....	81
3.5.1 Os tipos de objetos Exception e sua utilização	82
3.6 ARMAZENAMENTO ISOLADO	83
3.6.1 Cenários de Uso	84
3.6.2 Conceitos: Compartimentos e Depósitos de Dados	85
3.6.3 Sombras de Isolamento	85
3.6.4 Classes de Armazenamento Isolado.....	86
Capítulo 4. Sistema Especialista para Análise Integrada de Resultados.....	87
4.1 INTRODUÇÃO	87
4.2 ABA DE RECURSOS HUMANOS	91
4.3 ABA DE CADASTRO DE EQUIPAMENTO	92
4.4 ABA DE ENSAIOS	94
4.5 ESTUDO DE CASO.....	112
Capítulo 5. Conclusões e Continuidade do Trabalho	117
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117
5.2 ASPECTOS DE CONTINUIDADE DO TRABALHO	118
Referências Bibliográficas	119

Resumo

Bonfin, T. S. (2015). *Sistema Especialista Para Análise Integrada de Respostas Advindas de Ensaaios Experimentais Executados em Transformadores de Potência*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

No contexto metodológico desse trabalho, foram desenvolvidas as tecnologias lógicas, baseadas em arquiteturas de sistemas inteligentes, que auxiliem nos diagnósticos de avarias em transformadores de transmissão. O sistema desenvolvido tem como dados de entrada os resultados de ensaios de isolamento, de relação de transformação, do fator de potência da isolamento, de ensaios de tensão induzida, além de outros e, por meio de técnicas de inferência, indicarão a existência de possíveis avarias que devem ser averiguadas (de forma mais detalhada) antes de se retornar o transformador ao serviço. A particularidade que caracteriza a inovação sobre este assunto está justamente na elaboração de um novo ferramental, a ser disponibilizado por meio de um software inteligente de suporte à decisão, o qual produzirá respostas que permitirão o completo diagnóstico de falhas e avarias em transformadores de transmissão submetidos a esforços eletromagnéticos severos. As respostas serão produzidas a partir da análise integrada de resultados advindos de módulos inteligentes incumbidos de apoiar os diversos ensaios a serem realizados no equipamento. Assim, será possível estimar, inclusive, qual o momento de se proceder com a manutenção preventiva no equipamento.

Palavras Chave: Transformadores de Potência, Falhas em Transformadores, Métodos de avaliação, Sistemas inteligentes.

Abstract

Bonfin, T. S. (2015). Expert System for Integrated Analysis of Responses from Experimental Tests Performed in Power Transformers. Dissertation (Master's Degree) - São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, 2015.

In methodological context of this work, the logical technologies were developed based on smart systems architectures, which help in diagnosis of faults in transmission transformers. The developed system has as data input the results of insulation tests, the transformation ratio of the insulation power factor of induced voltage test, and others, and by inference techniques, indicate the existence of possible faults that must be ascertained (in more detail) before the processor returns to service. The special featuring innovation on this subject is exactly in the drafting of a new tooling, to be made available through intelligent decision support software, which will produce answers that will allow the full fault diagnosis and failure in transmission submitted transformers the severe electromagnetic efforts. The answers will be produced from the integrated analysis of results arising from intelligent modules responsible for assisting the various tests to be performed on the equipment. Thus, you can estimate, even when it's time to proceed with preventive maintenance on the equipment.

Keywords: Power Transformers, Transformers Failures, Evaluation methods, Intelligent systems.

Lista de Siglas e Abreviaturas

*ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
*ASP	<i>Active Server Pages</i>
*BS	<i>British Standard</i>
*CDC	Comutador de Derivação em Carga
*CDST	Comutador de Derivação sem Tensão
*CLR	<i>Common Language Runtime</i>
*COM	<i>Component Object Model</i>
*CPU	<i>Central Processing Unit</i>
*DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor
*DGA	<i>Dissolved Gas-in-oil Analysis</i>
*DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
*DLLs	<i>Dynamic-Link Library</i>
*DMIC	Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora
*DOS	<i>Disk Operating System</i>
*FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor
*FIC	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
*GAC	<i>Global Assembly Cache</i>
*GC	<i>Garbage Collector</i>
*GPIB	<i>General Purpose Interface Bus</i>
*IDL	<i>Interactive Data Language</i>
*IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
*IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
*IL	<i>Intermediate Language</i>
*JIT	<i>Just-In-Time</i>
*MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
*MCCG	Manutenção Centrada na Confiabilidade Geral
*MCCP	Manutenção Centrada na Confiabilidade Parcial
*MSIL	<i>Microsoft Intermediate Language</i>
*OLTC	<i>On-Load Tap Changer</i>
*OMI	Óleo Mineral Isolante
*RAD	<i>Rapid Application Development</i>
*RAM	<i>Random Access Memory</i>
*RIV	<i>Radio Influence Voltage</i>
*TC	Transformador de Corrente
*TP	Transformador de Potencial
*TTR	<i>Transformer Turns Ratio</i>
*VIE	<i>Very Important Equipment</i>

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Levantamento de falhas em transformadores realizado pelo GCOI e concessionárias de energia do Brasil.....	27
Figura 1.2 - Pesquisa realizada no Brasil com relação a falhas em transformadores excluindo atuações indevidas [9]	27
Figura 1.3 - Total sinistro de um transformador - falha de isolamento [10].....	28
Figura. 2.1 – Gráfico para falha incipiente.....	48
Figura 2.2 – O Triângulo de Duval	51
Figura 2.3 – Medição do tipo Bridge para realização do ensaio TTR.....	54
Figura 2.4 – Sistema protótipo para ensaios de transformadores de potência proposto por [33].....	57
Figura 2.5 – Diagrama de conexão para ensaio de tensão induzida de curta duração para transformadores com enrolamento uniformemente isolado	59
Figura 2.6 – Diagrama temporal para ensaios de tensão induzida de curta duração	60
Figura 2.7 – Diagrama de conexão para ensaio de tensão induzida de curta duração para transformadores com enrolamento não-uniformemente isolado.....	61
Figura 2.8 – Diagrama temporal para ensaios de tensão induzida de longa duração	62
Figura 2.9 – Diagrama temporal para ensaios de tensão induzida durante a detecção de descargas parciais.....	63
Figura 2.10 – Diagrama esquemático para medição de tensão induzida com descargas parciais	64
Figura 2.11 – Sistema protótipo para ensaios de transformadores de potência proposto por [35].....	65
Figura 2.12 – Sistema protótipo para ensaios de transformadores de potência proposto por [35].....	66
Figura 3.2 – Processos e Threads	81
Figura 4.1 – Tela de alerta de informações de login	87
Figura 4.2 – Tela de Abertura.....	88
Figura 4.3 – Abas de acesso	88
Figura 4.4 – Incluir companhia	89
Figura 4.5 – Departamento Regional.....	89
Figura 4.6 – Inserção de informações de Departamento Regional.....	90
Figura 4.7 – Subestações	90
Figura 4.8 – Incluir Subestações	90
Figura 4.9 – Recursos humanos.....	91

Figura 4.10 – Cadastro de Engenheiro Responsável.....	91
Figura 4.11 – Cadastro de Executado por	92
Figura 4.12 – Inserção de informações e competências de Executado por.....	92
Figura 4.13 – Aba de Equipamentos	93
Figura 4.14 – Cadastro de Família de equipamentos	93
Figura 4.15 – Cadastro de transformador/autotransformador/reator	94
Figura 4.16 – Aba Ensaio	94
Figura 4.17 – Ensaio no óleo mineral isolante	95
Figura 4.18 – Cadastro de Ensaio físico-químico.....	95
Figura 4.19 – Cromatografia gasosa	96
Figura 4.20 – Cadastro de Cromatografia gasosa	97
Figura 4.21 – Cromatografia líquida.....	97
Figura 4.22 – Cadastro de Cromatografia líquida.....	98
Figura 4.23 – Fator de potência	98
Figura 4.24 – Cadastro de Fator de potência	99
Figura 4.25 – Resistência de isolamento.....	100
Figura 4.26 – Cadastro de Resistência de isolamento.....	100
Figura 4.27 – Impedância de curto-circuito	101
Figura 4.28 – Cadastro de Impedância de curto-circuito	102
Figura 4.29 – Resistência ôhmica	102
Figura 4.30 – Cadastro de Resistência ôhmica	103
Figura 4.31 – Relação de transformação.....	103
Figura 4.32 – Cadastro de Relação de transformação.....	104
Figura 4.33 – Inspeção de acessórios.....	105
Figura 4.34 – Cadastro de Inspeção de acessórios.....	105
Figura 4.35 – Ensaio especiais	106
Figura 4.36 – Cadastro de Ensaio especiais	106
Figura 4.37 – Fator de potência de bucha	107
Figura 4.38 – Cadastro de Fator de potência de bucha	107
Figura 4.39 – TC de bucha.....	108
Figura 4.40 – Cadastro de Ensaio da relação de transformação em TC de bucha.....	109
Figura 4.41 – Cadastro de Ensaio resistência de isolamento em TC de bucha.....	110
Figura 4.42 – Comutador	110
Figura 4.43 – Cadastro MCCG em Comutador	111
Figura 4.44 – Cadastro MCCP em Comutador	112

Figura 4.45 – Identificação do Reator RT-2.....	113
Figura 4.46 – Reator RT-2 Cromatografia Gasosa.....	113
Figura 4.47 – Reator RT-2 Cromatografia Líquida.....	114
Figura 4.48 – Reator RT-2 Físico – Químico.....	115
Figura 4.49 – Reator RT-2 Fator de Potência.....	115
Figura 4.50 – Reator RT-2 Resistência de isolamento	116
Figura 4.51 – Reator RT-2 Emissão Acústica	116

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Recomendações para ensaios em transformadores de potência com isolamento a óleo.....	39
Tabela 2.2 – Identificação do óleo isolante pelo percentual de hidrocarbonetos.....	42
Tabela 2.3 – Normas a serem aplicadas nos ensaios do óleo isolante	45
Tabela 2.4 – Comparação entre metodologias para o diagnóstico de falhas.....	46
Tabela 2.5 – Identificação de falhas por meio do Método de Rogers	47
Tabela 2.6 – Identificação de falhas através do Método de Dornenburg	48
Tabela 2.7 – Perfis típicos de comparação	49
Tabela 2.8 – Relação dos códigos IEC.....	50
Tabela 2.9 – Classificação da falha conforme relação dos códigos IEC.....	50
Tabela 2.10 – Condições de falhas no Triângulo de Duval	52
Tabela 2.11 – Análise dos resultados obtidos por meio de ensaio TTR	53
Tabela 2.12 – Características do transformador utilizado por [33].....	57
Tabela 2.13 – Resultados obtidos por [33] para o ensaio de relação de espiras	58
Tabela 3.1 – Tipos mais comuns de objetos Exception	82
Tabela 3.2 – Principais propriedades do objeto Exception	83
Tabela 3.3 – Principais métodos do objeto Exception	83

Capítulo 1

Introdução

1.1 A TRANSFORMAÇÃO DA ELETRICIDADE

A história da energia elétrica data do início do século XIX, como uma simples experiência científica. Sua importância no mercado como produto comercialmente rentável se destacou no final do mesmo século XIX, com a proposta da lâmpada incandescente de Thomas Edson. Mas, devido às pequenas centrais elétricas associadas ao sistema de distribuição em corrente contínua da época, proporcionava uma condição restrita da utilização deste produto. [1]

De acordo com [2], o sistema de distribuição de energia elétrica era constituído de consumidores diretamente conectados às centrais geradoras por meio de condutores de grandes seções. Pode-se citar que lâmpadas de 100 Volts eram conectadas a geradores de 100 Volts, valor de tensão que proporcionava segurança para o uso doméstico e ao mesmo tempo boa capacidade de iluminação ao comparar com o sistema a gás utilizado nesta época. O grande inconveniente neste sistema primário de distribuição em corrente contínua era o fato de que a partir de uma determinada distância a queda de tensão tornava o sistema ineficiente e a utilização de cabos maiores inviabilizava seus custos, assim o sistema a partir de uma central geradora cobria um raio de aproximadamente 2 km.

Era possível realizar o envio de maiores valores de tensão em corrente contínua, entretanto, o problema era como abaixar estes valores a níveis residenciais sem alterações no rendimento. Observa-se que não existe transformação de energia em corrente contínua, suas alterações de valores provêm da utilização de métodos convencionais, normalmente com o uso de circuitos resistivos, inviabilizando inicialmente sua aplicação direta na transmissão de energia e favorecendo o desenvolvimento de transformadores.

Nesta mesma época, conforme [3], estabeleceu-se uma verdadeira corrida pelo pioneirismo no domínio da distribuição de energia elétrica denominada “guerra das correntes”, proporcionada pelo então inventor da lâmpada incandescente o Engenheiro americano Thomas

Alva Edison e o físico iugoslavo Nicola Tesla. Tesla propunha há tempos a possibilidade de uma forma alternativa de energia sem que fosse a contínua, através dos conceitos de Michael Faraday. Ao ministrar suas ideias publicamente, Tesla despertava em seus ouvintes a dúvida sobre a impossível prática utópica de sua mente, que se concretizaria anos mais tarde pela fabricação de dínamos, na sociedade formada por Nicola Tesla e George Westinghouse.

A tecnologia de produção de transformadores em 1884 revolucionou o que hoje é conhecido como transmissão de energia elétrica, possibilitando a alteração da amplitude do sinal a níveis desejáveis, tornando possível o envio da energia elétrica a longas distâncias.

O primeiro uso desta tecnologia, conforme [3], aconteceu nas cataratas do Niágara, oferecendo metade do custo que Edison ofereceu para a instalação de um sistema DC. O sistema de energia AC do Niágara foi inaugurado sem uma única falha, transmitindo energia até a cidade de Buffalo (USA), a aproximadamente trinta e três quilômetros de distância, uma total impossibilidade em corrente contínua. Assim já não era mais apenas uma restrita “comodidade luxuosa” reservada aos nobres, a energia elétrica agora poderia ser um bem de toda a humanidade.

Segundo [2], o anseio pelo desenvolvimento de uma nova tecnologia elétrica era também sustentada pelo domínio da manipulação da eletricidade, pois obtendo a capacidade de transformar tensão e corrente a níveis calculadamente desejáveis, possibilitaria a transmissão de energia a pontos cada vez mais distantes, uma vez que quanto maior a distância, maior o nível de tensão que se deve aplicar para compensar as perdas ocasionadas pelo trecho de transmissão.

A partir da inserção da tecnologia da máquina elétrica denominada transformador, nome esse dado por sua capacidade de transformar níveis de tensão com determinada corrente mediante sua potência, foi possível a transmissão de energia a longas distâncias. Estava implantada uma nova fase para o desenvolvimento de toda a humanidade.

De acordo com [1], no Brasil, o início da utilização desta nova fonte de energia ocorreu em meados de 1879 com a inauguração do sistema introduzido por Tomas Edson, fornecendo iluminação elétrica na estação da antiga ferrovia, hoje conhecida como Central do Brasil no Rio de Janeiro. Ainda por este sistema, houve o início da iluminação pública em 1881, sendo instalado na região da Praça da República e dependências do edifício do ministério da aviação.

A prestação de serviços públicos de iluminação na América do Sul veio com a inauguração da primeira unidade termelétrica em 1883, alimentando algumas lâmpadas na cidade de Campos, nesta mesma data a primeira hidrelétrica brasileira foi construída na cidade de Diamantina, MG.

A tendência pelo desenvolvimento era fato contínuo dentro do Brasil, atraindo a presença de investidores internacionais a partir de 1897, visando a exploração da produção e distribuição da energia elétrica e a necessidade de desenvolvimento que alguns centros urbanos tinham nesta época. Em 1899 a canadense Light iniciou suas atividades na cidade de São Paulo, obtendo a primeira concessão de distribuição de energia, dando início ao processo que nos dias atuais é conhecido como setor elétrico nacional.

1.2 TRANSFORMADORES DE ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com [1], transformadores são máquinas estáticas que transferem energia elétrica de um circuito para outro, mantendo a mesma frequência e, normalmente, variando valores de tensão e corrente. De maneira geral, a função de um transformador é a de reduzir as perdas causadas durante as transmissões de energia elétrica causados pelos diversos fenômenos existentes através da redução da corrente requerida, elevando-se a tensão para transmitir uma determinada potência elétrica.

Transformadores de potência são os equipamentos mais importantes de um sistema de transmissão de energia elétrica, tanto devido a sua finalidade quanto ao elevado custo [4].

Hoje, segundo informações da Toshiba do Brasil, um transformador de potência elevada pode ser comercializado a um custo aproximado de R\$ 33,00/KVA, tornando-se assim inviável, na grande maioria das vezes, a aquisição de reservas em todas as instalações da concessionária.

De acordo com [5], considerando a disposição de um transformador e a sua real finalidade em uma subestação, aumenta-se exponencialmente a importância de manutenções preventivas para analisar todos seus componentes e principalmente o estado de sua isolação.

A parte mais importante para se manter a integridade de um transformador é o seu sistema de isolamento, que se constitui de isolantes líquidos (óleo isolante naftênico ou sintético) e isolantes sólidos (papel isolante elétrico).

Durante a vida útil dos transformadores de potência, comentado em [6], vários processos de desgaste e de envelhecimento ocorrem no sistema de isolamento. Os efeitos de fadiga térmica, química, elétrica e mecânica, tais como, pontos quentes, sobreaquecimentos, sobretensões e vibrações são responsáveis por alterações no sistema isolante e devem ser verificados através de manutenções preditivas, evitando desta maneira a indisponibilidade não programada do equipamento.

Dessa forma, pode ser observado em [7] que a diminuição da vida útil de um transformador esta diretamente relacionada a qualidade de todos os meios isolantes envolvidos em sua arquitetura, de modo a serem dependentes para seu perfeito funcionamento. A longevidade de um transformador esta diretamente ligada ao envolvimento do equipamento a um programa preventivo de análise de suas condições dielétricas.

1.3 A TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Em sistemas de transmissão de energia elétrica, o emprego de tensões cada vez mais elevadas se faz cada vez mais presente, tendendo a aumentar devido às distâncias e o nível de consumo. Estes níveis de tensão exigem qualidade dos equipamentos responsáveis pelo processo e periodicidade de manutenções reduzidas para impedir que atuações indevidas venham a promover desligamentos indesejáveis.

Ainda conforme [7], ocorrências no sistema de transmissão de energia elétrica causam problemas de grandes proporções em vários aspectos, que vão desde o aspecto socioeconômico até as condições de segurança, formalizando condições específicas de qualidade de energia. Isso determina que o sistema deve ser ininterrupto, dispondo de equipamentos não só para as condições normais de transmissão de energia, mas principalmente para as condições de emergência.

Subestações são formadas por diversos equipamentos, cada um responsável por uma determinada função. Entretanto normalmente as ocorrências destes equipamentos produzem falhas isoladas de grandes proporções, produzidas quando da ocorrência em geradores, reatores e principalmente em transformadores de potência. As causas que levam a esta evidência são que estes equipamentos resultam, em caso de falha, um tempo de indisponibilidade maior para o sistema, pois:

- A maioria das subestações de energia não dispõem de transformador reserva;

- O custo de um transformador é elevado tanto para superdimensioná-lo quanto para sua reserva estratégica;
- Normalmente estes equipamentos são especificamente fabricados para uma determinada instalação, não tendo fabricação em serie para reposição imediata;
- Os prazos envolvidos no reparo, fabricação e transporte são da ordem de meses.

Observa-se em [8] que as condições impostas pela livre competição dentro do mercado de energia e as novas regras que determinam condições elevadas na qualidade da prestação dos serviços, levam o transformador ao centro das atenções, devido a sua posição dentro de um sistema elétrico de potencia, sendo notório o crescimento pela busca da confiabilidade de seu funcionamento.

Assim, todas as informações expostas apresentam, além da importância, o grande reflexo que a falha de um transformador proporciona dentro do sistema elétrico de potência; tanto pela falta de continuidade da transmissão de energia quanto pelas proporções de sua logística em casos onde uma determinada ocorrência perpetua a sua indisponibilidade. Isso torna o retorno operativo totalmente dependente das condições de um novo equipamento, o que proporcionará em caso de não reserva, um grande intervalo de tempo antes do retorno ao sistema.

Essas dificuldades poderão ter repercussões bem maiores, dependendo das condições em que o transformador em ocorrência estiver localizado e da configuração operativa à qual este pertence.

Nestes casos, ocorrerá corte de carga prejudicando diretamente os consumidores. Em consequência, a concessionária ficará com os seus índices de qualidade de fornecimento de energia (DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC) afetados, prejudicando a imagem da empresa responsável junto à sociedade, além do prejuízo causado pela perda de faturamento durante a interrupção de energia elétrica. Destacamos que falhas em transformadores têm sido responsáveis por grandes blecautes no sistema elétrico brasileiro. [8]

Deve-se destacar que falhas de grandes amplitudes em transformadores trazem consigo, na maioria das vezes, explosões e incêndios, reduzindo segurança física dos demais equipamentos adjacentes e principalmente a integridade física de seres humanos que possam estar expostos em um fatídico momento. Atualmente dentro das empresas de energia, a constante

busca pela sustentabilidade é também prejudicada por este tipo de ocorrência, assim automaticamente o óleo isolante de um transformador sinistrado é derramado diretamente no solo, pois a grande maioria dos equipamentos não dispõe de caixas de contenção.

1.4 CAUSAS DE FALHAS EM TRANSFORMADORES

Segundo as pesquisas, existe uma tendência de crescimento no número de falhas de transformadores devido a vários aspectos dentro os quais podemos citar:

- O tempo de atuação de mais de 1/3 dos transformadores já ultrapassaram a sua vida útil ou estão próximos dos 30 anos determinada pelo fabricante, bem como seus acessórios e periféricos. [9]
- Os transformadores, pela sua característica construtiva recebem e absorvem, em algumas situações, todas as oscilações do sistema, sendo seu circuito passivo de ressonância. [7]
- A periodicidade de ensaios preventivos para detecção de possíveis falhas teve seu tempo estendido no desrespeito ao intervalo, devido ao processo de privatização e o novo modelo proposto, o que se faz cada vez mais presente a prática da MCC.
- Transformadores com mais de 50 anos ainda podem ser encontrados em funcionamento. [9]

Conforme a norma NBR 5462 da ABNT, a confiabilidade é definida como: Capacidade de um item desempenhar uma função especificada, sob condições e intervalos de tempo pré-determinados ou Característica de um item expressa pela probabilidade de que executará uma função exigida, sob condições estabelecidas e por um intervalo de tempo determinado.

São várias as causas que podem interferir na confiabilidade de um transformador dentre os quais todos estão envolvidos no que diz respeito a manutenção preventiva, considerando uma falha de caráter evolutivo, podendo ser detectado com antecedência, corrigindo ou prevendo sua indisponibilidade.

Figura 1.1 - Levantamento de falhas em transformadores realizado pelas concessionárias de energia do Brasil [9].

Figura 1.2 - Pesquisa realizada no Brasil com relação a falhas em transformadores excluindo atuações indevidas [9].

Conforme as Figuras 1.1 e 1.2, pesquisas feitas no Brasil estratificaram que as principais causas de interrupções envolvendo transformadores ocorrem devido a sua própria proteção (incluindo as atuações indevidas), comutadores sob carga, buchas e enrolamentos.

Dentre os elementos envolvidos, boa parte das atuações em transformadores é atribuída à falha da isolação de seu enrolamento.

Entretanto a falha deste equipamento leva a condição de indisponibilidade, por tempo indeterminado, até o total sinistro de um transformador dependendo das proporções da falha deste equipamento [9], conforme ilustrado na Figura 1.3.

Figura 1.3 - Total sinistro de um transformador - falha de isolação [10].

Mediante as informações apresentadas notamos a necessidade de um acompanhamento criterioso das condições de operação de um transformador, objetivando a identificação de falhas ainda incipientes e que poderão ser tratadas se houver ferramentas suficientes a indicar a localização de tais anomalias, internas ao transformador, sendo este o foco deste trabalho.

1.5 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

A segurança operativa do Sistema Interligado Nacional é garantida mediante a definição de procedimentos comuns a serem seguidos pelos diferentes grupos integrantes do referido sistema. Esses procedimentos, muitos dos quais se materializam na forma dos Procedimentos de Rede, consolidam um conjunto de diferenciadas práticas que garantem a boa e segura operação dos sistemas elétricos de potência existentes, bem como aqueles frutos de suas expansões.

Dentre as boas práticas preconizadas nos sistemas elétricos de potência de excelência, destacam-se aquelas relacionadas à manutenção. As práticas e procedimentos envolvidos na manutenção, seja esta preventiva, preditiva ou corretiva, são orientados visando uma redução de interrupções não-programadas do fornecimento de energia elétrica.

Pensando no setor de transmissão, tema no qual essa proposta de pesquisa se enquadra, tais orientações resultam em uma maior disponibilidade do sistema que, por sua vez, incide diretamente na parcela variável a ser deduzida daquela receita anual alocada para cobrir desligamentos não-programados. Em outros dizeres, tem-se a constatação, pelo modelo de setor elétrico vigente, que as boas práticas de manutenção impactam diretamente na receita das empresas de transmissão de energia elétrica.

Considerando tal contexto, e de forma alinhada ao modelo de setor elétrico e com as necessidades latentes identificadas na CTEEP, propõe-se então o desenvolvimento de um Sistema Especialista. Conforme o título do projeto reflete, assim como os demais itens constituintes do descritivo dessa proposta esclarecem em detalhes, teve-se a meta de se desenvolver, ao longo da pesquisa, um sistema computacional constituído de tecnologias inteligentes que auxilie no diagnóstico de avarias em transformadores de transmissão submetidos a esforços eletromagnéticos severos.

Por esforços eletromagnéticos severos entende-se uma vasta gama de fenômenos como, por exemplo, os curtos-circuitos acontecidos nas proximidades do transformador (ou mesmo em suas buchas), curtos-circuitos nas linhas de transmissão conectadas aos barramentos do transformador, falha operativa de disjuntores que decorram em desbalanços expressivos, além de ocorrências internas ao próprio transformador.

Em função da natureza construtiva dos transformadores, quando da ocorrência desses fenômenos eletromagnéticos, tais equipamentos se encontram sujeitos a condições extremas que podem resultar em incidência de pontos quentes e movimentação de suas partes ativas. Somando-se a essas duas possibilidades, têm-se ainda as sobretensões que são observáveis em muitos dos fenômenos citados. Esses efeitos combinados nas suas mais diferentes formas desencadeiam um grande número de falha em transformadores.

Quando em operação, essas falhas evoluem, gradualmente ou intempestivamente, podendo resultar na perda do transformador e indisponibilidade do sistema de transmissão. Além da perda do transformador, outros prejuízos, inclusive de gravidade superior, podem ser enumerados e desses destacam-se aqueles que atentam contra a vida humana e outros que decorrem em danos ambientais severos. Esses prejuízos são plausíveis de consideração, uma vez que, dependendo da falha e de seu modo evolutivo, pode-se culminar em incêndios e explosões.

Atentado com a gravidade que a não identificação de avarias prematuras podem decorrer, torna-se então imperativo a adoção de procedimentos que conduzam ensaios nos transformadores submetidos a condições eletromagnéticas severas antes que os mesmos sejam colocados em serviço novamente.

De maneira mais específica, os ensaios que serão conduzidos são aqueles de isolamento, de fator de potência da isolamento, da relação de transformação e de análise dos gases dissolvidos no óleo mineral isolante do equipamento. Esses ensaios objetivam, em linhas gerais, identificar falhas na isolamento do transformador.

Contudo, há de se observar que a tensão na qual esses ensaios são conduzidos, na ordem de 10 kV e não muito mais superior do que isso, se distancia de maneira significativa da tensão nominal de muitos dos transformadores de transmissão. Em sistemas de transmissão, pensado em termos de potência nominal, são expressivos os transformadores com tensão nominal igual ou superior 440 kV.

De fato, mesmo em transformadores com tensão inferior, raros são os casos de tensão inferior a 138 kV. Essa constatação resulta no diagnóstico errôneo das condições de funcionamento de transformadores que foram submetidos a esforços eletromagnéticos severos. Ou seja, dependendo da severidade da avaria, a mesma pode, ainda assim, ter uma isolamento tal que, mediante os ensaios em tensões na ordem de 10 kV, acuse bons resultados.

Contudo, essa mesma avaria, quando submetida às condições reais de operação, pode evoluir e culminar nos indesejáveis prejuízos já citados. Contornando essa limitação dos ensaios mencionados, têm-se então aqueles ensaios com tensão induzida. Tais ensaios são realizados com valores de tensão iguais ou muito próximos da tensão nominal do equipamento; porém, assume-se uma frequência superior aos habituais 60 Hz do sistema brasileiro.

A frequência empregada é, em geral, de até três vezes a nominal. O objetivo com essa prática é fazer com que a corrente de magnetização seja reduzida e, assim, a potência associada aos equipamentos de ensaio sejam expressivamente reduzidos se comparados, por exemplo, com os equipamentos destinados aos ensaios de tensão aplicada. A redução na potência elétrica necessária faz com que esses equipamentos sejam organizados em arranjos possíveis de serem transportados, viabilizando-se então ensaios adicionais (on-site) em transformadores submetidos a esforços eletromagnéticos severos.

1.6 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Com as mudanças que vêm ocorrendo no setor elétrico, há um especial interesse das companhias de transmissão de energia elétrica em aperfeiçoar e definir estratégias para manutenção dos seus transformadores de potência.

Propostas que permitam identificar falhas em tais equipamentos devem conter ferramentas que permitam contemplar análises de naturezas elétricas, físico-químicas e também acústicas, não somente com o transformador em laboratório, mas quando de sua operação em situações normais de alimentação.

Neste sentido, nota-se que uma diversidade de trabalhos tem sido conduzidos com o intuito de principalmente identificar as falhas internas em transformadores de potência. Neste caso, empregam-se normalmente a análise de gases dissolvidos ou a análise por emissão acústica [16].

Em alguns trabalhos pode ser observado o desenvolvimento de ferramentas para o monitoramento de sensores, no entanto, pouco pode ser verificado sobre o emprego de ambos os tipos de sensores num mesmo trabalho. Isto provavelmente deve-se ao fato do custo atrelado à aquisição destes dispositivos ser elevado. Outro fator que deve ser ressaltado é o crescente uso de ferramentas inteligentes para a obtenção da identificação e localização das falhas internas.

Nota-se que este crescente emprego de ferramentas inteligentes se deu devido ao fato de que as técnicas convencionais nem sempre conseguem atingir altas taxas de precisão para a identificação das falhas. Um dos trabalhos proeminentes da área e que faz um comparativo entre ferramentas inteligentes e convencionais pode ser verificado em [11], em que os autores propõem um método baseado na obtenção de regras de associação que melhor realize a análise de gases dissolvidos e garanta uma identificação de falhas satisfatória.

Além deste trabalho, pode-se destacar [12], em que os autores fazem uma análise mais detalhada dos gases (quando relacionado ao trabalho anteriormente comentado). Nesta análise são consideradas 10 classes de falhas, a saber: descargas parciais; falhas térmicas maiores que 150° ; falhas térmicas maiores que 150° e menores que 200° ; falhas térmicas maiores que 200° e menores que 300° ; sobreaquecimento de cabo; corrente no tanque ou no núcleo de ferro; sobreaquecimento de contatos; descargas de baixa energia; descargas de alta energia; centelhamento contínuo (fenômeno luminoso que resulta na ruptura da rigidez dielétrica por descarga através do óleo isolante); e descarga parcial na isolação sólida. Cabe comentar que o método aplicado neste trabalho baseou-se em um sistema de inferência fuzzy que, depois de testado sob condições controladas de falhas, foi também testado em transformadores de transmissão de subestações húngaras, onde apresentou bom desempenho frente às situações de falhas não-controladas.

No entanto, os trabalhos anteriormente comentados [11] e [12] apresentam uma lacuna no que diz respeito ao diagnóstico de falhas internas para transformadores de potência, pois, apenas identificam o tipo de falha e não localizam as descargas parciais para que possa ser realizada uma manutenção mais precisa do equipamento.

Com o intuito de melhor fornecer um diagnóstico de falhas para transformadores de potência, alguns trabalhos fizeram uso de sensores de emissão acústica para localizar as falhas devidas às descargas parciais. Dentre estes trabalhos, destaca-se [18], onde os autores propõem uma análise geométrica dos tempos de chegada dos sinais de emissão acústica para que possam ser devidamente localizadas as fontes de descargas parciais.

O diagnóstico do estado e das condições de operação dos transformadores é de fundamental importância na operação confiável e econômica dos sistemas elétricos de potência. O envelhecimento e desgaste dos transformadores determinam o fim de sua vida útil, na medida em que a ocorrência de falhas e/ou problemas crescentes de manutenção comprometem a

confiabilidade/disponibilidade funcional do equipamento. Desta forma, conhecer os mecanismos de deterioração, e dispondo de meios tecnicamente significativos e economicamente aplicáveis, permite correlacioná-los com a evolução dos equipamentos em serviço [11].

Mesmo com o aprimoramento das ferramentas de diagnóstico preventivo, conforme delineado em [11-21], o transformador de transmissão pode ser acometido por uma grande variedade de falhas, tais como relatado em [12], e que devido a sua natureza aleatória, acaba por danificar o equipamento [22].

De fato, o que se espera após o reparo de um transformador de transmissão é que o mesmo possa ser colocado em serviço o mais rápido e seguro possível, tendo-se em vista que sua retirada para manutenção foi efetuada sob condições de falhas.

Neste contexto, verifica-se que a maioria dos equipamentos para diagnósticos elétricos utilizam tensões abaixo da nominal do transformador, sendo que o ideal seria a utilização da tensão nominal (ou superior) e também com frequências acima de 60 Hz, conforme pode ser delineado em [23-27].

Os autores de [23] afirmam que, apesar dos ensaios de isolação empregar a frequência nominal do sistema, devem ser aplicadas tensões entre 2.73 e 3.46 vezes a tensão nominal, sendo imperativo se manter a frequência também mais elevada a fim de que a densidade do núcleo fique dentro dos valores normais, ao passo que a corrente necessária para energização seja mínima.

Nas condições exemplificadas por [23], os transformadores necessitam serem removidos de seu local de atuação e ensaiados em ambientes específicos e preparados, sendo esta situação pouco desejável atualmente devido ao elevado número de transformadores pertencentes às companhias, passando-se facilmente da casa de centenas de unidades, as quais estão alocadas de forma dispersa em sua região de concessão.

Sobre esta constatação, destaca-se o trabalho desenvolvido em [24], em que os autores propõem uma nova gama de ferramental móvel destinado aos transformadores de potência até 500 MVA. Apesar de a proposta contemplar tensões e frequências maiores que a nominal, sua maior limitação encontra-se no fato de não haver possibilidade de realização de ensaios sob carga, além de não agregar outros mecanismos de ensaios, como aqueles físico-químicos e também acústicos.

Ainda sobre a realização de ensaios sob carga, destacam-se os desenvolvimentos apontados em [25], em que os autores fazem uma explanação sobre a importância de tais testes. Apesar das medições resistivas dos transformadores utilizarem processos off-line, sem a necessidade de abertura do tanque principal de óleo, naqueles equipados com dispositivos comutadores de tap sob carga, ou OLTC (On-Load Tap Changer), as medições de resistências podem informar o nível de degradação ou outros defeitos do comutador.

As fontes geradoras de efeito corona são geralmente detectadas por meios acústicos, sendo que o fato do sinal apresentar alguns microvolts é um fator complicador em situações onde não se consegue energizar o transformador com tensões e frequências acima da nominal, pois em tais condições o conjunto como um todo pode apresentar vibrações mecânicas que comprometem a aquisição acústica (quando em 60 Hz) [26].

Segundo apontamentos destacados em [27], ensaios de suma importância para verificação da isolamento do transformador em situações críticas demandam tensões de até 50% superiores a nominal, sob uma frequência de 200 Hz, a fim de que uma detecção de alta performance seja alcançada.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver todas as ferramentas inteligentes, integradas por sistemas de suporte à decisão de diagnósticos também desenvolvidos, que permitam o completo diagnóstico de avarias em transformadores de transmissão submetidos a esforços eletromagnéticos severos. Como variáveis para o processo de diagnóstico, tal sistema receberá os resultados de ensaios de isolamento e de tensão induzida. Desta forma, um resultado único e definido sobre a presença de anomalias em um transformador deverá ser apresentado identificando o tipo de falha, o nível de criticidade e a possível localização para o seu devido tratamento.

O uso desta ferramenta aumentará o grau de certeza sobre o diagnóstico das condições de operação sobre aquele que é considerado o principal equipamento de uma subestação. Todas estas condições colaborarão para a redução da indisponibilidade não programada de transformadores, obtendo com isso o melhor aproveitamento da receita prevista sobre estes ativos e que são repassados pela Agência Reguladora - ANEEL.

1.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A organização dos capítulos desta dissertação está como se segue.

O Capítulo 2 descreve a necessidade e os métodos para a identificação de falhas incipientes em transformadores devido a sua importância operacional no Sistema Elétrico.

O Capítulo 3 comenta sobre as ferramentas disponíveis e utilizadas para o desenvolvimento de um sistema especialista para a detecção e diagnóstico de falhas em transformadores.

O Capítulo 4 apresenta o sistema especialista adequadamente desenvolvido para a detecção de falhas em transformadores, sua interface, particularidades intuitivas e de aprendizagem.

O Capítulo 5 informa sobre a originalidade do desenvolvimento do trabalho, a sua capacidade de aplicação e obtenção de resultados, bem como a assertiva condição de diagnósticos que minimizem os impactos causados pela indisponibilidade dos equipamentos e assim justificando a necessidade da continuidade dos trabalhos relacionados a este assunto.

Como informação complementar, no decorrer do período de mestrado, os seguintes trabalhos foram publicados em anais de congressos científicos:

- SILVA, Ivan Nunes, FLAUZINO, Rogério Andrade, SPATTI, Danilo Hernane, GONZALES, Carlos Guilherme, BONFIN, Thiago Samuel, CARRAPATO, Marcelo Aparecido, COSTA, Paulo Izídio. Sistema Especialista Para Análise Integrada de Ensaio Experimentais Visando Diagnóstico de Transformadores de Transmissão. Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (CD-ROM // Paper No. SBSE2014-0191 // 06 Páginas), 2014.
- FLAUZINO, Rogério Andrade, SILVA, Ivan Nunes, GONZALES, Carlos Guilherme, COSTA, Paulo Izídio, BONFIN, Thiago Samuel, CARRAPATO, Marcelo Aparecido. Sistema Fuzzy Robusto a Incertezas para Avaliação Integrada de Ensaio em Transformadores de Potência. Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (CD-ROM // Paper No. SBSE2014-0222 // 06 Páginas), 2014.

Capítulo 2

Principais Aspectos Relacionados aos Ensaios de Transformadores de Potência Visando a Detecção de Falhas

2.1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescente aumento da demanda energética nacional, a qual está diretamente associada às alterações regulamentares do setor elétrico, há o crescente interesse e preocupação com relação aos aspectos que dizem respeito à confiabilidade e à qualidade do fornecimento de energia elétrica. Seguindo este contexto, pode-se destacar o desenvolvimento de metodologias dedicadas à detecção, localização e predição de falhas referentes a todos os segmentos do sistema elétrico, abrangendo desde o setor da geração, passando pelo setor da transmissão e chegando até o setor da distribuição da energia elétrica. Em geral, a ocorrência de falhas dentro de cada um destes setores acarreta em efeitos indesejáveis, tais como a interrupção do fornecimento de energia elétrica e o desencadeamento de perturbações transitórias, as quais podem danificar equipamentos dos consumidores, impor prejuízos econômicos ao sistema produtivo, inutilizar equipamentos do sistema elétrico, afetar quesitos de qualidade de fornecimentos, etc.

Dentre os diversos equipamentos instalados junto ao sistema elétrico, os transformadores de transmissão destacam-se pela sua importância operacional e por constituírem um ponto crítico do sistema. Desta maneira, diante da inoperância de um transformador de transmissão, inúmeros clientes, sejam consumidores residenciais ou industriais, poderão ficar privados do fornecimento de energia elétrica, o que acarretaria, em grande parte dos casos, em prejuízos financeiros.

Diante desta premissa, diversas pesquisas têm sido realizadas com o intuito de buscar por novas metodologias que sejam eficientes na detecção de falhas em transformadores de transmissão, sendo que um dos principais motivos é o alto custo associado tanto à aquisição de

um novo transformador como à manutenção do mesmo. Por meio da análise da literatura correlata, pode-se verificar e destacar alguns métodos de ensaio de transformadores de transmissão visando à detecção de falhas, a saber: análise dos gases dissolvidos no óleo isolante [28-32], ensaios de relação de espiras [33] e ensaios de tensão induzida [34-35].

As abordagens de detecção de falhas em transformadores por meio da análise da concentração dos gases dissolvidos no óleo isolante do equipamento baseiam-se na constatação de que as falhas, tais como as descargas parciais, as descargas de alta energia, os efeitos corona, os sobreaquecimentos, dentre outros, interagem com o óleo isolante do transformador e, a partir desta interação, o óleo sofre alterações na sua composição química e nas suas propriedades físicas. Em geral, estas alterações são acompanhadas do desprendimento de gases que por apresentarem volumes ínfimos acabam por se dissolverem no óleo isolante. Através de ensaios cromatográficos realizados no óleo isolante, obtêm-se então os valores volumétricos dos principais gases que estão dissolvidos no óleo.

Além dos ensaios cromatográficos realizados com o óleo isolante, destacam-se também os ensaios físico-químicos feitos no mesmo. Através destes ensaios, diversas características físico-químicas do óleo isolante são levantadas. Dentre as propriedades físico-químicas de maior interesse (dentro do contexto de análise do óleo isolante) destacam-se o exame de cor, da densidade, da rigidez dielétrica, da tensão interfacial, do teor de água, do índice de neutralização e do fator de potência do óleo. Todos os ensaios físico-químicos mencionados podem ser realizados no próprio local de instalação do transformador, sendo que grande parte dos ensaios pode também ser realizado com o equipamento em funcionamento.

Ademais, podem ser destacados outros dois tipos de ensaios, os quais se fazem extremamente importantes no que diz respeito ao diagnóstico de transformadores de transmissão de energia elétrica. Estes ensaios são conhecidos como: ensaio de relação de espiras e ensaio de tensão induzida. Os ensaios de relação de espiras têm por objetivo diagnosticar o transformador em relação ao seu enrolamento (primário e/ou secundário), onde é verificada a relação entre as espiras do lado de alta e baixa tensão do transformador sob análise. Já os ensaios de tensão induzida são empregados quando da necessidade de se realizar testes dielétricos (em campo) nos transformadores de potência. Entretanto, deve-se destacar que os ensaios de tensão induzida podem ser distintos dependendo da classe do transformador ao qual deseja aplicar o ensaio. As características detalhadas de cada um dos ensaios supracitados serão respectivamente comentadas nas Seções 2.2, 2.4 e 2.5.

Por fim, é importante comentar que os ensaios em transformadores de potência (com óleo isolante) devem respeitar as recomendações do IEEE [36], as quais são apresentadas por meio da Tabela 2.1.

Ensaio	500 kV ou menor			501 kV ou maior		
	Rotina	Projeto	Outros	Rotina	Projeto	Outros
Medidas de resistência de todos os enrolamentos sobre a tensão nominal do <i>tap</i> e até os limites do <i>tap</i>		X		X		
Resistência de isolamento dos enrolamentos			X	X		X
Resistência de isolamento do núcleo			X	X		X
Teste de relação	X			X		
Polaridade e relação de fase	X			X		
Fator de potência			X	X		X
Controle de perdas			X			X
Excitação monofásica			X			X
Perdas sem carga e excitação de corrente a 100% e 110% da tensão nominal e também para a frequência nominal	X		X	X		X
Tensão sobre impedância e perda de carga em corrente nominal e frequência nominal		X	X	X		
Tensão sobre impedância de sequência zero						X
Aumento de temperatura		X	X		X	X
Testes dielétricos de baixa frequência	X			X		
Teste dielétricos ao impulso de descargas atmosféricas		X	X		X	X
Teste dielétricos do chaveamento do impulso, fase-terra						X
Teste dielétrico de descargas parciais			X	X		X
Som audível		X	X		X	X
Capacidade de curto-circuito		X				X
Análise de gases dissolvidos no óleo				X		X
Testes mecânicos		X			X	

Tabela 2.1 – Recomendações para ensaios em transformadores de potência com isolamento a óleo.

Com relação aos ensaios que levam em consideração a resistência dos transformadores de potência, normalmente, são realizados para transformadores com potência menor ou igual a 2500 kVA. Já os ensaios que consideram tanto a resistência quanto as perdas de carga podem ser omitidos para transformadores com potência igual ou menor que 500 kVA. Os ensaios que consideram o impulso de uma descarga atmosférica são dados como ensaio de rotina para transformadores de potência de classe II.

Deve-se destacar que para os ensaios relacionados na Tabela 2.1, faz-se necessário conectar e energizar o transformador de potência sob condições de tensão e frequência nominais de operação e sem carga. Os elementos do transformador que possam gerar ruídos devem encontrar-se operando de forma correta.

É importante ressaltar que dentre todos os ensaios citados na Tabela 2.1, sua grande maioria são destinados a transformadores de potência empregados no âmbito da transmissão de energia elétrica.

Após esta breve análise sobre os tipos de ensaios que são passíveis de serem realizados em transformadores de potência, observou-se que um sistema ideal para o diagnóstico de um transformador de transmissão precisaria empregar as vantagens de cada método, explorando-se suas eficiências ao mesmo tempo em que se busca sanar suas deficiências. Dentre todos os métodos de ensaio citados destacam-se os ensaios de tensão induzida, bem como a análise de relação de espiras, pois, do ponto de vista operacional, estas análises podem ser realizadas no local de instalação do transformador. Isto é diferente, por exemplo, da análise de gases que muitas vezes depende de uma análise cromatográfica e, portanto, faz-se necessário coletar uma amostra do óleo para que seja analisado em laboratório.

Devido aos diversos tipos de ensaios que podem ser realizados e também pela complexidade relacionada ao diagnóstico do transformador, esta torna-se uma área potencial para a aplicação de sistemas inteligentes, os quais, neste caso, são empregados na forma de ferramenta de apoio à decisão.

2.2 ENSAIOS REALIZADOS EM ÓLEOS ISOLANTES

A função do óleo isolante em um transformador é propiciar isolamento elétrico e permitir a transferência de calor (refrigeração) entre suas partes componentes. Como isolante elétrico, o mesmo deve substituir o ar entre as partes ativas, preenchendo todos os espaços vazios, e oferecer alta rigidez dielétrica e baixa condutividade elétrica. Atuando como meio de transferência térmica, o óleo isolante deve conduzir de maneira adequada a energia térmica das partes ativas do transformador ao meio de dissipação a fim de que a temperatura interna de funcionamento permaneça em níveis nominais de operação.

O óleo mineral isolante, comumente utilizado em transformadores, é obtido pela destilação fracionada do petróleo natural. Sua composição e características dependem da natureza do petróleo do qual foi extraído e do processo empregado na sua preparação. Dependendo do petróleo, o óleo isolante pode possuir base parafínica ou possuir base naftênica. Os óleos isolantes de base parafínica são chamados de óleo parafínico e os de base naftênica, de óleo naftênico.

Até o ano de 1920, o óleo parafínico possuía amplo uso, porém tinha aplicações restritas em regiões de inverno rigoroso, pois detinha um baixo ponto de fluidez. Desta forma, o óleo parafínico foi substituído pelo óleo naftênico, pois o ponto de fluidez deste a uma temperatura de -40°C permitia seu uso em regiões de inverno rigoroso. Entretanto, devido à escassez de petróleo naftênico (3% das reservas mundiais), o uso de óleo parafínico se torna cada vez maior. Para contornar as limitações advindas principalmente de seu ponto de fluidez, alguns aditivos foram desenvolvidos de maneira a permitir que este tipo de óleo possa ser empregado em regiões de invernos rigorosos [30].

Atualmente, a PETROBRAS recomenda o óleo parafínico em aplicações nas quais os níveis de tensão dos transformadores sejam inferiores a 69 kV. O emprego de óleos isolantes de base parafínica também é crescente na Europa e nos Estados Unidos. Como exemplo da aplicabilidade dos óleos isolantes de base parafínica tem-se na Espanha o emprego destes óleos isolantes em equipamentos com níveis de tensão de até 500 kV.

O óleo isolante é constituído de uma mistura de hidrocarbonetos (saturados parafínicos e naftênicos, aromáticos) em sua maioria, e de não hidrocarbonetos, também chamados de heterocompostos (compostos de Nitrogênio ou compostos de Enxofre), os quais são empregados em menores proporções.

Torna-se muito difícil concluir se um óleo é do tipo naftênico ou parafínico por meio de uma simples análise. Assim, algumas relações de composição foram propostas por [31] com o intuito de tentar melhor identificar o tipo de óleo isolante, conforme pode ser visualizado por meio da Tabela 2.2.

Hidrocarbonetos	Tipo de óleo isolante	
	Naftênico	Parafínico
Compostos aromáticos (%)	11	8
Compostos naftênicos (%)	47	29
Compostos parafínicos (%)	42	63

Tabela 2.2 – Identificação do óleo isolante pelo percentual de hidrocarbonetos.

É importante comentar que por meio da mistura de óleos minerais com características distintas, a mistura resultante terá valores característicos que representem a média de cada um dos componentes utilizados. No entanto, quando misturado óleo de más características físicas com óleos de boas características, tal mistura resultará em um óleo isolante de baixa qualidade. Estudos realizados indicam que os óleos parafínicos, criteriosamente misturados com outros tipos de óleos, decerados e adicionados de modificadores de escoamento, podem ser comparados com os tradicionais óleos naftênicos. Diversas pesquisas correlatas apontam que a melhor maneira de testar os óleos isolantes é colocá-los em serviço e acompanhar seu comportamento [31].

Em [30] é realizado um estudo detalhado acerca das propriedades físico-químicas dos óleos isolantes de transformadores. Por meio deste estudo, os autores apresentam um breve resumo sobre as principais características físicas associadas aos óleos isolantes:

- **Cor:** os óleos isolantes, quando novos, apresentam coloração entre o incolor e o amarelo, sendo comum a denominação amarela-palha. A luz solar direta e mesmo indireta age fortemente no sentido de alterar a coloração para amarelo intenso e, dependendo da intensidade e das condições climáticas, o óleo isolante pode se tornar laranja. A exposição às temperaturas elevadas resulta nos mesmos efeitos em um menor intervalo de tempo. Dependendo da severidade da exposição térmica, o óleo isolante pode ter sua coloração alterada para a tonalidade vermelha. À medida que o óleo isolante se deteriora, sua cor tende a escurecer. Uma alteração rápida da cor é uma indicação de deterioração, de contaminação ou de ambas.

- **Densidade:** a densidade relativa dos óleos isolantes encontra-se entre 0,850 e 0,900, estando mais próxima de um dos dois valores. Esta aproximação depende predominantemente do tipo de composição de hidrocarbonetos (parafínicos/naftênicos). A densidade não é significativa como fator determinante da qualidade do óleo; no entanto, pode ser útil em determinadas situações para usos específicos.
- **Viscosidade:** é a resistência que um líquido oferece ao escoamento sob uma determinada temperatura. Normalmente, a viscosidade é medida pelo tempo que uma determinada quantidade de óleo leva para ser escoada através de um orifício com dimensão pré-determinada. O efeito "refrescador", ou seja, a quantidade de calor que o óleo é capaz de transferir (por hora e por área) do transformador para o meio ambiente, depende principalmente de sua viscosidade, que por sua vez é relativamente baixa.
- **Ponto de Fulgor:** é a menor temperatura em que, sob condições prescritas de ensaio, um óleo desprende vapores que, em mistura com o ar, são passíveis de inflamação na forma de lampejo (instantâneo e que se auto extingue) quando da passagem de uma chama na superfície do óleo assim aquecido. Sua importância está relacionada ao perigo de incêndio.
- **Ponto de Fluidez:** é a menor temperatura em que o óleo ainda consegue fluir, quando ensaiado sob condições pré-estabelecidas. O ensaio ajuda na identificação do tipo de óleo, se de base parafínica ou de base naftênica, fornecendo-se certa orientação quanto às condições em que pode ser usado, ou seja, indica a menor temperatura ambiente permissível no local de instalação do transformador.
- **Ponto de Anilina:** é a temperatura em que ocorre a solubilização da mistura entre óleo e anilina. Está relacionada com a composição do óleo em termos da predominância de determinado tipo de hidrocarboneto (parafínico ou naftênico) presente no óleo. Os óleos parafínicos são mais pobres em naftênicos e aromáticos e exige uma maior temperatura de aquecimento da mistura para que ocorra a solubilização. O inverso ocorre com os naftênicos. Óleos de baixo ponto de anilina atuam negativamente de forma mais efetiva, provocando inchamento sobre vedadores a base de elastômeros ou borracha natural.

- **Tensão Interfacial:** na linha de contato das superfícies óleo-água, quando colocadas em contato estático, existe uma força de atração entre as moléculas dos dois líquidos que é a tensão interfacial comumente expressa em dyn/cm. Num óleo novo esse valor é relativamente alto, ocorrendo a diminuição por efeito de contaminação e/ou degradação, sendo, portanto, um ótimo indicador da existência de contaminantes dissolvidos no óleo.
- **Índice de Neutralização ou Índice de Acidez:** é o número de miligramas de hidróxido de potássio (mgKOH) necessário para levar à neutralidade 1 grama de óleo. Os produtos decorrentes da degradação de um óleo são sempre ácidos e o índice de neutralização é uma medida indireta do nível dessa oxidação do produto, também chamada algumas vezes de deterioração. Os primeiros produtos da degradação são os peróxidos que possuem ação catalítica sobre os hidrocarbonetos do óleo, aumentando a velocidade de oxidação, até o estágio final, constituído por ácidos. Quando o índice de acidez ultrapassa o valor de 0,25 mgKOH, a acidez do óleo aumenta exponencialmente. A isolação celulósica é afetada por esse fenômeno, deteriorando-se aceleradamente.
- **Rigidez Dielétrica:** é a medida em Volts, de tensão alternada, na qual ocorre a descarga disruptiva na camada de óleo entre dois eletrodos, sob condições de ensaio. A rigidez dielétrica é pouco afetada pela quantidade de água dissolvida no óleo; por outro lado, ela é muito afetada pela água livre em suspensão. Comparativamente, existe maior favorecimento na suspensão de água livre em óleo oxidado do que num novo. Outro fator indesejado à rigidez dielétrica é a particulação sólida, finamente dividida, em suspensão (poeira, carvão, restos de fibras celulósicas, etc.). Cabe comentar que existe interação entre essas duas formas de contaminação no efeito rebaixador da rigidez dielétrica do óleo isolante.
- **Fator de Potência:** é o cosseno do ângulo de fase ou o seno do ângulo de perdas dielétricas do óleo, o qual aumenta com a degradação do óleo. O fator de potência também representa a medida da intensidade de corrente perdida no óleo que idealmente seria completamente inerte, não interferindo na transmissão de energia. O fator de potência aumenta com a temperatura e, portanto, as comparações de testes devem ser referenciadas a uma mesma temperatura (20°C). A quantidade de substâncias polares presentes, oriundas de contaminação e/ou oxidação, também provocam um aumento do fator de potência.

De modo a realizar um acompanhamento das condições operacionais do transformador que está sob análise, recomenda-se o emprego dos ensaios apresentados na Tabela 2.3, a qual determina os ensaios pertinentes de serem realizados no óleo isolante de transformadores em concordância com suas respectivas normas.

Ensaio do óleo isolante	Normas Aplicadas
Cor	ASTM D1524/1999
Densidade	NBR 7148/1992
Tensão Interfacial	NBR 6234/1965
Teor de Água	NBR 5755/1984
Índice de Acidez Total	ASTM D974/1980
Rigidez Dielétrica	NBR 6869/1989
Fator de Potência a 20° C	ASTM D924/1999
Estabilidade à Oxidação	NBR 10504/1988
Viscosidade Cinemática	NBR 10441/1998
Ponto de Anilina	ABNT MB299/1990
Ponto de Fulgor e Combustão	ABNT MB50/1972
Grau de Polimerização em Papel Isolante	NBR 8148/2000
Análise Cromatográfica de Gases	NBR 7070/1981

Tabela 2.3 – Normas a serem aplicadas nos ensaios do óleo isolante.

Com exceção da análise cromatográfica dos gases dissolvidos no óleo, os demais ensaios podem ser feitos no próprio local de instalação do transformador. Além dos ensaios do óleo, feitos com transformador em operação, são também realizados, quando necessário, testes de isolamento, como por exemplo, fator de potência e resistência de isolamento, os quais exigem a desenergização da unidade.

2.3 DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM TRANSFORMADORES UTILIZANDO ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS

Uma vez detectado que o transformador apresenta anomalias, é necessário classificá-las. As principais metodologias para o diagnóstico das falhas são:

- Métodos IEEE (Rogers, Dornenburg e Gás Chave);
- Relação dos códigos IEC;
- Triângulo de Duval.

Uma desvantagem dos métodos (Rogers, Dornenburg e IEC) é que algumas análises cromatográficas podem resultar numa falha com valores fora do intervalo de códigos e, com isso, nenhum diagnóstico pode ser identificado. A resposta do sistema diagnóstico é, portanto, sem solução. Isto não acontece com o método do triângulo por ser um sistema fechado enquanto que os outros são sistemas abertos. Um resumo do desempenho destes métodos pode ser conferido na Tabela 2.4.

Método	% de Diagnósticos sem Solução	% de Diagnósticos Errados	% Total
Gás Chave	0	58	58
Rogers	33	5	38
Dornenburg	26	3	29
IEC	15	8	23
Triângulo de Duval	0	4	4

Tabela 2.4 – Comparação entre metodologias para o diagnóstico de falhas.

Todos os métodos apresentam guia para interpretação da DGA. Nessas normas há interpretações gráficas e numéricas (em forma de tabelas) da típica concentração de gases imersos no transformador em operação. De acordo com as normas, as duas principais causas da formação de gases no transformador são:

- Falha Térmica: Conforme a norma IEC 60599 é ocasionada pela excessiva elevação de temperatura na isolação;
- Falha Elétrica: Também conforme a norma IEC 60599 é ocasionada por descargas parciais ou elétricas na isolação.

2.3.1 Método de Rogers

Esse método é uma forma empírica para detecção de falhas, é baseada em resultados de três relações de gases:

$$\frac{CH_4}{H_2}, \quad \frac{C_2H_2}{C_2H_4} \quad e \quad \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

A Tabela 2.5 resume a classificação de falhas pelo método de Rogers. Recomenda-se o emprego de outro método de avaliação da concentração de gases em transformadores, para que possa comparar os resultados.

Falhas	Razões			
	CH_4 / H_2	$\text{C}_2\text{H}_2 / \text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6 / \text{C}_2\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2 / \text{CH}_4$
Normal	$> 0,1$ $< 1,0$	$< 1,0$	$< 1,0$	$< 0,5$
Descargas parciais do tipo corona	$\leq 0,1$	$< 1,0$	$< 1,0$	$< 0,5$
Descargas parciais corona com tracking	$\leq 0,1$	$< 1,0$	$< 1,0$	$\geq 0,5$ $< 3,0$ OU $\geq 3,0$
Descarga continua	$> 0,1$ $< 1,0$	$< 1,0$	$\geq 3,0$	$\geq 3,0$
Arco elétrico com grande dissipação de energia	$> 0,1$ $< 1,0$	$< 1,0$	$\geq 1,0$ $< 3,0$ OU $\geq 3,0$	$\geq 0,5$ $< 3,0$ OU $\geq 3,0$
Arco elétrico com pequena dissipação de energia	$> 0,1$ $< 1,0$	$< 1,0$	$< 1,0$	$\geq 0,5$ $< 3,0$
Superaquecimento para 150°	$\geq 1,0$ $< 3,0$ ou $\geq 3,0$	$< 1,0$	$< 1,0$	$< 0,5$
Superaquecimento $150 - 200^\circ\text{C}$	$\geq 1,0$ $< 3,0$ ou $\geq 3,0$	$\geq 1,0$	$< 1,0$	$< 0,5$
Superaquecimento $200 - 300^\circ\text{C}$	$> 0,1$ $< 1,0$	$\geq 1,0$	$< 1,0$	$< 0,5$
Aquecimento dos condutores dos enrolamentos	$> 0,1$ $< 1,0$	$< 1,0$	$\geq 1,0$ $< 3,0$	$< 0,5$
Circulação de corrente elétrica no núcleo ou no tanque	$\geq 1,0$ $< 3,0$	$< 1,0$	$\geq 3,0$	$< 0,5$

Tabela 2.5 – Identificação de falhas por meio do Método de Rogers.

2.3.2 Método de Dornenburg

Assim como o Método de Rogers, o Método de Dornenburg é um método empírico, no qual se sugere a existência de três tipos de falhas: térmica, corona e formação de arcos (Norma IEEE C57.104-1991). Neste método, utiliza-se como referência para classificação das falhas as relações entre concentrações de gases específicos obtidos através da cromatografia gasosa. São elas:

$$\frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{C_2H_6}{C_2H_2} \text{ e } \frac{C_2H_2}{CH_4}$$

A Tabela 2.6 resume os valores das razões com o tipo de falha associada. A Figura 2.1 representa o surgimento de uma falha incipiente utilizando o método de Dornenburg. Lembrando que esse gráfico está em escala logarítmica.

Tipo de falha	Razões			
	CH ₄ / H ₂	C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	C ₂ H ₆ / C ₂ H ₂	C ₂ H ₂ / CH ₄
Decomposição térmica	>1,0	<0,75	>0,4	<0,3
Descargas elétricas	>0,1 <1,0	>0,75	<0,4	>0,3
Corona	<0,1	Insignificante	>0,4	<0,3

Tabela 2.6 – Identificação de falhas através do Método de Dornenburg.

Figura. 2.1 – Gráfico para falha incipiente.

2.3.3 Método do Gás Chave

O Método do Gás Chave tem esse nome, pois associado a cada falha há um tipo de gás denominado gás chave. Esse método se baseia na evolução de uma falha no transformador, pois a concentração dos gases associadas à essa falha ultrapassarão os valores normais de degradação da isolação em relação aos estabelecidos em ensaio de laboratório. A Tabela 2.7 traz os perfis típicos, ou predominantes de comparação dos gases, esses valores são baseados na norma NBR 7274/1982 da ABNT.

Falha	Gás chave
Arco	Acetileno
Descargas parciais	Hidrogênio
Óleo superaquecido	Etileno
Celulose superaquecida	Monóxido de carbono
Eletrolise	Hidrogênio

Tabela 2.7 – Perfis típicos de comparação.

Para a falha de formação de arco, o acetileno é o gás chave. Neste defeito, grandes quantidades de hidrogênio e acetileno são produzidas, com pequenas quantidades de metano e etileno. Caso a falha envolva a celulose, dióxido e monóxido de carbono também podem ser formados.

As descargas parciais de baixa energia produzem hidrogênio e metano, com pequenas quantidades de etano e etileno. Quantidades comparáveis de monóxido e dióxido de carbono podem resultar de descargas em celulose. O gás chave referente às descargas parciais é o hidrogênio.

O óleo superaquecido produz etileno e metano, juntamente com quantidades menores de hidrogênio e etano. Traços de acetileno podem ser formados se a falha é severa ou se esta envolver contatos elétricos. O gás chave referente ao superaquecimento do óleo é o etileno.

A celulose superaquecida libera grandes quantidades de dióxido e monóxido de carbono e caso a falha envolva uma estrutura impregnada de óleo formarão também metano e etileno. Neste caso o gás chave é o monóxido de carbono.

A decomposição eletrolítica da água ou a decomposição da água associada com a ferrugem resulta na formação de grandes quantidades de hidrogênio (gás chave).

O método do gás chave, em geral, é empregado em situações onde se deseja obter um diagnóstico aproximado do estado do transformador, ou ainda em situações onde já exista uma estimativa do tipo de falha que está ocorrendo.

2.3.4 Relação dos Códigos IEC

Nas DGA, os códigos IEC foram estudados por décadas chegando à conclusão de que alguns tipos de gases, tais como o hidrogênio e metano, provocam descargas elétricas no OMI. Esses estudos foram aperfeiçoados quando certas relações de gases foram padronizadas.

Com isso, em 1978, a IEC criou a Relação dos Códigos IEC, onde essas relações foram classificadas e colocadas na Tabela 2.8. Códigos são então alocados de acordo com o valor obtido para cada relação e correspondendo assim a uma falha classificada conforme Tabela 2.9.

Embora esse método seja útil para avaliação do isolamento no transformador, nenhuma indicação quantitativa de probabilidade de cada falha é dada. Em casos de falhas múltiplas, gases de diferentes falhas se misturam resultando em intervalos confusos, tornando o método obsoleto.

Regiões definidas para as razões	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
< 0,1	0	1	0
0,1 – 1	1	0	0
1 – 3	1	2	1
> 3	2	2	2

Tabela 2.8 – Relação dos códigos IEC.

N°	Tipo de Falha	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
0	Condição normal	0	0	0
1	Descargas parciais com baixa densidade energética	0 (mas não significativo)	1	0
2	Descargas parciais com alta densidade energética	1	1	0
3	Descargas parciais de baixa energia	1 ou 2	0	1 ou 2
4	Descargas parciais de alta energia	1	0	2
5	Falha de temperatura baixa < 150°C	0	0	1
6	Falha de temperatura baixa 150 – 300°C	0	2	0
7	Falha de temperatura média 300 – 700°C	0	2	1
8	Falha de temperatura alta > 700°C	0	2	2

Tabela 2.9 – Classificação da falha conforme relação dos códigos IEC.

2.3.5 Triângulo de Duval

O Triângulo de Duval foi primeiramente desenvolvido em 1974 e é baseado na concentração de três gases hidrocarbonetos:

- Metano (CH_4);
- Etileno (C_2H_4);
- Acetileno (C_2H_2).

Esses três gases correspondem ao aumento de energia necessária para geração de gases nos transformadores em funcionamento. Tanto o etileno quanto o acetileno representam falhas relacionadas a altas temperaturas e altas energias (arcos); o hidrogênio representa falhas relacionadas à baixa energia (descargas parciais) onde é produzido em grande quantidade e o metano também representa falhas de baixa energia, porém em menor quantidade que o hidrogênio.

O princípio de funcionamento do critério é mais bem visualizado pela Figura 2.2, pelo qual a evolução dos gases gerados é representada por um triângulo.

Figura 2.2 – O Triângulo de Duval.

As coordenadas são definidas pela relação percentual de cada um dos gases em relação ao total de gases gerados. O critério pode identificar três falhas de origem elétrica e três falhas de origem térmica.

O triângulo é dividido em sete zonas denominadas (PD, D1, D2, DT, T1, T2 e T3), onde cada zona está associada a um tipo de falha. A Figura 2.2 relaciona cada zona à sua respectiva falha. Os três lados do triângulo são representados por coordenadas triangulares (X,Y,Z) indicando a proporção relativa de 0 a 100% para o metano (CH₄), etileno (C₂H₄) e acetileno (C₂H₂).

Fazendo (CH₄) = A, (C₂H₄) = B e (C₂H₂) = C, todos em ppm, calcula-se a soma dos três gases: $S = A + B + C$, também expresso em ppm. Então se calcula o valor proporcional relativo dos gases, em porcentagem: $X = \% \text{ CH}_4 = 100 (A/S)$, $Y = \% \text{ C}_2\text{H}_4 = 100 (B/S)$, $Z = \% \text{ C}_2\text{H}_2 = 100 (C/S)$. X, Y e Z estão necessariamente entre 0 e 100% e (X + Y + Z) tem sempre que ser igual a 100%.

Plotando X, Y e Z no triângulo resulta em apenas um ponto no triângulo e o lugar (zona) onde esse ponto cair, corresponde a um tipo de falha conforme a Tabela 2.10.

Símbolo	Falhas	Exemplos
PD	Descargas Parciais	Descargas parciais tipo corona
T1	Falha térmica em baixa temperatura: $T < 300^\circ\text{C}$	Papel mudando coloração para acastanhado quando $T > 200^\circ\text{C}$ e carbonizado quando $T > 300^\circ\text{C}$
T2	Falha térmica em média temperatura: $300 < T < 700^\circ\text{C}$	Carbonização do papel, formando partículas de carbono no óleo
T3	Falha térmica em alta temperatura: $T > 700^\circ\text{C}$	Excessiva formação de formando partículas de carbono no óleo, tornando-o com coloração metálica em $T = 800^\circ\text{C}$ e fundindo-o com $T > 1000^\circ\text{C}$
D1	Descargas de baixa energia	Descargas parciais tipo arco, induzindo à carbonização do OMI
D2	Descargas de alta energia	Descargas no papel e no óleo com poder atravessador, resultando num extensivo dano ao papel ou formação de partículas de carbono no óleo chegando a fundi-lo
DT	Mistura de falhas	Mistura de falhas elétricas e térmicas no transformador

Tabela 2.10 – Condições de falhas no Triângulo de Duval.

2.4 ENSAIOS DE RELAÇÃO DE ESPIRAS (TTR)

O ensaio TTR permite detectar a real relação de transformação do transformador, identificando se algum curto está ocorrendo entre as espiras por intermédio de falhas de isolamento. Este procedimento é realizado com o transformador desenergizado e pode apontar a necessidade de se realizar a retirada de serviço do equipamento para uma inspeção interna. A Tabela 2.11 sintetiza os principais ajustes que devem ser realizados no núcleo do transformador após análises por meio do ensaio TTR.

Resultados dos testes (V_1/V_2)	Ajustes no transformador
Diferença menor que 0,2%	Nenhuma alteração
Diferença entre 0,2% e 0,5%	Diminuir 1,0
Maior que 0,5%	Pode indicar sérios problemas com o isolamento do núcleo, necessitando de maiores testes.

Tabela 2.11 – Análise dos resultados obtidos por meio de ensaio TTR.

O ensaio TTR pode ser realizado de duas formas: pelo método *Bridge* e pelo método de medição da relação de tensão entrada/saída dos enrolamentos.

Por meio do método *Bridge*, aplica-se então uma tensão de fase em um dos enrolamentos utilizando-se o equipamento conhecido como *Bridge*, medindo-se a relação da tensão induzida neste equipamento. O procedimento é repetido para todas as fases e posições de *tap*, de maneira sequencial. Durante o processo de medição, apenas relações de transformações entre enrolamentos com o mesmo fluxo magnético podem ser medidas. Geralmente, utiliza-se uma tensão de 220 V/AC e frequência nominal da rede; entretanto, outros valores podem ser empregados.

A precisão do instrumento é de $\pm 0,1\%$. O esquema de medição pode ser conferido na Figura 2.3, já a determinação dos grupos com mesmo fluxo magnético está detalhadamente descrita em [38].

Figura 2.3 – Medição do tipo *Bridge* para realização do ensaio TTR.

O valor teórico da relação de transformação do transformador a vazio é dado pela tensão no enrolamento de alta tensão sob a tensão no enrolamento de baixa tensão. Tal relação é ajustada no transformador padrão, até que se encontre o equilíbrio com 0% de erro. O valor de desvio é calculado segundo a expressão (2.1).

$$Desvio = \frac{\text{relação medida} - \text{relação esperada}}{\text{relação esperada}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Pelo método TTR, as tensões nos enrolamentos são medidas ao mesmo tempo, para determinação da relação de transformação. Instrumentos para este fim podem ser utilizados e até medições de correntes podem ser usadas para determinação da relação de transformação. As medições devem apresentar resultados de TTR inferior a 0,5%.

Portanto, os ensaios de relação de espiras têm por objetivo a verificação da relação entre o número de espiras do lado de alta tensão do transformador e o número de espiras do lado de baixa tensão [37]. Além disso, o ensaio de relação de espiras entre enrolamentos deve ser executado com o transformador de potência sem carga e com tensão nominal de operação aplicada sobre o enrolamento que tiver o menor número de espiras. Assim, para os demais

enrolamentos deve ser aplicada uma tensão de 0,5% em relação à nominal. Ressalta-se que esta norma foi idealizada para transformadores trifásicos conectados em Y a quatro fios, isto é, considera-se o neutro. Portanto, para outros tipos de transformadores e/ou conexões deve-se realizar as devidas transformações numéricas a fim de se adequar os valores [36].

Seguindo o contexto supracitado, alguns trabalhos divulgados na literatura técnico-científica correlata puderam ser verificados com o intuito de tornar claro ao leitor as potencialidades deste tipo de ensaio. Portanto, na sequência, estes trabalhos são explanados em maior nível de detalhes.

No trabalho de [33] foi desenvolvido um protótipo para análise e teste *in loco* de transformadores de distribuição chamado TXWIN. O TXWIN permite que o usuário realize um teste do transformador sem carga, teste de perda de carga e teste de relação de transformação de forma automática via uma interface gráfica. Além disso, esta interface também contém outros testes de desempenho para transformadores, a saber: ensaio de medida de resistência, ensaio de alta tensão e ensaio de isolamento. Cabe comentar que o protótipo desenvolvido também tem a capacidade de analisar os resultados obtidos por meio dos ensaios, gerar relatórios personalizados (relacionados às análises) e armazenar os dados obtidos para cada um dos ensaios realizados em uma base de dados.

Este trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento e implementação de uma interface gráfica que possibilite ao operador a execução dos testes supracitados, tanto para transformadores de distribuição monofásicos quanto trifásicos. Além destas características, este trabalho também visa criar uma interface entre o microcomputador responsável pelas análises e os equipamentos de medição para que cada uma das medidas realizadas possa ser armazenada em uma base de dados.

É importante comentar que todos os ensaios realizados foram feitos com base nos padrões IEC76, BS171 e/ou ANSI C57. Entretanto, cabe ao usuário definir por meio da interface gráfica qual padrão será empregado para determinado ensaio.

De modo a realizar os ensaios, foram utilizadas placas de aquisição de dados com o padrão IEEE 488.2 em conjunto com uma interface GPIB. Assim, 6 rotinas de ensaios foram executadas, conforme pode ser notado na sequência:

- **Medida de resistência do enrolamento** - este ensaio consiste na medida de valores de resistência para determinar as perdas nos enrolamentos de alta e/ou baixa tensão.
- **Medidas de perda de carga e tensão na impedância** - o lado de baixa tensão é mantido com uma carga tal que apresente a tensão nominal do lado de baixa tensão, então, no lado de alta tensão é aplicada 50% da corrente da corrente nominal. As tensões e valores de potência ativa são então armazenados. Estes dados devem ser obtidos para 50% da corrente nominal e com temperatura ambiente. Assim, podem ser obtidos os valores das perdas de carga sob situação de o transformador estar experimentando uma corrente máxima e com uma temperatura de referência de 75°C por meio de cálculos.
- **Medidas de perda sem carga e medidas de corrente sem carga** - A tensão nominal do lado de baixa tensão é aplicada para seu respectivo enrolamento e as medidas de corrente e potência ativa são armazenadas. Três valores são obtidos e armazenados para a corrente sem carga e para as perdas sem carga.
- **Medidas de relação, polaridade e relação entre fases** - estes ensaios são feitos para checar a relação de transformação do equipamento, inclusive para todas as posições de *tap*. Também serve para garantir que os enrolamentos de alta e baixa tensão tenham a mesma polaridade. Além disso, serve para garantir que a relação entre fases está correta.
- **Ensaio de alta tensão** - este ensaio é realizado para verificar se a isolação entre os enrolamentos e o aterramento está correta. A tensão deve ser aplicada ao enrolamento durante 1 minuto. Assim, em condições normais, não deve haver uma descarga para o aterramento durante a realização do ensaio.
- **Ensaio de isolação** - este ensaio visa medir as seguintes resistências de isolação: entre o enrolamento de alta tensão e o aterramento – 5 kV; entre o enrolamento de alta tensão e o enrolamento de baixa tensão – 5 kV e entre o enrolamento de baixa tensão e o aterramento – 2,5 kV.

Na sequência é mostrada a Figura 2.4 que ilustra o diagrama de blocos do protótipo de ensaios.

Figura 2.4 – Sistema protótipo para ensaios de transformadores de potência proposto por [33].

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso, onde se empregou um transformador com as características apresentadas na Tabela 2.12.

Características	Quantidades / Materiais
Tipo	N90
Material do Enrolamento Primário	Cobre
Material do Enrolamento Secundário	Cobre
Potência Nominal	1000 kVA
Tensão Nominal do Primário	22 kV
Tensão Nominal do Secundário	433 V
Regulação de Tensão	2,5%
Número de <i>Taps</i>	5

Tabela 2.12 – Características do transformador utilizado por [33].

Para este estudo de caso, foram realizados todos os ensaios supracitados. Os resultados relacionados ao ensaio de relação de espiras podem ser visualizados por meio da Tabela 2.13.

# Tap	AB/an	BC/bn	CA/cn
1	92.520	92.520	92.520
2	90.300	90.290	90.310
3	88.090	88.100	88.090
4	85.870	85.880	85.880
5	83.660	83.660	83.670

Tabela 2.13 – Resultados obtidos por [33] para o ensaio de relação de espiras.

Depois de realizados todos os ensaios propostos por [33] sobre o transformador tido como piloto, verificou-se que o software desenvolvido, bem como os ensaios, atende os padrões e especificações. É importante comentar que este sistema foi instalado na *ABB Transformers Singapore* como rotina de teste de novos transformadores de potência.

2.5 ENSAIOS DE TENSÃO INDUZIDA

O ensaio de tensão induzida tem por objetivo checar o isolamento entre as fases do transformador, entre as espiras do enrolamento e também entre os terminais de entrada do enrolamento e o terra. Durante o ensaio, normalmente, uma tensão é aplicada no lado de baixa enquanto que o lado de alta é deixado aberto e aterrado em um ponto comum.

Desde que a tensão empregada durante os ensaios seja superior à tensão de operação do lado de baixa do transformador, a frequência da tensão do ensaio necessita ser no mínimo duas vezes maior que a frequência de operação para que seja evitada a sobressaturação do núcleo. A tensão de ensaio é escolhida de acordo com o enrolamento com maior tensão de operação. Também é possível realizar ensaios mantendo-se tensões próximas das operativas do enrolamento em questão.

A tensão de ensaio pode ser medida utilizando-se um divisor de tensão ou um Transformador de Potencial (TP) conectado ao lado de alta.

É importante destacar que o período de ensaio não pode ser inferior a 15 segundos, sendo o mesmo calculado de acordo com a expressão (2.2).

$$Tempo = \frac{\text{frequência de operação}}{\text{frequência de teste}} \times 120 \quad (2.2)$$

O ensaio de tensão induzida pode ser considerado bem sucedido quando nenhum surto, colapso de tensão ou aumento de corrente for observado. Os ensaios são considerados de longa duração ou curta duração de acordo com a tensão de referência de 72,5 kV, conforme descrito na norma IEC 60076-3. Em transformadores com tensão de operação igual ou inferior a 72,5 kV, medições de descargas parciais não são imperativas. Entretanto, para transformadores com tensão superior a 72,5 kV, faz-se necessária a realização de medição de descargas parciais durante o ensaio de tensão induzida.

2.5.1 Ensaios de Curta Duração Para Enrolamento Uniformemente Isolado

Neste tipo de ensaio, uma tensão trifásica simétrica é aplicada ao transformador sob teste. Normalmente, a tensão do ensaio é duas vezes maior que a tensão do enrolamento. Por medidas de segurança, a posição do *tap* do transformador sob teste deve ser apropriada para os propósitos do ensaio. As medições são realizadas no lado de baixa, conforme apresentado na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Diagrama de conexão para ensaio de tensão induzida de curta duração para transformadores com enrolamento uniformemente isolado.

É possível notar na Figura 2.5 que:

- 1 - representa o gerador síncrono;
- 2 - representa o transformador de saída do gerador;

- 3 - representa um TC empregado como amperímetro;
- 4 - representa um TP empregado como voltímetro;
- 5 - representa o transformador empregado como objeto de teste.

Na sequência, por meio da Figura 2.6, pode ser observado um diagrama temporal do ensaio de tensão induzida.

Figura 2.6 – Diagrama temporal para ensaios de tensão induzida de curta duração.

Na Figura 2.6 deve-se destacar que $A = 5$ minutos, $B = 5$ minutos, C representa o período útil de ensaio, $D \geq 5$ minutos e $E = 5$ minutos. Além disso, cabe comentar que o valor de U_m é representado pela máxima tensão de operação.

2.5.2 Ensaio de Curta Duração Para Enrolamento “Não-uniformemente” Isolado

Neste caso existem duas possibilidades de medições para transformadores trifásicos. Num primeiro cenário, realizam-se medições de descargas parciais entre fase e terra. Em um segundo modo, realizam-se medições de descargas parciais entre fases e também com o terra.

Em transformadores trifásicos, a tensão de ensaio é aplicada aos terminais de fase como uma única fase. O teste é repetido para cada fase. Assim, a tensão de ensaio prevista é aplicada uma vez a cada entrada no lado de alta. O diagrama de teste pode ser conferido na Figura 2.7.

Figura 2.7 – Diagrama de conexão para ensaio de tensão induzida de curta duração para transformadores com enrolamento não-uniformemente isolado.

É possível notar na Figura 2.7 que:

- 1 - representa o gerador síncrono;
- 2 - representa o transformador de saída do gerador;
- 3 - representa um TC empregado como amperímetro;
- 4 - representa um TP empregado como voltímetro;
- 5 - representa o transformador empregado como objeto de teste;
- 6 - representa um divisor de tensão capacitivo.

Para ensaios com tensão fase-fase, $U_2 = 1.3 \times U_m$ para os casos onde a descarga parcial estiver sendo medida concomitantemente. Em transformadores onde $U_m = 420$ kV ou 550 kV e a tensão de ensaio for igual a 460 kV ou 510 kV, o nível de tensão para as descargas parciais assume o valor de $U_2 = 1.3 \times U_m$ para ensaios com tensão fase-fase e $U_2 = 1.2 \times \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ para ensaios com tensão fase-terra.

2.5.3 Ensaio de Longa Duração para Enrolamento Uniforme e Gradual

Neste tipo de ensaio, tem-se como principal ponto focal o aterramento do enrolamento. Na sequência, é apresentado o diagrama temporal para ensaios de tensão induzida de longa duração (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Diagrama temporal para ensaios de tensão induzida de longa duração.

Na Figura 2.8 pode-se destacar que A = 5 minutos; B = 5 minutos; C é o período útil de ensaio, D = 60 minutos quando $U_m \geq 300$ kV e 30 minutos quando $U_m < 300$ kV e E = 5 minutos. O valor de U_m é representado pela máxima tensão de operação do transformador.

É importante destacar que em todos os períodos deste ensaio deve-se realizar a medição de descarga parcial. As tensões devem ser $U_1 = 1,7 \times \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ e $U_2 = 1,5 \times \frac{U_m}{\sqrt{3}}$, sendo que as medições de descargas parciais devem ser realizadas no lado de alta.

Para este tipo de ensaio, considera-se que o mesmo foi bem sucedido se nenhum surto ou colapso de tensão for verificado, bem como aumento súbito da corrente, fumaça, sons incomuns ou formação de bolhas no óleo isolante.

Destaca-se que o ensaio de tensão induzida, quando realizado concomitantemente com medição de descargas parciais, é um dos mais importantes ensaios realizados para determinar a integridade da isolação do transformador. Durante tal procedimento, enrolamentos, terminais e isolação são estressados simultaneamente à níveis considerados acima dos operativos.

Defeitos de projeto ou mesmo da manufatura podem ser caracterizados por meio de descargas parciais durante o ensaio de tensão induzida que, normalmente, são monitoradas durante todo o período de ensaio em transformadores com terminais de 115 kV ou superior.

As tensões almejadas nos ensaios são produzidas nos enrolamentos por meio de indução magnética. Uma vez que as tensões de ensaio são significativamente superiores às operativas, o núcleo normalmente satura caso a tensão esteja na frequência nominal do transformador. Desta forma, para evitar a saturação do núcleo, a frequência de teste é aumentada para um valor normalmente na faixa de 100-400 Hz.

Assim, o ensaio é normalmente feito por meio do aumento da tensão no lado de baixa, com valores capazes de induzir 1,5 vezes a tensão de operação máxima no lado de alta. Se nenhuma descarga parcial é detectada, a tensão é elevada para o nível máximo (geralmente 1,73 p.u.) por um período de 7200 ciclos na frequência de teste. A tensão é então reduzida para o nível de 1,5 p.u. e mantida durante um período de uma hora. Este teste é descrito graficamente na Figura 2.9.

Figura 2.9 – Diagrama temporal para ensaios de tensão induzida durante a detecção de descargas parciais.

Nos EUA as medições de descargas parciais são realizadas utilizando-se detectores fundamentados em RIV (*Radio Influence Voltage*), os quais detectam sinais gerados no espectro de rádio frequência (em μV) quando da ocorrência de descargas parciais. Durante o período de 1h, as leituras de descarga parciais são realizadas a cada 5 minutos. Os critérios para um teste bem sucedido são os seguintes:

- A magnitude da descarga parcial não pode exceder 100 mV (500 pC);
- Depois que o nível da descarga estabilizar, qualquer aumento não pode ser superior a 30 mV (150 PC);
- Os níveis de descargas parciais durante o período de 1h não mostram uma tendência crescente;
- Não existe um aumento sustentado do nível de descarga parcial durante os últimos 20 minutos do ensaio.

O circuito de teste para medição de descargas parciais durante o ensaio de tensão induzida é mostrado na Figura 2.10.

Figura 2.10 – Diagrama esquemático para medição de tensão induzida com descargas parciais.

A capacitância é conectada a uma unidade de impedância de acoplamento, que fornece sinais de descargas parciais para a unidade de detecção. Se houver nível significativo de descargas parciais durante o ensaio, é desejável identificar e localizar a fonte do distúrbio no interior do transformador.

Seguindo o contexto acima delineado, os autores de [35] apresentam os procedimentos necessários para o projeto e construção de um circuito para ensaio de tensão induzida em transformadores de potência. Além do ensaio de tensão induzida, foram realizadas medidas de perdas e ensaios de tensão aplicada, os quais se basearam no IEC 60076-3. Para que os ensaios fossem devidamente conduzidos, empregou-se um inversor de frequência trifásico com um range de frequência entre 0 e 200 Hz. Entretanto, também foram usados uma unidade de compensação, um transformador de adaptação e um filtro passivo de alta tensão para os testes de tensão induzida. Cabe comentar que estes ensaios foram especificados e realizados para transformadores de potência a serem instalados em subestações de distribuição de energia elétrica.

Com relação aos requisitos mínimos para a realização dos ensaios de tensão induzida, um fator que deve ser devidamente verificado é a demanda de potência ativa e reativa, pois, a mesma depende dos parâmetros do transformador a ser ensaiado e também da frequência, conforme pode ser visualizado por meio da Figura 2.11.

Figura 2.11 – Sistema protótipo para ensaios de transformadores de potência proposto por [35].

De acordo com o IEC 60076-3, a frequência de teste deve ser ajustada para pelo menos 100 Hz de forma a precaver a saturação do transformador. Durante os ensaios realizados pelos autores deste artigo, os mesmos empregaram uma frequência de 150 Hz. Na sequência (Figura 2.12), um diagrama elétrico é apresentado de forma a melhor representar os ensaios propostos.

Figura 2.12 – Sistema protótipo para ensaios de transformadores de potência proposto por [35].

Por meio da Figura 2.12, é possível notar que o inversor de frequência constitui no bloco de entrada do sistema de teste, podendo ter sua frequência ajustada entre 0 e 200 Hz. Na saída do inversor de frequência é alocado um autotransformador; na sequência, é alocado um transformador que tem a função de equalizar os níveis de tensão das três fases. Após estas etapas, um conjunto de capacitores, um transformador sem isolamento a óleo para altas correntes e indutâncias, sendo as últimas, junto com os capacitores, responsáveis por trabalhar como um filtro passa-baixas. Por fim, entre o filtro passa-baixas e o transformador a ser ensaiado são alocados dois transdutores que, neste caso, são transformadores de tensão e corrente.

Capítulo 3

Aspectos Envolvendo o Ambiente de Desenvolvimento do Sistema Especialista

3.1 INTRODUÇÃO

Há 10 anos, a Microsoft lançou uma nova linguagem: o Visual Basic. O Visual Basic abriu as portas do desenvolvimento para Windows, tornando-o muito mais fácil, muito mais ágil e produtivo. E isso foi o que o colocou como líder no mercado de ferramentas e linguagem de desenvolvimento para Windows. O Visual Basic .NET abriu outra porta: O desenvolvimento para a Web, estendendo o desenvolvimento RAD já existente (para o Windows) para a grande rede e permitindo aos mais de 3 milhões de desenvolvedores da linguagem transferir sua experiência no desenvolvimento das tradicionais aplicações para o desenvolvimento de aplicações Web mais escaláveis e robustas.

No movimento natural do desenvolvimento de aplicações, o próximo passo é a web. Eis que surgem problemas relevantes: escalabilidade, o acesso a componentes na web, que somente pode ser feito através do ASP, o próprio "Debug" da aplicação é.

Tendo em vista a grande habilidade do .NET em tratar tais problemas, tal ferramenta fora escolhida para suportar o sistema especialista desenvolvido, agora em linguagem comercial e com todos os recursos mais atuais á confecção de software. A seguir serão apresentados conceitos introdutórios sobre este ambiente de desenvolvimento, começando pela definição de Framework para .NET.

3.2 NET FRAMEWORK

O .NET Framework é uma coleção de serviços e classes. Existe como uma camada entre as aplicações desenvolvidas e o Sistema Operacional e aí se tem um conceito poderoso: É independente de Sistema Operacional. E assim você terá verdadeiramente aplicações VB.NET "cross-plataform".

Neste aspecto destaca-se o “Common Language Runtime”, pois é o maior dos componentes do .NET Framework. Dada a sua estrutura, o CLR provê ao desenvolvedor um número muito grande de benefícios, como tratamento de exceções, segurança, "debugging" e versionamento, disponível para qualquer linguagem desenvolvida sobre o CLR. Quando um compilador compila para o CLR, seu resultado é chamado de "Managed Code" (Código Gerenciado), que nada mais é do que um código que usufrui das vantagens do CLR. Para o Runtime trabalhar com código gerenciado, este código precisa conter metadados (Metadata), que são criados durante o processo de compilação. Estes metadados são armazenados com o código compilado e contém as informações relativas a tipos, membros e referências no código.

Entre outras coisas, o CLR utiliza os metadados para localizar classes, carregar classes, gerar código nativo e segurança. O CLR também gerencia a vida dos objetos, retirando-os da memória quando todas as suas referências desaparecem, através de um processo batizado como Garbage Collection (Coletor de Resíduos).

O ótimo é o código onde se gerencia todos os acessos a objetos e memória, podendo alocar e liberar conforme seu desejo. Porém incorre num risco alto de ter algum tipo de esquecimento e consequente dano ao sistema, como um vazamento de pilha. Sob o prisma de um Desktop, o dano pode ser pequeno, agora se for um servidor os danos são maiores.

Com GC não se incorre desse risco, pois o CLR é o responsável. O CLR também define os tipos padrões a serem utilizados por todas as linguagens CLR. Com isto passa a ter apenas um tipo de Inteiro (`Int`) ou Longo (`Long`) ou `Strings`. Isso abre uma poderosa porta à interoperabilidade plena entre as linguagens. Ao estar se desenvolvendo parte da aplicação em Visual Basic e seu colega do lado trabalhando em Visual C# ou Visual C++ ou qualquer outra linguagem gerenciada pelo CLR, tem-se um ambiente cooperativo. Após "compilado", para proceder a instalação do seu código, simplesmente arrasta-se o objeto até a máquina alvo ou simplesmente o copia para o local, como nos "bons tempos" do DOS.

3.2.1 Execução gerenciada

O Visual Basic .NET somente trabalha de modo gerenciado. Todo o código por ele gerado é gerenciado. Mas como esse código é gerado? O que compõe o resultado entre a compilação pelo VB.NET e o uso do código?

Um dos mais interessantes aspectos do .NET é quando o código é compilado. Se antes, gerava-se o código nativo da máquina, agora isso não acontece mais. Seu código ao ser "compilado" é traduzido para o MSIL (Microsoft Intermediate Language) ou IL (Intermediate Language).

O compilador também cria juntamente com ele os "metadatas" necessários e coloca-os junto com o componente (no mesmo pacote, digamos assim) e tem-se então um IL independente de CPU.

Uma vez estando num arquivo (IL e Metadata), tem-se o chamado "Portable Executable" ou "Physical Executable", que é, conseqüentemente, auto descritivo, eliminando a necessidade de "type library" ou interfaces específicas de acesso (IDL).

Quando ele for executado, ele será transformado em código nativo para aquela plataforma onde residir. O código não mais é interpretado, mas sim compilado, para a plataforma (e aí se entenda CPU) onde ele está funcionando. Essa compilação se dá através de outra ferramenta do CLR: o Just-In-Time (JIT) Compiler.

Com o código compilado, você tem as vantagens do framework associadas com o baixo nível de gerenciamento de memória e segurança.

3.2.2 Executando seu Código

Ao contrário do que pode pensar, seu código não é totalmente compilado na primeira vez que é executado. Ao invés disso, o JIT vai compilando-o a cada método que é acessado, compilando cada fragmento conforme a necessidade, uma única vez. Assim, todas as chamadas subsequentes acessarão o código já compilado. Ou seja, conforme você precisar, o JIT pega o MSIL criado e o converte para código nativo, apenas na primeira vez que é executado.

3.2.3 Assemblies

Uma das novas estruturas criadas pelo VB.NET. Um Assembly é uma coleção de um ou mais arquivos binários, que compõe a sua aplicação. Podem ser desde as classes criadas pelo desenvolvedor até "Resource Files", imagens ou qualquer outro arquivo binário que esteja associado com o seu código. Podem ser estáticos (static) ou dinâmicos (dynamic).

O primeiro refere-se ao Assembly que é criado e armazenado no seu disco, enquanto o segundo é criado em tempo de “runtime” e, normalmente, não é guardado em disco.

Um assembly representa a unidade para “deployment”, controle de versão, reutilização e segurança. O assembly contém o manifest, que contém os metadados (metadata) necessários, como classes, tipos utilizados e referências necessárias contidas no IL. Finalizando, um ponto importante: todos os “runtimes” de aplicações são compostos por um ou mais assemblies.

Na teoria, um manifesto é igual às “Type Library” das COM DLLs. O manifesto contém todas as informações sobre os itens num assembly, incluindo tudo o que exposto ao mundo. Ele também informa todas as dependências existentes no seu assembly para com outros assemblies. Cada assembly requer um manifesto. Um manifesto contém: Nome do Assembly, Versão, Arquivos que o compõe, referências. O desenvolvedor pode ainda customizar atributos para o assembly, como por exemplo, uma descrição. Para poder visualizar um “manifest” ou assembly utilize a ferramenta ildasm.exe (MSIL Disassembler)

3.2.4 O Global Assembly Cache (GAC)

O GAC é o local onde você coloca seus componentes quando quer que múltiplas aplicações utilizem o mesmo componente. Porém as vantagens são muitas: tendem a ter uma performance maior, porque o “runtime” encontra-o mais facilmente e não precisa ficar checando as regras de segurança cada vez que o assembly é carregado. Assemblies somente podem ser adicionados ou removidos do GAC por um usuário com privilégio de administrador. Outra grande vantagem é que você pode ter várias versões do mesmo assembly ao mesmo tempo no GAC. Isto ocorre porque não é mais necessário registrar o componente.

Os tipos comuns de sistema especificam os tipos suportados pelo Common Language Runtime (CLR). Incluem as Classes (definição de como será um objeto, propriedades, métodos e eventos), Interfaces (definição de quais funcionalidades uma classe implementará, mas sem código de implementação), “Value Types” (tipos definidos pelo usuário, passados por valor), “Delegates” (similiar aos ponteiros do C++, usados para manipulação de eventos e retornos).

Possui a definição das regras necessárias para qualquer compilador gerar um código 100% compatível com as outras linguagens do framework.

3.2.5 .NET Framework Class Library

É onde se encontram os objetos já criados e possíveis de serem acessados por qualquer linguagem .NET. Possui desde os tipos de dados primitivos do sistema, funções de acesso I/O, acesso a dados, segurança e tudo o mais necessário para suportar as aplicações desenvolvidas.

Dentro desse ambiente, tem-se outra grande novidade no ambiente do VB.NET: o uso de “Namespaces”. “Namespaces” é o agrupamento lógico e hierárquico de classes e membros. Dessa forma, você pode ter o mesmo nome de método em mais de um “namespace”. Ou seja, o método “CreateGenerator” existe tanto no “Namespace” Microsoft.VisualBasic quanto do Microsoft.CSharp.

A grande vantagem dos “Namespaces” é que funções similares podem ser agrupadas dentro do mesmo “namespace”, independente do assembly ao qual estão fisicamente localizados.

Em VB, componentes compilados criam sua respectiva biblioteca de tipos, definindo o que está no mesmo, como classes, interfaces, propriedades, métodos e eventos. A comunicação ocorre através de uma interface binária, em nível de COM. Infelizmente aí reside um grande problema, pois uma linguagem pode esperar como parâmetros tipos de dados e estruturas que não estão disponíveis para outras linguagens.

O .NET Framework tenta resolver isso através da compilação adicional dos dados dentro de todos os assemblies. Estes dados adicionais são os chamados metadata e que permitem aos componentes já compilados interagirem naturalmente. Dessa forma, nós temos a perfeita integração entre as linguagens. Seu armazenamento nos componentes é realizado de forma binária, contendo todos os tipos, membros e referências para um arquivo ou assembly.

3.2.6 Interoperabilidade entre Linguagens

Uma das grandes promessas do COM era a independência de linguagem. Você pode construir um componente em VB e acessá-lo em C++ ou J++ e vice-versa. O que poucos desenvolvedores VB sabem é que isso só é possível porque o compilador implementa as interfaces IUnknown e IDispatch. Sem isso não se tem verdadeiramente um COM. Ainda assim, a interoperabilidade entre as linguagens dá-se somente em nível binário, ou seja, existe somente em “runtime”.

Com o .NET tudo é diferente. A verdadeira interoperabilidade existe. Uma parte de um sistema, por exemplo, pode estar sendo desenvolvida em um computador, em Visual Basic e seu colega ao lado, desenvolvendo parte em Visual C#. E você pode acessar o componente que ele está escrevendo, não apenas a nível binário, mas estar realizando o "Debug" passo-a-passo da aplicação, onde você estará passando pelo código escrito por ele e voltando ao seu.

3.3 TRATAMENTO DE VARIÁVEIS

Aqui estão três exemplos que mostram a vantagem da sintaxe do Visual Basic .NET.

```
Dim x As Integer = 10
Dim obj1 As Class1 = New Class1
Dim obj2 As New Class2
```

Note que, ao contrário das duas primeiras linhas, a última linha neste exemplo é uma sintaxe válida tanto no Visual Basic 6.0 como no Visual Basic .NET. Entretanto, é importante observar que essa sintaxe é tratada diferentemente no Visual Basic .NET. Com o Visual Basic 6.0, muitos desenvolvedores experientes depreciam essa sintaxe porque ela resulta numa inicialização mais vagarosa, que pode causar um desempenho mais lento e pode também dificultar a depuração de uma aplicação.

A boa notícia é que essa sintaxe não causa uma inicialização vagarosa no Visual Basic .NET e, portanto, não apresenta os mesmos problemas. Ao olhar o exemplo anterior, você pode notar que a terceira linha, que usa a sintaxe válida no Visual Basic 6.0, é efetivamente a mesma que a linha anterior a ela. Quando você usa a sintaxe nessa forma, o objeto começa criado e inicializado e, depois, é atribuído para sua variável antes que a linha seguinte comece a ser executada.

A nova e útil sintaxe de inicialização pode também ser usada para campos dentro da definição de uma classe ou de uma estrutura. Como você pode provavelmente supor, a sintaxe se parece com isso:

```
Class Class1
    Private Field1 As Integer = 10
    Public Field2 As Class1 = New Class1
End Class
```

Note também que quando você declarar várias variáveis na mesma linha, elas sempre têm o mesmo tipo. Veja esse exemplo:

```
Dim x, y, z As Integer
```

As três variáveis estão definidas como inteiras. Não há mais a preocupação com as duas primeiras variáveis serem definidas acidentalmente como variantes. De fato, nunca houve preocupação sobre qualquer variável ser definida como uma variante porque esse tipo não faz parte do modelo de programação de CLR. O tipo universal agora é o `System.Object`.

Como é o caso de outras línguas tais como C, a instrução `Return` pára a execução do método e retorna o controle para atrás, ou seja, para quem o chamou. A instrução `Return` é muito mais conveniente do que o que você era forçado a usar em versões mais antigas do Visual Basic. Como você recordará, em versões mais antigas um valor de retorno é passado para quem o chamou atribuindo-o ao nome da função dentro do corpo da função. Com a instrução `Return` do Visual Basic .NET, você muda o nome de uma função ou cópia e cola o código de um método para outro sem a necessidade procurar através do corpo da função e mudar cada ocorrência do nome da função.

3.3.1 Removendo Inconsistências

O Visual Basic .NET não requer e não permite que você use a palavra-chave `Set` ao atribuir um objeto a uma variável da referência. Este é um ponto em que os compiladores para Visual Basic 6.0 e Visual Basic .NET entram em discordância total. Examine o seguinte código:

```
Dim obj1, obj2, obj3, obj4 As Class1
obj1 = New Class1
obj2 = obj1
Set obj3 = New Class1
Set obj4 = obj3
```

A segunda e a terceira linhas representam um código válido no Visual Basic .NET, porém resultam em erros de tempo de execução quando compiladas em Visual Basic 6.0. A quarta e quinta linhas representam um código que é válido em Visual Basic 6.0, porém não compilarão no Visual Basic .NET.

Outra mudança sintática que aumenta o assunto de migração é o uso de parênteses na passagem de parâmetros. Durante anos, muitos programadores acostumaram-se às regras e exclusividades de se chamar uma função contra as de se chamar um procedimento. A equipe do Visual Basic .NET decidiu que era hora para uma mudança que promovesse maior coerência.

As regras de passagem de parâmetros no Visual Basic .NET são muito simples. Sempre que uma função ou um procedimento é chamado, certamente quem o solicita irá passar um ou mais parâmetros, os parâmetros devem ser passados entre parênteses. Ao chamar uma função ou um procedimento que não necessite de nenhum parâmetro, o uso do parêntese é opcional. Também é importante notar que a convenção padrão para a passagem de parâmetro mudou.

Em todas as versões anteriores do Visual Basic, `Param1` é passado por referência. Isso significa que a execução de `Method1` poderia fazer uma mudança a este parâmetro inteiro que seria vista por quem o chamou. No Visual Basic .NET, a convenção padrão de passagem de parâmetro foi mudada para `ByVal`. Isso significa que uma cópia de `Param1` é passada à execução de `Method1` e as mudanças nunca são visíveis a quem o chamou. Esta mudança na convenção padrão de passagem pode obviamente quebrar a semântica de algum código escrito em Visual Basic 6.0 quando este for convertido para Visual Basic .NET.

Note que o parâmetro que está sendo passado no exemplo anterior é do tipo `Value`. Os tipos primitivos como `Byte`, `Integer`, `Double` e `Boolean` são todos exemplos de `Values`. Enumerações e estruturas definidas pelos usuários são também exemplos `Values`. Os exemplos de tipo `Value` são sempre copiados quando são passados como `ByVal`.

As coisas funcionam muito diferentes quando se está passando os parâmetros baseados em tipos de classe. Os parâmetros baseados em classes são tipos de referência ao contrário dos tipos de valor. Eles são usados para passar referências de objetos. Por exemplo, se ao se chamar um método passando uma referência de objeto como parâmetro do tipo `ByVal`, a execução do método pode mudar o estado do objeto. Esta mudança no estado seria visível a quem chamou o método. Em consequência disso, é muito importante fazer a distinção entre tipo de valor e tipo referência quando você estiver projetando parâmetros que devem ser declarados como `ByVal` ou como `ByRef`.

Enquanto o uso opcional de parâmetros ainda for permitido em métodos, este será um ponto que requer uma atenção especial. Ao contrário do Visual Basic 6.0, o uso opcional de parâmetros requer agora um valor padrão. Seguindo as mesmas linhas, o Visual Basic .NET não

suporta a função `IsMissing`. Isto significa que não se pode diferenciar entre uma chamada que omita o parâmetro e uma chamada que passe o valor padrão como parâmetro.

3.3.2 Níveis Superiores de Tipos Seguros

A maioria dos desenvolvedores que são sérios defensores do Visual Basic inclui a instrução `Option Explicit` no topo de todo arquivo fonte baseado no Visual Basic. O uso do `Option Explicit` sempre separou verdadeiros desenvolvedores de usuários ocasionais. Ao contrário das versões anteriores, o Visual Basic .NET habilita a opção `Option Explicit` por padrão.

`Option Strict` é outra característica de tempo de compilação que é habilitada como padrão no Visual Basic .NET. A característica `Option Strict` rejeita conversões limitantes implícitas. Uma conversão limitante é uma conversão que poderia resultar na perda de dados ou de precisão. Exemplo:

```
Dim x As Double
x = 20.1
Dim y As Integer
' conversão limitante implícita
y = x ' não compila sob o Option Strict
```

Este código compila em Visual Basic 6.0. Entretanto, não compila no Visual Basic .NET quando o `Option Strict` está habilitado. O `Option Strict` reforça uma política na qual o programador deve deixar clara a finalidade de cada tipo. Uma conversão explícita permite que o programador diga ao compilador, "Eu sei que há uma conversão limitante, mas eu não espero que isso seja um problema". Aqui está como reescrever o código anterior de modo que compile:

```
Dim x As Double
x = 20.1
Dim y As Integer
' conversão limitante explícita
y = CInt(x) ' compila sob o Option Strict
```

Outra grande mudança na linguagem é que a instrução `If` agora é “curto circuitada”. Isto representa uma valiosa otimização, mas novamente é importante entender como isso poderia interromper o código baseado em Visual Basic 6.0 quando transferido para o Visual Basic .NET.

Os novos tipos seguros reforçados por `Option Strict` requerem que você trabalhe exclusivamente com valores booleanos quando você usa blocos com, por exemplo, instruções `If` e loops com `Do`.

Quando utilizar operadores lógicos de comparação como `Not`, `And`, `Or`, e `Xor`, você também estará restrito a usar valores booleanos como entrada e saída. Isso é diferente das versões anteriores do Visual Basic onde estes operadores poderiam ser usados tanto para comparações lógicas quanto para comparações bit a bit. Aqui está outro exemplo de código que compila em Visual Basic 6.0, mas resulta em um erro de tempo de execução de conversão no Visual Basic .NET.

```
Dim x As Integer
Dim y As Integer
Dim z As Integer
x = 3
Y = 6
z = x And y ' não compila
```

O Visual Basic .NET fornece quatro novos operadores de comparação bit a bit: `BitNot`, `BitAnd`, `BitOr`, e `BitXor`. Estes operadores permitem que você execute operações de comparação de bits de forma segura quanto aos tipos. Por exemplo, você usaria um desses operadores para fazer um `OR` nos bits de dois valores inteiros ou aplicaria uma máscara de bit. Aqui está um exemplo de como usar `BitOr` e `BitAnd`:

```
Dim x As Integer = 3
Dim y As Integer = 6
Dim z As Integer
' OR bits juntos
z = x BitOr y ' z agora igual a 7
' AND para encontrar intersecção de bits
z = x BitAnd y ' z agora igual 2
```


3.3.3 Programando Matrizes

Houve uma mudança razoavelmente dramática à sintaxe fundamental para declarar e usar matrizes. Primeiramente, as matrizes são sempre baseadas em zero. Aqui está aqui um exemplo simples:

```
' declarar uma matriz com 3 elementos de 0 a 2
Dim array1(3) As Integer
array1(0) = 2
array1(1) = 4
array1(2) = 8
```

Se a matriz do exemplo anterior fosse declarada em Visual Basic 6.0, ela teria quatro elementos com as posições que variando de 0 a 3. No Visual Basic .NET, essa matriz tem três elementos com as posições variando de 0 a 2. Sob o Visual Basic .NET seu código experimentará uma exceção em tempo de execução se tentar acessar um elemento na posição 3 na matriz mencionada anteriormente.

A maneira que as matrizes são tratadas pelo tempo de execução subjacente é totalmente diferente. No CLR, as matrizes são sempre alocadas como objetos baseados em empilhamento. Quando você adiciona um parâmetro a um método baseado em um tipo de matriz, significa que você está passando uma referência de objeto ao contrário de passar uma cópia da matriz.

Note que você pode executar uma operação de ordenação em qualquer matriz contanto que o tipo da matriz seja baseado na execução da interface `IComparable`. Tipos centrais do CLR tais como o `Integer`, `Double`, `String`, e `Date` foram projetados para serem executados na `IComparable`.

Se você quiser ordenar matrizes baseadas em seus tipos personalizados, você necessita simplesmente implementar a interface `IComparable` em suas próprias classes e estruturas.

3.3.4 Uma nova sintaxe para propriedades

Embora as motivações para usar as propriedades sejam exatamente as mesmas, a sintaxe para defini-las mudou. Propriedades agora são definidas em termos de uma propriedade de construção que tem um bloco `Set` e/ou um bloco `Get`. O código seguinte é um exemplo de uma classe com um campo confidencial e uma propriedade pública:

```
Class Class1
    ' campo privado
    Private m_Name As String
    ' propriedade publica
    Public Property Name As String
        Get
            Return m_Name
        End Get
        Set
            If Value <> "" Then ' valor é uma variável interna
                m_Name = Value
            End If
        End Set
    End Property
End Class
```

Observe que o bloco `Set` contém uma variável interna chamada `Value`. O Visual Basic .NET usa essa variável interna para passar o valor da propriedade determinada pelo cliente para a implementação da propriedade dentro do bloco `Set`.

Note também que com o Visual Basic .NET, não há nenhuma confusão sobre quando usar a propriedade `Set` contra a propriedade `Let`.

Uma propriedade pode ser `ReadWrite`, `ReadOnly` ou `WriteOnly`. O exemplo mostrado anteriormente demonstra uma propriedade `ReadWritre`. Os exemplos seguintes mostram como criar uma propriedade `ReadOnly` e `WriteOnly`, respectivamente.

```

' Uma propriedade ReadOnly possui Get mas não possui Set
Public ReadOnly Property FullName as String
    Get
        Return m_FirstName & " " & m_LastName
    End Get
End Property

' Uma propriedade WriteOnly possui Set mas não possui Get
Public WriteOnly Property Password as String
    Set
        m_Password = Value
    End Set
End Property

```

3.3.5 Propriedades Indexadas e Propriedades Default

Uma propriedade pode ser definida com uma ou mais indexações. Isso permite a uma propriedade exibir matrizes – como qualidade. Por exemplo, veja a classe seguinte:

```

Class Class1
    Private m_Names As String() = {"Ted", "Fred", "Jed"}
    ' uma propriedade indexada
    Readonly Property Item(Index As Integer) As String
        Get
            Return m_Names(Index)
        End Get
    End Property
End Class

```

Do lado do cliente, você pode acessar a propriedade Item com o seguinte código:

```

Dim obj As New Class1
Dim s1 String
s1 = obj.Item(0)

```

Levando esse exemplo um passo mais adiante, você pode marcar uma propriedade de indexação como uma propriedade default para uma classe.

Uma vez marcada uma propriedade de indexação com a palavra-chave `Default`, o código do lado do cliente pode omitir o nome da propriedade e usar uma referencia de objeto como se fosse uma matriz:

Uma importante restrição com relação às propriedades `default` é que, caso uma propriedade não tenha nenhuma indexação não pode ser marcada como uma propriedade `default`.

3.4 MULTITHREADING EM AÇÃO COM VB .NET

Para entender o que é uma thread precisa-se, primeiro, compreender o que é um processo. O processo é: “uma instância única de uma aplicação que está sendo executada. Cada processo tem pelo menos uma thread primária que executa o código dentro do processo. Podem ser criadas threads adicionais em um processo, limitadas apenas pela memória RAM”. Em outras palavras, processo é um programa executável carregado em memória e uma thread é a forma utilizada pelo sistema operacional para executar o código do programa.

Uma thread executa código em um processo. Cada thread possui sua pilha de execução (espaço usado para controle de chamadas a funções e valores de variáveis). Threads dentro de um mesmo processo compartilham o mesmo espaço de endereçamento. Uma thread também possui registradores associados a ela, sendo o registrador mais conhecido o ‘ponteiro de instruções’. O conjunto de registradores de uma thread é conhecido como ‘contexto’.

Em termos menos técnicos, pode-se dizer que uma thread é uma unidade de execução dentro de um processo compreendendo um ponteiro de instruções (que indica ao sistema operacional qual a próxima instrução a ser executada) e alguma informação de contexto específica da thread.

O relacionamento entre processos e threads fica claro na representação gráfica apresentada na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Processos e Threads

Se um processo tem apenas a thread primária, ele é chamado de single-threaded. Se possui mais de uma thread é chamado de multithreaded. Em programas com múltiplas threads ativas, várias porções de código estarão sendo executadas ao mesmo tempo.

O Visual Basic .Net permite que se criem aplicações multithreaded através da declaração de um objeto do tipo Thread, que é associado a uma função específica. Quando a função termina sua execução, a thread é destruída. Os principais métodos para controlar a execução de uma thread são: `Start`, `Stop`, `Suspend`, `Sleep( )`, `Resume` e `Abort`.

A multithread é considerada atualmente como uma das principais vertentes para o desenvolvimento de níveis avançados de programação, pois tem como objetivo utilizar ao máximo a performance fornecida principalmente pelas máquinas que possuem dois ou mais núcleos de processamento.

3.5 TRATAMENTO DE ERROS

Outra grande vantagem que a plataforma .NET apresenta diz respeito ao tratamento de erros, com a estrutura do tipo `Try`.

Quando um erro ocorre, esta é a ordem de execução realizada:

1. Quando é detectado um erro dentro de uma estrutura `Try`, o controle é passado para a instrução `Catch` apropriada;
2. As instruções dentro deste `Catch` são executadas (<instruções do catch>);
3. O controle é passado para a instrução `Finally` e suas respectivas instruções são executadas. Se nenhuma instrução `Catch` for apropriada para o erro, as instruções `Finally` são executadas diretamente;
4. Por fim, é passado o controle para a instrução `End Try`. Se não houver uma instrução `Finally`, o controle é passado diretamente para a instrução `End Try`.

É importante notar que quando o Visual Basic detecta um erro é gerado um objeto `Exception` (ou uma classe derivada deste objeto). Através dos vários tipos de objetos `Exceptions` é que você poderá criar os “Catches” apropriados para cada tipo de erro que deseja tratar. Apenas uma das instruções `Catch` será executada.

3.5.1 Os tipos de objetos `Exception` e sua utilização

Na Tabela 3.1 pode-se notar que é possível especificar uma variável como sendo de um determinado tipo (type). Na verdade, o type pode conter um objeto `Exception`, ou uma classe derivada deste objeto. Se você não especificar qual o tipo de objeto `Exception`, o Visual Basic assumirá como sendo do tipo `Exception`, o que o privará de especificar um `Exception` mais adequado e o seu controle de erros ficará mais “pobre”.

Objeto <code>Exception</code>	Descrição
<code>OleDbException</code>	Armazena informações sobre os erros do ADO.Net
<code>ApplicationException</code>	Armazena informações sobre erros gerais de aplicação
<code>COMException</code>	Armazena informações sobre erros de interoperabilidade COM
<code>IOException</code>	Armazena informações sobre erros de I/O (file system errors)
<code>SqlTypesException</code>	Armazena informações sobre erros do ADO.Net, quando são utilizados objetos do SQL
<code>SystemException</code>	Contém informações sobre erros de sistema
<code>XMLException</code>	Contém informações sobre erros XML

Tabela 3.1 – Tipos mais comuns de objetos `Exception`

Através da variável especificada dentro do `Catch` você pode acessar as propriedades e métodos do objeto `Exception` especificado. Os tipos mais comuns de objetos `Exception` podem ser vistos na tabela 3.1.

Todos os objetos da tabela 3.1 são objetos que herdam as características do objeto geral Exception.

Quando você define uma variável como sendo do tipo Exception, ou de uma classe derivada, você passa a ter acesso às propriedades e classes desse objeto. Na Tabela 3.2 têm-se os principais tipos de propriedades do objeto Exception.

Propriedade	Descrição
HelpLink	Uma string que contém uma referência a um arquivo de help associado com o erro
Message	Uma string contendo a descrição do erro
Source	Uma string que contém o nome da classe ou aplicação que gerou o erro
StackTrace	Uma string que descreve como esta rotina foi chamada
TargetSite	Um objeto que faz referência à classe MethodBase, contendo informações sobre o método que gerou o erro

Tabela 3.2 – Principais propriedades do objeto Exception

A Microsoft criou uma grande quantidade de classes que herdaram a classe Exception. Se você identificar a classe específica do objeto já será o suficiente para identificar a causa do erro, sendo elas listadas na Tabela 3.3.

Método	Descrição
GetBaseException	Retorna um objeto referenciado ao objeto de exceção interna
ToString	Retorna o nome completo desta exceção, a mensagem de erro e o nome da exceção interna.

Tabela 3.3 – Principais métodos do objeto Exception.

Maiores detalhes envolvendo a tratativa de erros no VB .NET pode ser conferido em [39].

3.6 ARMAZENAMENTO ISOLADO

As aplicações hoje têm necessidade de armazenar dados "centrados-no-usuário" tais como preferências e estados das aplicações. Entretanto, se você é um desenvolvedor e já tentou implementar esta característica multiusuário você sabe que isso não é tão simples assim; determinar onde e como armazenar esses dados é de fato muito complexo. A menos que o nome e a localização dos arquivos de armazenamento sejam cuidadosamente escolhidos, esse dado

pode tornar-se corrompido por outras aplicações que estejam tentando acessá-lo ou sobrescrevê-lo com os seus próprios dados.

Determinar um local seguro para o armazenamento de dados privados dos usuários tem sido problemático e propenso a erros. Mas o .NET oferece uma solução para este problema na forma de Armazenamento Isolado (Isolated Storage).

O armazenamento isolado é a habilidade de isolar os dados da aplicação por credenciais únicas, tais como usuário, assembly e domínio de aplicação. Isto assegura que cada aplicação e cada usuário daquela aplicação terá um local único para armazenar os seus dados. A utilização do mecanismo de armazenamento isolado do .NET fornece um mecanismo de armazenamento consistente para todas as aplicações .NET e também poupa o desenvolvedor da dor de cabeça de desenvolver o seu próprio framework de armazenamento. Um benefício particularmente útil do mecanismo de armazenamento isolado é que ele desacopla a localização dos dados, o compartimento dos dados, do próprio dado, o armazenamento, permitindo que o desenvolvedor suporte armazenamento de dados multiusuário transparentemente.

3.6.1 Cenários de Uso

O armazenamento isolado é provavelmente mais comumente usado por aplicações Windows e Web para o armazenamento do estado da aplicação e das preferências dos usuários. Embora estes tipos de aplicação possam usar este mecanismo exatamente da mesma forma, ele é particularmente importante para aplicações Web, pois elas não podem usar classes de I/O. Assim, a maioria das outras opções de armazenamento não está disponível. De forma similar, controles gerenciados (controles baixados) também não têm permissão de usar classes de I/O e assim devem contar com o armazenamento isolado para persistir os dados. O armazenamento isolado também é uma alternativa viável ao uso de um banco de dados para persistir configurações de usuários e dados da aplicação quando o número de usuários não é muito grande ou quando existe um overhead significativo com o acesso ao banco de dados.

Mesmo sendo útil o armazenamento isolado não é apropriado para ser usado em todos os cenários. Por exemplo, os dados dentro de um depósito isolado não estão protegidos de código altamente confiável, código não gerenciado ou de usuários confiáveis. Isto o torna um mecanismo inadequado para o armazenamento de dados seguros ou valiosos.

3.6.2 Conceitos: Compartimentos e Depósitos de Dados

De fato, estes são os dois únicos conceitos a serem lembrados quando se está trabalhando com armazenamento isolado, assim, uma definição de cada um deles deve ser feita. Um compartimento de dados é uma abstração associada com algum aspecto único da identidade do código, tal como seu strong name, publisher, web site, etc. O compartimento de dados não é uma localização de armazenamento específica, mas sim um container para um ou mais depósitos.

Um depósito é um arquivo físico de armazenamento isolado que contém detalhes de implementação tais como a localização do diretório onde o dado existe. Ele expõe um sistema de arquivos virtual dentro do compartimento de dados. Antes de nós nos aprofundarmos no código e verificarmos as classes de armazenamento isolado, vamos dar uma olhada nos tipos de isolamento que podem ser desenvolvidos usando estas classes. Entender estes detalhes de projeto de antemão assegurará que nós implementemos a solução de armazenamento isolado apropriada para a nossa aplicação.

3.6.3 Sombras de Isolamento

Os dados das aplicações podem ser isolados em uma de duas formas: ou por usuário e assembly ou por usuário, assembly e domínio. O isolamento por usuário e assembly é apropriado quando múltiplas aplicações precisam acessar o mesmo depósito de dados. Por exemplo, se você desenvolve uma suíte de aplicações onde todas usem as mesmas configurações de preferência ou informações de licenciamento.

A única advertência quando utilizando este mecanismo de isolamento é que o código deve ser confiável a fim de transferir informações entre aplicações. O segundo mecanismo de isolamento, isolamento por usuário, domínio e assembly é apropriado para aplicações stand-alone que requerem um depósito de dados privado. Os dados somente podem ser acessados por código de um assembly específico.

Além disso, o dado está disponível somente para a aplicação que estava executando quando o assembly criou o depósito e somente quando executado pelo usuário para quem o depósito foi criado. Este tipo de isolamento é apropriado para a maioria das situações, podendo ser combinados com um perfil de usuário ambulante permitindo que um usuário leve suas preferências de aplicação e seus dados para qualquer computador em uma rede com roaming.

3.6.4 Classes de Armazenamento Isolado

Existem três classes que tratam com o armazenamento isolado: `IsolatedStorageFile`, `IsolatedStorageFileStream` e `IsolatedStorageScope`. O objeto `IsolatedStorageFile` representa um depósito único localizado no sistema de arquivos. O seu propósito é prover gerenciamento de assembly, arquivo e diretório. A `IsolatedStorageFileStream` provê acesso para os arquivos no depósito.

Capítulo 4

Sistema Especialista para Análise Integrada de Resultados

4.1 INTRODUÇÃO

O sistema de análise integrada de ensaios, denominado CTEEP A2ITrafo, fora elaborado modularmente, assim, com o passar do tempo à medida que novas necessidades forem surgindo, a ferramenta pode evoluir. Sua principal inovação é a capacidade de integração de análises de ensaios, idealizada com inteligência em banco de dados.

Tal paradigma hoje se enquadra nas mais modernas filosofias de desenvolvimento de software. Na tela apresentada na Figura 4.1 tem-se a mensagem de alerta de login, avisando que as informações que serão processadas pelo software estarão registradas para seu usuário e computador.

Figura 4.1 – Tela de alerta de informações de login.

Em seguida, o usuário tem acesso à tela da figura 4.2, que se trata da tela introdutória do software. Clicando-se em “Iniciar CTEEP A2ITrafo – Análise Integrada Inteligente de transformadores” o usuário terá acesso aos menus de funcionamento da ferramenta.

Figura 4.2 – Tela de Abertura.

Outros diferenciais do CTEEP A2ITrafo já podem ser conferidos em sua interface gráfica simplificada e também na sua interdependência de sistema, podendo ser instalado em qualquer companhia. Tais informações podem ser constatadas na tela da Figura 4.3.

Figura 4.3 – Abas de acesso.

Na Figura 4.3 é possível observar 5 abas de funcionamento completo do software. Sua simplicidade de acesso aos menus de contexto são medidas fundamentais para a execução de treinamentos rápidos de familiarização.

Por meio da aba “Constituição institucional” é possível ao usuário proceder com inclusão, alteração ou exclusão das informações da Companhia, Departamento Regional e Subestações. Clicando-se em “Companhia / Incluir” na aba destacada na Figura 4.3, o usuário terá acesso à tela da Figura 4.4. O nome da companhia então deverá ser preenchido para armazenamento das informações dos ensaios.

A inserção seguinte refere-se ao “Departamento Regional” pertencente à companhia, tal como exemplificado nas Figura 4.5 e Figura 4.6.

Figura 4.4 – Incluir companhia.

Figura 4.5 – Departamento Regional.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Cadastro de subestação

Nome da companhia/concessionária: Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Pauli

Departamento Regional:

Inserir Departamento Regional Cancelar

Figura 4.6 – Inserção de informações de Departamento Regional.

O cadastro de Subestações pode ser acompanhado por meio da Figura 4.7. Ao clicar-se em “Subestações / Inserir” o usuário terá acesso à tela da Figura 4.8 onde se pode observar a normatização para cadastro de nomes, e siglas. A Companhia e o Departamento Regional ficam disponíveis por meio de menus suspensos, uma vez que são informações de cadastro prévio.

CTEEP: Ferramentas Inteligentes Para Diagnósticos em Transformadores de Transmissão Submetidos a Esforços Eletromagnéticos Severos

Constituição institucional Recursos humanos Equipamentos Ensaio Ajuda

Companhia

Departamento Regional

Subestações

Propriedades da conexão com base de dados

Sair

Institucionais

Pessoais

Inserir

Alterar

Excluir

Família

Código

Posição

Fabric

Data de Fabricação

Número de :

Figura 4.7 – Subestações.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Cadastro de subestação

Nome da companhia/concessionária: Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Pauli

Departamento Regional: OB

Subestação: Bauru

Sigla da subestação: BAU

Inserir subestação Cancelar

Figura 4.8 – Incluir Subestações.

4.2 ABA DE RECURSOS HUMANOS

Uma vez cadastradas as informações iniciais dos ensaios é possível passar para a próxima aba do CTEEP A2ITrafo, onde o manejo das informações de recursos humanos encontra-se disponíveis. Uma das funcionalidades do software também é a de gerir toda a base de ensaios da companhia, assim as informações de “Engenheiro Responsável” e “Executado por” são imprescindíveis ao cadastro. Tais itens podem ser visualizados na Figura 4.9.

Clicando-se em “Engenheiro Responsável / Inserir” o usuário poderá cadastrar o “Nome”, “Número funcional” e selecionar de qual “Companhia/concessionária” pertence o engenheiro responsável, tal como exemplificado pela Figura 4.10.

Figura 4.9 – Recursos humanos.

Figura 4.10 – Cadastro de Engenheiro Responsável.

Prosseguindo no cadastro de profissionais na aba de Recursos humanos é possível, por meio do acesso “Executado por / Inserir” da tela da Figura 4.11 identificar o responsável pela execução do ensaio, bem como suas competências, tal como apresentado na tela da Figura 4.12.

Figura 4.11 – Cadastro de Executado por.

Figura 4.12 – Inserção de informações e competências de Executado por.

4.3 ABA DE CADASTRO DE EQUIPAMENTO

Esta aba também faz parte da sintonização inicial do software, pois somente equipamentos cadastrados poderão ter ensaios e análises cadastradas. Observa-se na Figura 4.13 três linhas de cadastro: “Família de equipamentos”, “Transformador/Autotransformador/Reator” e “Nota de manutenção”.

Clicando-se em “Família de equipamentos / Inserir” o usuário terá acesso à tela da Figura 4.14, onde poderá selecionar a companhia, identificar a nova família de equipamentos e tecer comentários gerais a respeito deste novo cadastro.

Figura 4.13 – Aba de Equipamentos.

Figura 4.14 – Cadastro de Família de equipamentos.

Na Figura 4.15 é possível acompanhar o cadastro de novos transformadores/autotransformadores/reatores.

Observa-se do lado superior esquerdo da tela, por meio de menus suspensos, as informações de identificação da companhia, departamento regional, subestação e família de equipamentos, todas previamente cadastradas.

No lado superior direito encontram-se as informações patrimoniais do equipamento.

Na parte inferior da tela encontra-se o detalhamento técnico do equipamento, onde o usuário poderá selecionar se é monofásico ou trifásico, 2 ou 3 enrolamentos e também as tensões potências e tipo de conexão de cada enrolamento. Pode-se observar que as seções de detalhamento são separadas por delimitadores de agrupamento de informações, facilitando a identificação de menus e caixas de inserção de texto.

A finalização deste cadastro, clicando-se em “Inserir transformador” habilita este dispositivo para a gestão e análise de ensaios.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Dados cadastrais de transformador/autotransformador/reator

Companhia: Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista(CTEEP)

Dep. Regional: 08 Código SAP: 000000

Subestação: Bauru(BAU) Fabricante: TESTE

Família: Família 01 Trafo 1MVA Data de Fabricação: 21/01/2015

Posição: TESTE Posição Número de série:

Tipologia do equipamento

☒ Transformador ☐ Autotransformador ☐ Reator

Dados dos enrolamentos

2 Enrolamentos 3 Enrolamentos ☒

Enrolamento 1 Enrolamento 2 Enrolamento 3

Tensão nominal (kV): 440 Conexão do enrolamento: Delta

Potência nominal (MVA): 150

Característica

Monofásico Trifásico ☒

Observações

Inserir transformador Cancelar

Figura 4.15 – Cadastro de transformador/autotransformador/reator.

4.4 ABA DE ENSAIOS

O acesso principal da aba de Ensaios pode ser contemplado pela Figura 4.16.

Figura 4.16 – Aba Ensaio.

Observam-se 11 tipos de ensaios, separados por 5 grupos. Para “Ensaio no óleo mineral isolante” observam-se três tipos de ensaios: “Ensaio físico-químico”, “Cromatografia gasosa” e “Cromatografia líquida”, tal como exemplificado pela Figura 4.17. Clicando-se em Inserir na tela da Figura 4.17 o usuário poderá cadastrar as informações de ensaios físico-químicos tal como apresentado pela Figura 4.18.

Figura 4.17 – Ensaio no óleo mineral isolante.

Figura 4.18 – Cadastro de Ensaio físico-químico.

Mais uma vez observa-se na Figura 4.18 a divisão da tela em pequenas seções de afinidade de informações para facilitar o cadastro. Os itens a serem preenchidos estão de acordo com normas nacionais, internacionais e também com os procedimentos já aplicados pelas companhias.

Na Figura 4.19 tem-se a tela de cadastro de informações referentes aos ensaios de Cromatografia gasosa.

Figura 4.19 – Cromatografia gasosa.

Clicando-se em “Inserir” na tela da Figura 4.19 o usuário terá acesso à tela de cadastro de informações da Figura 4.20.

Esta tela diferencia-se da anterior por apresentar uma análise gráfica das concentrações dos gases. Destaca-se que as informações a serem inseridas nesta tela de cadastro estão em conformidade com a norma ABNT NBR 7070.

Nas Figuras 4.21 e Figura 4.22 tem-se as telas de cadastro das informações referentes a Cromatografia líquida.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transmissã
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento:
 Família: Família 01
 Posição: Teste
 Data de Fabricação: 14/04/2014
 Código SAP: sfd
 Fabricante: sdf
 Número de série: rwet

Cadastro de ensaio cromatográfico

Número do ensaio:
 Data da coleta: 23/04/2014
 Ponto de coleta:
 Data do ensaio: 23/04/2014

Resultado das análises em PPM (Método de Análise - ABNT NBR 7070)

Hidrogênio (H2)	1
Oxigênio (O2)	2
Nitrogênio (N2)	1
Metano (CH4)	3
Monox. Carbono (CO)	2
Diox. Carbono (CO2)	1
Etileno (C2H4)	3
Etano (C2H6)	3
Acetileno (C2H2)	8
Total de gases	24
Tot. gases comb.	20

3000

1 2 2 1 1 3 3 2 2 1 1 3 3 3 3 8 8

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000) Paulo Gomes(000000) Inserir
 Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir ensaio cromatográfico Cancelar

Figura 4.20 – Cadastro de Cromatografia gasosa.

CTEEP: Ferramentas Inteligentes Para Diagnósticos em Transformadores de Transmissão Submetidos a Esforços Eletromagnéticos Severos

Constituição institucional Recursos humanos Equipamentos Ensaio Ajuda

Classificar por companhia

- Companhia de Transmissão de E
- Universidade de São Paulo(Unive
- Universidade Estadual Paulista(U
- INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P.(INTER
- Companhia Teste(Companhia Tes
- Comp NEWNEW(Comp NEWNEW)
- Companhia Outubro(Companhia t
- Novembro(Novembro)

Dados cadastrais

Companhia
 Subestação

Sumário de Avaliaç

Ensaio no óleo mineral isolante
 Fator de potência
 Resistência de isolamento
 Impedância de curto-circuito
 Resistência ôhmica
 Relação de transformação
 Inspeção de acessórios
 Ensaio especiais
 Fator de potência de bucha
 TC de bucha
 Comutador

Ensaio físico-químico
 Cromatografia gasosa
 Cromatografia líquida
 Fabricante
 Número de série

Inserir
 Alterar
 Excluir

Transformadores Submetidos a Esforços Severos

APROVADO
 APROVADO

Figura 4.21 – Cromatografia líquida.

CTEP AZITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transmissão de E...
 Dep. Regional: OB
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento: TESTE Posição

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Cadastro de ensaio de cromatografia líquida

Número do ensaio:
 Data da coleta: 23/04/2014
 Ponto de coleta:
 Data do ensaio: 23/04/2014

RESULTADOS DOS ENSAIOS - Furanos Analisados (PPM)

5-HIDROXIMETIL-2-FURFURAL (SHMF)	0.00
2-FURFURAL (2FAL)	0.00
2-ACETIL FURANO (2ACF)	0.00
5-METIL-2-FURFURAL (SMEF)	0.00
TOTAL DE FURANOS	0.00

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Indicativo de que o papel isolante está em condições NORMAIS.

Estimação do grau de polimerização do papel isolante

Método Heisler & Bansen: 900
 Método Chendong: 1000
 Método DePablo: 804
 Método Leibfried et al.: 800
 Método de análise integrada: 869

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000)
 Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir ensaio cromatográfico Cancelar

Figura 4.22 – Cadastro de Cromatografia líquida.

A tela de cadastro de Cromatografia líquida também apresenta uma informação gráfica referente aos Furanos Analisados. O prosseguimento com o cadastro de ensaios permite a inserção de informações referentes aos ensaios de Fator de potência, tal como exemplificado pela Figura 4.23. Clicando-se em “Inserir” o usuário tem acesso à tela da Figura 4.24.

CTEP: Ferramentas Inteligentes Para Diagnósticos em Transformadores de Transmissão Submetidos a Esforços Eletromagnéticos

Constituição institucional Recursos humanos Equipamentos Ensaio Ajuda

Classificar por companhia

- Companhia de Transmissão de E...
- Universidade de São Paulo(Unive...
- Universidade Estadual Paulista(U...
- INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P(INTER...
- Companhia Teste(Companhia Tes...
- Comp NEWNEW(Comp NEWNEW)
- Companhia Outubro(Companhia C...
- Novembro(Novembro)

Dados cadastrais

Companhia
 Subestação

Sumário de Avaliação

Ensaio no óleo mineral isolante
 Fator de potência
 Resistência de isolamento
 Impedância de curto-circuito
 Resistência ôhmica
 Relação de transformação
 Inspeção de acessórios
 Ensaio especiais
 Fator de potência de bucha
 TC de bucha
 Comutador

Inserir
 Alterar
 Excluir

Número

Transformadores S

APROVADO
 APROVADO

Figura 4.23 – Fator de potência.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transmissão de Energia Elét
 Dep. Regional: 08
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento: TESTE Posição

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Nº Ordem:
 Instrumento utilizado:
 Condição do transformador: TRAF0 C/ RESPIRADOR

Entrar diretamente valores

Data do ensaio: quarta-feira, 14 de janeiro de 2015
 Temp. ambiente (o. C): 20
 Umidade relativa (%): 60
 Mult. corrente: mVA
 Mult. potência: W

EXECUÇÃO DO ENSAIO

Ens.	Cabo AT	Aterr.	Cabo BT	Pos. Chave LV	Isol.	Leit.	Mult.	Leit.	Mult.	mVA	Leit.	Mult.	Pol.	Leit.	Mult.	Pol.	W	Temp. Óleo	FP% Med.	FP% 20oC	
1	Alta	Baixa	Terc.	Guard	Ca+...	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	+	0	20	1	1
2	Alta	--	B + T	Guard	--	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	+	0	20	1	1
3	Alta	Terc.	Baixa	UST	Cab	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	+	0	20	1	1
4	Baixa	Terc.	Alta	Guard	Cb+...	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	+	0	20	1	1
5	Baixa	--	A + T	Guard	Cb	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	+	0	20	1	1

VALORES CALCULADOS

Ensaio	Isol.	mVA	W	Temp. Óleo	FP% Med.	FP% 20oC
Ensaio 1 - 2	Cat	0	0	0	0	0

Capacitâncias

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CORRENTE DE EXCITAÇÃO

Delta
 Y c/ terra
 Y c/ terra
 Monofásico

	Alta	UST	Aterr.	Valor Medido(mA)
H1	H2	H3	0.0000	
H1	H3	H2	0.0000	
H2	H3	H1	0.0000	

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ensaio de fator de potência em estado de ATENÇÃO. A análise inteligente aponta um percentual de 50.00% de degradação da condições normal.

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000)
 Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir ensaio de fator de potência Cancelar

Figura 4.24 – Cadastro de Fator de potência.

Observa-se da Figura 4.24 uma grande densidade de informações que devem ser preenchidas, tendo em vista a quantidade de parâmetros que tal tipo de ensaio demanda.

Cabe lembrar que tais informações após o preenchimento serão utilizadas no próprio CTEEP A2ITrafo para análises e também serão armazenadas, ou seja, o software funcionará como um repositório de base de ensaios para posteriores consultas.

A padronização da inserção das informações buscou facilitar o preenchimento e compreensão das informações necessárias quando da realização de novos ensaios.

Nota-se no canto inferior direito da tela que o usuário tem a opção de anexar arquivos ao cadastro do ensaio.

O cadastro de ensaios de “Resistência de isolamento” pode ser acompanhado pelas Figura 4.25 e Figura 4.26.

Figura 4.25 – Resistência de isolamento.

A imagem mostra o formulário de cadastro de ensaio de resistência de isolamento. O formulário é dividido em várias seções:

- Identificação do equipamento:** Campos para 'Companhia', 'Dep. Regional', 'Subestação', 'Equipamento', 'Família', 'Posição', 'Data de fabricação', 'Código SAP', 'Fabricante' e 'Número de série'.
- Relação de Tensão (kV):** Campos para 'Relação de Tensão (kV)', 'Tensão Nominal (kV)', 'Instrumento utilizado' e 'Cód. Instrumento'.
- Condições de ensaio:** Campos para 'Nº Ordem', 'Temp.do Óleo (o. C)', 'Umidade relativa (%)', 'Temp. ambiente (o. C)' e 'Tipo de Intervenção'.
- RESULTADOS DA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO:** Tabela com 14 colunas: Line, Earth, Guard, Isolação, kV Aplicado, Valor lido 30 seg, Valor lido 1 min, Valor lido Estabiliz., Valor Corrigido (20°C) 30 s, Valor Corrigido (20°C) 1 min, Valor Corrigido (20°C) Estabiliz., Índice de absorção (%), Índice de polarização (%), Avaliação. A tabela contém 5 linhas de dados.
- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:** Área para texto livre.
- RESPONSÁVEIS:** Campos para 'Executado por' e 'Supervisor'.
- Botões:** 'Inserir arquivo', 'Inserir ensaio de resistência de isolamento' e 'Cancelar'.

Figura 4.26 – Cadastro de Resistência de isolamento.

Sobre o cadastro deste tipo de ensaio cabe destacar que as informações a serem preenchidas seguem o padrão para leitura após 30 segundos, 1 minuto e depois de estabilizado, bem como a identificação da avaliação para cada tipo de medição.

Na tela da Figura 4.27 tem-se a visualização de como deve-se proceder com a inserção de novos ensaios de Impedância de curto-circuito.

Figura 4.27 – Impedância de curto-circuito.

Clicando-se em “Inserir”, é apresentada ao usuário a tela da Figura 4.28, onde pode-se identificar as caixas de texto de informações a serem inseridas a respeito do ensaio. No canto inferior esquerdo tem-se a visualização de um diagrama de ligação para auxiliar o usuário durante o processo de cadastro de informações.

A partir da Figura 4.29 e da Figura 4.30 o usuário tem contato com os menus e caixas de inserção de informações do ensaio de “Resistência ôhmica”.

Além das informações textuais o usuário também pode acompanhar graficamente a resistência medida nos taps. Tal recurso facilita a evolução das medidas à medida que permite acompanhamento em escala da variação da resistência de cada tap.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transmissão de Energia Elét
 Dep. Regional: OB
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento: TESTE Posição

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Relação de Tensão (kV): 440 kV / 138 kV / 14 kV
 Tensão Nominal (kV): 440 kV / 138 kV / 14 kV
 Instrumento utilizado:
 Cód. Instrumento:

Nº Ordem:
 Temp.do Óleo (o. C): 20
 Umidade relativa (%): 20
 Temp. ambiente (o. C): 20

Data do ensaio: quarta-feira, 23 de
 Tipo de Intervenção:

Inserir linha na tabela de resultados de impedância de curto-circuito

RESULTADOS DA IMPEDÂNCIA DE CURTO CIRCUITO

	Descrição Enrolamentos	Pot.Base(MVA)	Tensão Base (KV)	Z(%) Placa	Z(Ω) Placa	Z(%) Medido	Z(Ω) Medido	Z(%) Desvio	Z(Ω) Desvio
▶	Descrição	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00

DIAGRAMAS DE LIGAÇÃO

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

RESPONSÁVEIS

Executado por:
 Supervisor: Rogério Andrade Flauzino(5269249)

Inserir arquivo Inserir ensaio de impedância de curto-circuito Cancelar

Figura 4.28 – Cadastro de Impedância de curto-circuito.

Figura 4.29 – Resistência ôhmica.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transm
 Dep. Regional: OB
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento: TESTE Posição

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Temp. ambiente inicial (o. C): 20
 Temp. ambiente final (o. C): 20
 Umidade relativa (%): 60

Nº Ordem:
 Data do ensaio: quarta-feira , 23 de
 Tipo de intervenção: RECEPÇÃO
 Corr. Ens. (CP100):

Inserir linha na tabela de resultados de resistência ôhmica

ENSAIO DE RESISTÊNCIA OHMICA

TAP's	Valor lido	Valor Ref. 75°C
1	1	1.216
2	2	2.432
3	3	3.648
4	2.5	3.040
5	1.75	2.128

Curva Característica

Resistência Ôhmica

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000) Paulo Gomes(000000) Inserir

Supervisor: Rogério Andrade Flauzino(5269249)

Inserir arquivo Inserir ensaio de resistência ohmica Cancelar

Figura 4.30 – Cadastro de Resistência ôhmica.

Os ensaios de “Relação de transformação” podem ser manipulados por meios dos menus apresentados na tela da Figura 4.31.

Ensaio **Ajuda**

- Ensaio no óleo mineral isolante
- Fator de potência
- Resistência de isolamento
- Impedância de curto-circuito
- Resistência ôhmica
- Relação de transformação**
- Inspeção de acessórios
- Ensaio especiais
- Fator de potência de bucha
- TC de bucha
- Comutador

Inserir
 Alterar
 Excluir

APROVADO
APROVADO

Figura 4.31 – Relação de transformação.

Clicando-se em “Inserir” na tela da Figura 4.31 o usuário poderá cadastrar as informações de TAP, tensão, relação teórica, dentre outras pertencentes à relação de transformação do equipamento em análise na Figura 4.32. Destaca-se nesta tela a opção de inserir novas linhas na tabela de relação de transformação, deixando o cadastro mais flexível.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transmis...
 Dep. Regional: OB
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento: TESTE Posição

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Nº Ordem:
 Data do ensaio: quarta-feira, 23 de
 Comut. Primário: MANUAL
 Comut. Secund.: SOB CARGA
 Tensão Fixa (V): 440
 Tensão Variável (V): 138
 Umidade relativa (%): 60
 Temp. ambiente (o. C): 30

Primário:
 Secundário:
 Conexão: Δ
 Defasagem:
 Inserir linha na tabela de resultados de relação de transformação

EXECUÇÃO DO ENSAIO

Nº TAP	Tensão (V)	Relação teórica	Valor Lido (A)	Valor Lido (B)	Valor Lido (V)	Erro (%) Fase A	Erro (%) Fase B	Erro (%) Fase V	Observações
TAP	440	1.000	0.997	0.998	1.002	0.300	0.200	-0.200	7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000) Paulo Gomes(000000) Inserir
 Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir ensaio de relação de transformação Cancelar

Figura 4.32 – Cadastro de Relação de transformação.

O último menu pertencente ao primeiro grupo de ensaios refere-se ao ensaio de “Inspeção de acessórios”, que pode ser acessado por meio das Figura 4.33 e Figura 4.34.

Da Figura 4.34 é possível observar que Motoventiladores, Painel de comando geral, Tanque principal, dentre outros acessórios foram agrupados em abas, para facilitar a inserção e análise de informações.

Figura 4.33 – Inspeção de acessórios.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transm. Dep. Regional: OB Subestação: Bauru(BAU) Equipamento: TESTE Posição

Família: 2 Posição: TESTE Posição Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000 Fabricante: FABRICANTE Número de série: 000000

Relatório de Manutenção de Acessórios de Transformadores

Nº Ordem: Data do ensaio: quarta-feira, 14 de janeiro de 2015

Motoventiladores	Painel de comando Geral	Tanque Principal	Bombas de circulação de óleo
Indicador de nível de óleo comutador	Relé de Gás Tipo Bucholz	Buchas	Secadores de Ar
Tanque de Expansão	Comutador Derivação em Vazio	Tubo de Explosão /Válvula de alívio de pressão	Radiadores

Vazamentos/Membranas/Bolsas ☒ OK ☐ N

Registros e Tubulações ☐ OK ☒ N

Indicador de nível ☐ OK ☒ N

Outros ☒ OK ☐ N

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Relação de acessórios com problemas apontados
 Tanque de Expansão | Indicador de nível (NÃO OK)
 Tanque de Expansão | Registros e Tubulações (NÃO OK)

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000) Paulo Gomes(000000) Inserir

Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir relatório de ensaios de acessórios de transformadores Cancelar

Figura 4.34 – Cadastro de Inspeção de acessórios.

Na Figura 4.35 e Figura 4.36 é possível se contemplar o cadastro de ensaios especiais, onde destacam-se os ensaios de Emissão acústica, Tensão induzida e Ensaio de resposta em frequência. Tais ensaios são comumente acompanhados de relatórios que podem ser anexados no cadastro e ficarem disponíveis para posterior análise.

Figura 4.35 – Ensaio especiais.

Figura 4.36 – Cadastro de Ensaio especiais.

Na tela da Figura 4.37 tem-se o acesso para a inserção de ensaios de “Fator de potência de bucha”. Clicando-se em “Inserir” o usuário tem acesso à tela da Figura 4.38, onde pode inserir dados de placa, além de informações patrimoniais. Em seguida, encontram-se destacas três áreas

principais onde serão inseridas as informações da execução do ensaio, capacitâncias em pF e a medição da isolamento em M Ω para Tap capacitivo de 500V.

Figura 4.37 – Fator de potência de bucha.

CTEEP AZITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transmissão de Energia Elétrica
 Dep. Regional: OB
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento: TESTE Posição

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Nº Ordem:
 Instrumento utilizado:
 Entrar diretamente valores:
 Data do ensaio: quarta-feira, 14 de janeiro de 2015
 Temp. ambiente (o. C): 20
 Umidade relativa (%): 60
 Mult. corrente: mVA
 Mult. potência: W

CARACTERÍSTICAS DAS BUCHAS

Posição da Bucha	Fabricante (Tipo)	Número de Série	Data de Fabricação	Tensão Nominal (kV)	Corrente Nominal (A)	Espaço para TC (L6 em mm)	Capacitância nom. (pF)	Fator de potência nominal (%)
Bucha	OUTROS	N. Série	01/21/2015	Vnom	Inom	L6		
Bucha	OUTROS	N. Série	01/21/2015	Vnom	Inom	L6		

EXECUÇÃO DO ENSAIO

Bucha	Leit.	Mult.	Leit.	Mult.	mVA	Leit.	Mult.	Pol.	Leit.	Mult.	Pol.	W	Temp. Óleo	FP% Med.
Bucha	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	+	0.000	0.000	+	0.000	20.0	0.00
Bucha	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	+	0.000	0.000	+	0.000	20.0	0.00

CAPACITÂNCIAS (pF)

C1	C2	C3	C4	C5	C6
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

MEDICÇÃO DE ISOLAÇÃO (M Ω) - Tap Capacitivo 500 V

1	2	3	4	5	6
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000)
 Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir ensaio de fator de potência Cancelar

Figura 4.38 – Cadastro de Fator de potência de bucha.

Na tela da Figura 4.39 tem-se a visualização das opções de ensaios para “TC de bucha”, sendo elas “Relação de transformação” e “Resistência de isolamento”.

The screenshot shows a software interface for transformer testing. The 'Ensaios' menu is open, displaying a list of test options. The 'TC de bucha' option is selected, leading to a sub-menu with 'Relação de transformação' and 'Resistência de isolamento'. The 'Relação de transformação' option is further expanded, showing 'Inserir', 'Alterar', and 'Excluir' actions. The interface also displays fields for 'Código SAP', 'Fabricante', and 'Número de série', along with buttons for 'Retornar' and 'Resultados'. A large green 'APROVADO' status is visible.

Ensaios	Ajuda
Ensaios no óleo mineral isolante	
Fator de potência	
Resistência de isolamento	
Impedância de curto-circuito	
Resistência ôhmica	
Relação de transformação	
Inspeção de acessórios	
Ensaios especiais	
Fator de potência de bucha	
TC de bucha	
Comutador	

Relação de transformação	Resistência de isolamento
Inserir	Alterar
	Excluir

Código SAP:

Fabricante:

Número de série:

Retornar

Transformadores Submetidos a Esforços Severos

Resultados

APROVADO

ATENC

CROMATOGRAFIA LÍQUIDA

APROVADO

Figura 4.39 – TC de bucha.

As informações que podem ser inseridas para “Relação de transformação” encontram-se disponíveis na Figura 4.40. É possível observar que diversas linhas podem ser inseridas nesta tabela de preenchimento, identificando-se tensões, terminais, polaridade, etc.

Na Figura 4.41 o usuário tem acesso ao cadastro de informações relativas aos ensaios de “Resistência de isolamento” em TC de bucha.

CTEEP AZITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transmissão de Energia Elét
 Dep. Regional: OB
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento: TESTE Posição

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Relação de Tensão (kV): 440 kV / 138 kV / 14 kV
 Tensão Nominal (kV): 440 kV / 138 kV / 14 kV
 Instrumento utilizado:
 Cód. Instrumento:

Nº Ordem:
 Temp.do óleo (o. C): 30
 Temp. ambiente (o. C): 30
 Umidade relativa (%): 30

Data do ensaio: quarta-feira , 23 de
 Tipo de Intervenção:

Inserir linha na tabela de resultados de relação de transformação

ENSAIO DA RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO E POLARIDADE EM TC DE BUCHA

BUCHA	NUM. DO TC	TERMINAIS	RELAÇÃO	TENSÃO APLIC(V)	TENSÃO LIDA(V)	POLARIDADE	OBSERVAÇÕES
BUCHA	NUM. DO TC	TERMINAIS	RELAÇÃO	TENSÃO APLIC(V)	TENSÃO LIDA(V)	POLARIDADE	OBSERVAÇÕES
BUCHA	NUM. DO TC	TERMINAIS	RELAÇÃO	TENSÃO APLIC(V)	TENSÃO LIDA(V)	POLARIDADE	OBSERVAÇÕES

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000) Paulo Gomes(000000) Inserir

Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir ensaio da relação de transformação e polaridade em TC Cancelar

Figura 4.40 – Cadastro de Ensaio da relação de transformação em TC de bucha.

Form25

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transmissão de Energia Elét
 Dep. Regional: OB
 Subestação: Bauru(BAU)
 Equipamento: TESTE Posição

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Relação de Tensão (kV): 440 kV / 138 kV / 14 kV
 Tensão Nominal (kV): 440 kV / 138 kV / 14 kV
 Instrumento utilizado:
 Cód. Instrumento:

Nº Ordem:
 Temp.do Óleo (o. C): 30
 Temp. ambiente (o. C): 30
 Umidade relativa (%): 30

Data do ensaio: quarta-feira, 23 de
 Tipo de Intervenção:

Inserir linha na tabela de resultados de resistência de isolamento de TC de Bucha

ENSAIO DA RESISTÊNCIA DO ISOLAMENTO EM TC DE BUCHA

Nº DO TC	TERMINAIS	Line	Earth	Guard	Isolação (MOhms)	kV Aplicado	Valor lido Estabiliz.
Nº DO TC	TERMINAIS	LINE	EARTH	GUARD	ISOLAÇÃO	TENSÃO APLICADA	V. LIDO Estabiliz.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000) Paulo Gomes(000000) Inserir
 Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir ensaio da resistência do isolamento em TC de bucha Cancelar

Figura 4.41 – Cadastro de Ensaio resistência de isolamento em TC de bucha.

O último grupo de ensaios disponíveis pode ser acessado pelo menu “Comutador” da tela da Figura 4.42 Destaca-se que para este tipo de ensaio são permitidos dois tipos de cadastros: “MCCG” e “MCCP”.

Ensaio Ajuda

- Ensaio no óleo mineral isolante
- Fator de potência
- Resistência de isolamento
- Impedância de curto-circuito
- Resistência ôhmica
- Relação de transformação
- Inspeção de acessórios
- Ensaio especiais
- Fator de potência de bucha
- TC de bucha
- Comutador**
 - MCCG
 - MCCP

Código SAP
 Fabricante
 Número de série

Transformadores Submetidos a Esforço

APROVADO

APROVADO

Inserir
 Alterar
 Excluir

CRONOMETRAGEM LÍQUIDA

Figura 4.42 – Comutador.

Clicando-se em “Inserir” na tela da Figura 4.42 o usuário poderá cadastrar as informações a respeito dos ensaios MCCG, tal como representado pela Figura 4.43.

Destacam-se múltiplas abas agrupando formulários de Acionamento elétrico, Acionamento mecânico, Chaves comutadoras, etc. Em tal formulário, além das informações a serem preenchidas em caixas de texto destacam-se botões de ação “OK” e “N” que mudam de cor quando selecionados, facilitando a visualização da seleção.

Na Figura 4.44 tem-se a tela de cadastro de ensaios “MCCP” em Comutadores. Encontra-se destacado neste formulário os pontos de verificação também com botões de check para “OK” e “N” também é possível ao usuário adicionar linhas de ensaio neste formulário.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia	Companhia de Transm	Família	2	Código SAP	000000
Dep. Regional	OB	Posição	TESTE Posição	Fabricante	FABRICANTE
Subestação	Bauru(BAU)	Data de Fabricação	21/01/2015	Número de série	000000
Equipamento	TESTE Posição				

Relatório de Manutenção de Acessórios de Comutadores

Nº Ordem: Data do ensaio: quarta-feira, 14 de janeiro de 2015

Comutador

Fabricante: ABB Nº de Série: 0000 Tipo: 3X ARSD 112 Posições: 33

Acionamento

Nº Comut. Últ. MCCG: 356420 Nº de Série: 0000 Tipo: Tanque:

Acionamento Elétrico | Acionamento Mecânico | Chave Comutadora - Parte I | Chave Comutadora - Parte II | Seletor e Pré Seletor | Diversos

Motor	OK ☒ N ☐	Relé Térmico do Motor	OK ☐ N ☐
Fim de Curso	OK ☐ N ☒	Chave Bloq. Acion. Manual	OK ☐ N ☐
Contatores	OK ☐ N ☒	Chaves	OK ☐ N ☐
Indicador de Posição Remota	OK ☐ N ☐	Placa Borne	OK ☐ N ☐
Resistência de Aquecimento	OK ☐ N ☒	Outros	OK ☐ N ☐

Medições

Resist. Transição (Ohms): Sobrepessão / Fluxo (Kg/cm²):

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Relação de pontos de verificação com problemas apontados

- Acionamento Elétrico | Fim de Curso (NÃO OK)
- Acionamento Elétrico | Contatores (NÃO OK)
- Acionamento Elétrico | Resistência de Aquecimento (NÃO OK)

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000) Paulo Gomes(000000) **Inserir**

Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo **Inserir relatório de manutenção de comutadores - MCCG** **Cancelar**

Figura 4.43 – Cadastro MCCG em Comutador.

CTEEP A2ITrafo - Análise Integrada Inteligente de transformadores

Identificação do equipamento

Companhia: Companhia de Transm. ▾
 Dep. Regional: OB ▾
 Subestação: Bauru(BAU) ▾
 Equipamento: TESTE Posição ▾

Família: 2
 Posição: TESTE Posição
 Data de Fabricação: 21/01/2015

Código SAP: 000000
 Fabricante: FABRICANTE
 Número de série: 000000

Relatório de Manutenção de Acessórios de Comutadores

Nº Ordem: Data do ensaio: quarta-feira, 14 de janeiro de 2015

Comutador

Fabricante: ▾ Nº de Série: Tipo: ▾ Posições:

Acionamento

Nº Comut. Últ. MCCP: Nº de Série: Tipo: Tanque:

PONTOS DE VERIFICAÇÃO

Sobrepresão / Fluxo	OK ☒ N ☐	Tanque de expansão	OK ☐ N ☐
Tubulação	OK ☒ N ☐	Registros	OK ☐ N ☐
Vedações	OK ☐ N ☒	Estanqueidade do cilindro	OK ☒ N ☐
Respiro	OK ☐ N ☐	Silicagel	OK ☐ N ☐
Outros	OK ☐ N ☐	Inserir linha na tabela de resultados de rigidez dielétrica	

ENSAIO DE RIGIDEZ DIELETRICA

Ens.	Ensaio de Rigidez Dielétrica
▶ ENS	Ensaio de rigidez dielétrica

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Relação de pontos de verificação com problemas apontados
 Diversos | Vedações (NÃO OK)

RESPONSÁVEIS

Executado por: Paulo Gomes(000000) Paulo Gomes(000000) Inserir
 Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales(000000)

Inserir arquivo Inserir relatório de manutenção de comutadores - MCCP Cancelar

Figura 4.44 – Cadastro MCCP em Comutador.

4.5 ESTUDO DE CASO

Uma vez realizado o cadastro dos ensaios de equipamentos, bem como as informações de companhia, recursos humanos e patrimoniais, torna-se possível a realização das análises integradas pelo CTEEP A2ITrafo, levando-se em consideração os parâmetros normativos nacionais, internacionais e um roll de ferramentas inteligentes. Foi selecionado para este fim o reator RT-2, cujas informações iniciais podem ser acompanhadas na Figura 4.45. Clicando-se em “Resultados de Ensaio” o usuário poderá ter acesso a diversas análises expandidas por métodos.

Dados cadastrais

Companhia: Família: Código SAP: Subestação: Posição: Fabricante: Retornar à página inicial
Data de Fabricação: Número de série:

Sumário da avaliação A2I
 Probabilidade de defeito: 0%
 Defeito elétrico: 0%
 Defeito térmico: 0%
 Defeito combinado: 0%
 Severidade: 0%

Sumário de Avaliação Geral - Análise Integrada Inteligente de Transformadores Submetidos a Esforços Severos **Resultados de Ensaios**

	FÍSICO-QUÍMICO	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
(56.924)	CROMATOGRAFIA GASOSA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	CROMATOGRAFIA LÍQUIDA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	FATOR DE POTÊNCIA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	IMPEDÂNCIA DE CURTO-CIRCUITO	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	RESISTÊNCIA ÔHMICA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	INSPEÇÃO DE ACESSÓRIOS	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	EMIÇÃO ACÚSTICA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	TENSÃO INDUZIDA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	RESPOSTA EM FREQUÊNCIA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	FATOR DE POTÊNCIA DE BUCHA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO TC DE BUCHA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO TC DE BUCHA	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	COMUTADOR MCCG	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	COMUTADOR MCCP	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões
	ANÁLISE INTEGRADA INTELIGENTE	APROVADO	ATENÇÃO	REPROVADO	Observações, recomendações e conclusões

Figura 4.45 – Identificação do Reator RT-2.

Figura 4.46 – Reator RT-2 Cromatografia Gasosa.

Na Figura 4.46 tem-se os resultados de cromatografia gasosa. No canto superior esquerdo é possível visualizar que a análise apontou uma possibilidade de defeito de 98%, sendo que há uma probabilidade de 94% do equipamento apresentar um defeito térmico.

Dentro da aba de “Cromatografia gasosa” ainda é possível se acompanhar com detalhes a “Avaliação integrada inteligente”, bem como os resultados dos métodos “IEEE”, “Duval”, “Gás-Chave”, etc. A severidade do defeito foi estimada em 68%, tendo em vista uma maior contribuição do método IEEE para a apresentação deste resultado. Destacam-se também à direita a evolução gráfica das informações a respeito do defeito, de acordo com o histórico de ensaios armazenados para este equipamento.

Nas Figuras 4.47 e Figura 4.48 tem-se a representação da avaliação da cromatografia líquida e também resultados de ensaios Físico-químicos.

Nas Figuras 4.49 a Figura 4.51 encontram-se as telas de cadastro das informações pertencentes a este dispositivo, referentes aos demais ensaios. Cabe salientar que a inserção de informações a respeito de novos ensaios atualizam os resultados advindos da avaliação integrada, assim, a precisão da resposta depende da quantidade de dados disponíveis para o dispositivo.

The screenshot displays the 'CROMATOGRAFIA LÍQUIDA' (Liquid Chromatography) section of the software. The interface includes a top navigation bar with tabs for 'FÍSICO-QUÍMICO', 'FATOR DE POTÊNCIA', 'RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO', 'IMPEDÂNCIA DE CURTO-CIRCUITO', 'INSPEÇÃO DE ACESSÓRIOS', 'EMISSÃO ACÚSTICA', and 'TENSÃO INDU'. The main area is titled 'Cadastro de ensaio de cromatografia líquida' (Liquid chromatography test registration) and contains fields for 'Número do ensaio' (0029/2015), 'Ponto de coleta' (Registro inferior), 'Data da coleta' (quarta-feira, 23 de), and 'Data do ensaio' (quarta-feira, 23 de). Below these fields is a table titled 'RESULTADOS DOS ENSAIOS - Furanos Analisados (PPM)' with columns for various furan compounds and their concentrations in PPM. The table shows values of 0 for 5-HIDROXIMETIL-2-FURFURAL (5HMF), 2-FURFURAL (2FAL), 2-ACETIL FURANO (2ACF), 5-METIL-2-FURFURAL (5MEF), and TOTAL DE FURANOS. A section titled 'CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES' (Conclusions and Recommendations) displays 'Resultados Normais' (Normal Results). At the bottom, there is a 'RESPONSÁVEIS' (Responsible) section with fields for 'Executado por:' and 'Supervisor:'. The interface also includes buttons for 'Editar ensaio' (Edit test), 'Excluir ensaio' (Delete test), and 'Salvar relatório e arquivos de ensaio' (Save report and test files).

RESULTADOS DOS ENSAIOS - Furanos Analisados (PPM)	
5-HIDROXIMETIL-2-FURFURAL (5HMF)	0
2-FURFURAL (2FAL)	0
2-ACETIL FURANO (2ACF)	0
5-METIL-2-FURFURAL (5MEF)	0
TOTAL DE FURANOS	0

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Resultados Normais

RESPONSÁVEIS

Executado por: _____

Supervisor: _____

Editar ensaio Excluir ensaio Salvar relatório e arquivos de ensaio

Figura 4.47 – Reator RT-2 Cromatografia Líquida.

CROMATOGRAFIA LÍQUIDA	FÍSICO-QUÍMICO	FATOR DE POTÊNCIA	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	IMPEDÂNCIA DE CURTO-CIRCUITO	INSPEÇÃO DE ACESSÓRIOS	EMISSÃO ACÚSTICA	TENSÃO INDU
CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO							
Número do ensaio	0029/2015		Data da coleta	quarta-feira , 23 de abril			
Quantidade	1000 ml		Data da análise	quarta-feira , 23 de abril			
RESULTADOS DOS ENSAIOS							
Teor de Água - mg/kg (NBR 10710)	15	Normal	Acidez - mg KOH/g de óleo (NBR 14248)	0			
Tensão Interfacial a 25°C - mN/m (NBR 6234)	10	Normal	Cor (NBR 14483)	0			
Rigidez Dielétrica - kV (NBR IEC 60156)	90	Normal	Teor DBPC (% massa) (NBR 12134 A)	0			
Fator de Dissipação - % (90°C) (NBR12133)	0,5	Normal	Partículas ≥ 2 µm/ 10ml (NBR 14275)	0			
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES							
Resultados considerados normais							
RESPONSÁVEIS							
Executado por:							
Supervisor:							
Editar ensaio		Excluir ensaio		Salvar relatório e arquivos de ensaio			

Figura 4.48 – Reator RT-2 Físico – Químico.

A	CROMATOGRAFIA LÍQUIDA	FÍSICO-QUÍMICO	FATOR DE POTÊNCIA	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	IMPEDÂNCIA DE CURTO-CIRCUITO	INSPEÇÃO DE ACESSÓRIOS	EMISSÃO ACÚSTICA	TENSÃO INDU
Instrumento utilizado		M4000		Entrar diretamente valores		Temp. ambiente (o. C) 20		
						Umidade relativa (%) 60		
EXECUÇÃO DO ENSAIO								
	Ens.	Cabo AT	Aterr.	Cabo BT	Pos. Chave LV	Isol.	Leit.	Mult.
*							13,26	20
VALORES CALCULADOS								
	Ensaio	Isol.		mA		Temp. Óleo		FP% Med.
*				13,26		20		0,26
Capacitâncias								
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
CORRENTE DE EXCITAÇÃO								
Delta	Alta	UST	Aterr.	Valor Medido(mA)				
Y c/ terra	*							
Y c/ terra								
Monofásico								
RESPONSÁVEIS								
Executado por: Thiago Samuel Bonfim								
Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales								
Editar ensaio		Excluir ensaio		Salvar relatório e arquivos de ensaio				

Figura 4.49 – Reator RT-2 Fator de Potência.

A CROMATOGRAFIA LÍQUIDA FÍSICO-QUÍMICO FATOR DE POTÊNCIA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO IMPEDÂNCIA DE CURTO-CIRCUITO RESISTÊNCIA ÔHMICA RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO EMISSÃO ACÚSTICA TENS													
Relação de Tensão (kV)		0,5		Temp.do Óleo (o. C)		30		Temp. ambiente (o. C)		25			
Tensão Nominal (kV)		10		Umidade relativa (%)		60							
Instrumento utilizado		Metrel		Tipo de Intervenção		Emergencial							
Cód. Instrumento		101527											
	Line	Earth	Guard	Isolação (Mohms)	kV Aplicado	Valor lido 30 seg	Valor lido 1 min	Valor lido Estabiliz.	Valor Corrigido (20°C) 30 s	Valor Corrigido (20°C) 1 min	Valor Corrigido (20°C) Estabiliz.	Índice de absorção (%)	Índice de polarização (%)
*	AT	CAR	NC		10	17,80	23,00	38,10	17,80	23,00	38,10	1,292	1,657
RESPONSÁVEIS													
Executado por: Thiago Samuel Bonfim													
Supervisor: Carlos Guilherme Gonzales													
Editar ensaio		Excluir ensaio		Salvar relatório e arquivos de ensaio									

Figura 4.50 – Reator RT-2 Resistência de isolamento.

A CROMATOGRAFIA LÍQUIDA FÍSICO-QUÍMICO FATOR DE POTÊNCIA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO IMPEDÂNCIA DE CURTO-CIRCUITO RESISTÊNCIA ÔHMICA EMISSÃO ACÚSTICA TENSÃO INDU												
Tipo de Ensaio EMISSÃO ACÚSTICA												
☒ Aprovado ☐ Reprovado												
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES												
<p>Durante os testes não foram detectados sinais acústicos que representem a presença de Descargas Parciais ou características semelhantes internas ao Reator.</p> <p>O Reator/Transformador sob análise foi considerado aprovado nos ensaios de emissão acústica.</p> <p>Período do Ensaio: 24 horas com tensão nominal de operação</p>												
RESPONSÁVEIS												
Executado por:												
Supervisor:												
Editar ensaio		Excluir ensaio		Salvar relatório e arquivos de ensaio								

Figura 4.51 – Reator RT-2 Emissão Acústica.

Capítulo 5

Conclusões e continuidade do trabalho

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento de algoritmos para identificação de anomalias em transformadores de potência, por meio de dados obtidos em ensaios (tensão induzida, descargas parciais elétricas/emissão acústica, análise de gases dissolvidos), foi possível estabelecer um diagnóstico único com grau assertivo muito superior as decisões humanas. Desta forma um sistema inteligente assumiu uma condição autônoma de decisão baseado nas definições normativas e também na experiência de especialistas e históricos envolvendo inúmeras análises.

O produto final desta pesquisa disponibiliza ao Setor Elétrico Nacional uma ferramenta exclusiva no que diz respeito à integração de informações referentes às condições operacionais de um transformador e seu posterior processamento capaz de definir a presença de anormalidades, o grau de criticidade e principalmente a sua localização para o possível e adequado tratamento.

Considera-se ainda que um dos objetivos deste projeto de mestrado envolva a eliminação da subjetividade e o fator humano, que por vezes fornece diferentes diagnósticos através de uma sequência de variáveis inalteradas analisadas por dois especialistas, trazendo mais de um resultado final e que por isso torna-se duvidosa.

Este desenvolvimento deverá ser aplicado a todos os transformadores, reatores de derivação, autotransformadores e reguladores de tensão do sistema elétrico. Os dados necessários à realização do diagnóstico que servirão de entrada para a plataforma computacional são aqueles comumente obtidos por meio de ensaios consagrados pelas empresas do setor elétrico.

Desta forma, com o uso desta ferramenta será possível eliminar os impactos decorrentes a explosão de transformadores (derramamento de óleo com a contaminação de mananciais/solo, emissão de gases, incêndio), promovendo a redução da indisponibilidade não programada dos equipamentos de uma subestação.

5.2 ASPECTOS DE CONTINUIDADE DO TRABALHO

O sistema especialista aqui desenvolvido pode contribuir para os aspectos de manutenção das concessionárias de energia elétrica, contribuindo também para a tomada de decisões. Adicionalmente, a técnica pode também ser utilizada como subsídio para integrar as três principais estratégias que são altamente eficazes aos propósitos de planejamento de manutenção de equipamentos, ou seja: (i) estratégias de manutenção baseadas em MCC; (ii) estratégias de manutenção baseadas na avaliação de estado ("saúde") dos equipamentos; (iii) estratégias de manutenção baseadas em conceitos de VIE (Very Important Equipment), os quais permitem identificar aqueles equipamentos considerados mais significativos.

Referências Bibliográficas

- [1] MANTOVANI, A. L., Faça-se a luz: Modernidade e demandas sociais na eletrificação da iluminação publica em Ouro Preto, 1880-1920. 2005. 60f. (Bacharelado em historia). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005
- [2] SIMONE, G. A., Transformadores: teoria e exercícios. 1 Ed, São Paulo. Erica, 2010. 309p.
- [3] CHENEY, M., Tesla: Man out of time. 1. Ed. NY (USA). Simon & Schuster, 2001.400p.
- [4] NINAS, N., Naphthenics AB Transformer Oil Hhandbook. 1. Ed, Sweden: Linderoths in Vingaker, 2004. p223.
- [5] ARANTES, J. G., Diagnostico de falhas em transformadores de potencia pela análise de gases dissolvidos em óleo isolante através de redes neurais. 2005. 99f. (Mestrado em ciências) Universidade Federal de Itajubá. Itajubá-MG, 2005.
- [6] PORTELLA, M.D.G., Avaliação da presença de indicadores de oxidação do papel isolante termo estabilizado em equipamentos de subestação. 2010. 122f. (Mestrado em Engenharia e ciência dos materiais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
- [7] BECHARA, R., Análise de falhas em transformadores de potência. 2010. 118 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
- [8] PENA, M. C. M., Falhas em transformadores de potência :Uma contribuição para análise, definições, causas e soluções. 2003. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia) – Universidade Federal de Itajubá, 2003.
- [9] PAULINO, M. E. C., Medidas de Resposta em Frequência, Capacitância e Fator de Potência com Variação de Frequência para Diagnóstico de Transformadores. 2006. Disponível em <www.labplan.ufsc.br/congressos/SBSE/anais/104_sbse2006_final.pdf>. Acesso em 22 abril 2015.
- [10] DA SILVA, L. N. A., Monitoramento e diagnostico de buchas de alta tensão. 2007. 88f. (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- [11] YANG, Z., TANG, W.H., SHINTEMIROV, A., WU, Q.H., "Association rule mining-based dissolved gas analysis for fault diagnosis of power transformers", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews, vol. 39, pp. 597-610, 2009.
- [12] NEMETH, B., LABONCZ, S., KISS, I., "Condition monitoring of power transformers using DGA and fuzzy logic", IEEE Electrical Insulation Conference, pp. 373-376, 2009.4
- [13] SNOW, T., McLARNON, M., "The Implementation of continuous online Dissolved Gas Analysis (DGA) monitoring for all transmission and distribution substations", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 1-4, 2010.
- [14] SZCZEPANIAK, P.S., KLOSINSKI, M., "DGA-based Diagnosis of Power Transformers - IEC Standard versus k-Nearest Neighbours," IEEE International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering, pp. 740-743, 2010.
- [15] PENG, Z., SONG, B., "Research on transformer fault diagnosis expert system based on DGA database", 2nd International Conference on Information and Computing Science, pp. 29-31, 2009.

- [16] MOHAMMADI E., NIROOMAND, M., REZAEIAN, M., AMINI, Z., "Partial discharge localization and classification using acoustic emission analysis in power transformer", 31st International Telecommunications Energy Conference, pp. 1-6, 2009.
- [17] VELOSO, G.F.C., SILVA, L.E.B., LAMBERT-TORRES, G., PINTO, J.O.P., "Localization of partial discharges in transformers by the analysis of the acoustic emission", IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 537-541, 2006.
- [18] MARKALOUS, S.M., TENBOHLEN, S., FESER, K., "Detection and location of partial discharges in power transformers using acoustic and electromagnetic signals", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 15, pp. 1576-1583, 2008.
- [19] X. WANG., LI, B., ROMAN, H.T., RUSSO, O.L., CHIN, K., FARMER, K.R., "Acousto-optical PD detection for transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, pp. 1068-1073, 2006.
- [20] NUNEZ, A., "Recent case studies in the application of acoustic emission technique in power transformers", IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, pp. 1-7, 2006.
- [21] FLAUZINO, R.A., SILVA, I.N., ULSON, J.A.C., "Mapeamento neuro-nebuloso dos gases dissolvidos no óleo mineral isolante de transformadores através de ensaios físico-químicos", VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, pp. 1-6, 2003.
- [22] TRINDADE, M.B., MARTINS, H.J.A., CADILHE, A.F., MOREIRA, J.A., "On-load tap-changer diagnosis based on acoustic emission technique", XIV International Symposium on High Voltage Engineering, pp. 1-6, 2005.
- [23] VOGEL, F.J., "Insulation tests of transformers as influenced by time and frequency", Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, vol. XLIII, pp. 348-355, 1924.
- [24] WINTER, A., THIED, A., "A new generation of on-site test systems for power transformers", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 478-482, 2008.
- [25] ERBRINK, J.J., GULSKI, E., SMIT, J.J., ADITYA, J., CHMURA, L.A., LEICH, R., SEITZ P.P., QUAK, B., "Test procedure and test circuit considerations for on load tap changer dynamic resistance measurement", International Conference on High Voltage Engineering and Application, pp. 317-320, 2010.
- [26] MEADOR, J.R., KAUFMAN, R.B., BRUSTLE, H.H., "Transformer corona testing", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-85, no. 8, pp. 893-900, 1966.
- [27] VAILLANCURT, G.H., MALEWSKI, R.A., "Digital acquisition and processing of partial discharges during acceptance test of HV transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 1, pp. 421-427, 1989.
- [28] GUARDADO, J. R., NAREDO, J. L., MORENO, P., FUERTE, C. R., "A comparative study of neural network efficiency in power transformers diagnosis using dissolved gas analysis". *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 16, n. 4, p. 643-647, 2001.
- [29] DUVAL, M., "A Review of faults detectable by gas-in-oil analysis in transformers". *IEEE Electrical Insulation Magazine*, v. 18, p. 8-17, 2002.
- [30] IMAMURA, M. M., "Uma Abordagem Neural Para Identificação de Gases Dissolvidos em Óleo Isolante de Transformadores em Função de Parâmetros Físico-Químicos". *Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial*, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2000.

- [31] MILASCH, M., “Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante”. *Editora Edgar Blucher Ltda*, 1984.
- [32] HERMAN, H., SHENTON, M.J., STEVENS, G.C., HEYWOOD, R.J., “A new approach to condition assessment and lifetime prediction of paper and oil used as transformer insulation”. *Proceedings of 7th International Conference on Solid Dielectrics*, Eindhoven, p. 473-476, 2001.
- [33] ZHU, S. P., SHI, J., LIM, Y. S., TAN, C. I., CHEONG, Y. K., “Transformer Testing and Analysis with a Window-based Graphic User Interface”. *International Conference on Energy Management and Power Delivery*, p. 410-415, 1995.
- [34] KACHLER, A. J., “On-Site Diagnosis of Power and Special Transformers”. *IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, p. 362-367, 2000.
- [35] MOHSENI, H., AKMAL, A. S., JADIDIAN, J., HASHEMI, E., AGHEB, E., NAIENY, A., GHORBANDAEIPOUR, A. NIAYESH, K., “Induced Voltage Test of Distribution Transformers Using State Frequency Inverters”. *IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition*, p. 1-5, 2008.
- [36] IEEE Std. C57.12.00-2006 for Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers, “IEEE Standard for Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers”, 2007.
- [37] IEEE Std. C57.12.90-1993, “IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers and IEEE Guide for Short-Circuit Testing of Distribution and Power Transformers”, 1993.
- [38] WINTER, A., THIEDE, A., “A New Generation of On-Site Test Systems for Power Transformers”. *IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, pp. 478-482, 2008.
- [39] LUZES, A.M., *Visual Basic.NET: aplicações avançadas*. São Paulo: Érica, 2001, 326p.