

1 Introdução

O avanço do desenvolvimento científico e tecnológico está fortemente embasado no avanço da metrologia. Por sua vez a metrologia e qualidade estão intimamente relacionadas e constituem um poderoso instrumento de transformação da infraestrutura tecnológica de países e organizações, sendo ferramentas indispensáveis à melhoria de produtos e serviços que concorrem em mercados competitivos.

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade industrial (INMETRO) é o órgão máximo responsável pela conservação e manutenção das unidades de base e derivadas do Sistema Internacional de Unidades (SI) no país. [1]

A grandeza tensão em corrente contínua, até 1 kV, está disponível e rastreada a padrões nacionais na Rede Brasileira de Calibração (RBC) com seus diversos laboratórios acreditados, conforme ilustrado pela Fig. 1.

Área: ELETRICIDADE				
Serviços: MEDIDOR DE TENSÃO DC				
Faixa	Incerteza	Laboratório	UF	
>3 V até 10 V	0,0072 V	LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO	SP	
>3 V até 30 V	0,0015%	GERO COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.	SP	
>3,2 V até 1000 V	0,0092% até 0,020%	LABORATÓRIO DE METROLOGIA	SP	
>3,3 V até 33 V	0,002% + 68 µV	LABORATÓRIO DE METROLOGIA INDUSTRIAL	RJ	
>3,3 V até 33 V	0,0008 V até 0,0022 V	K&L LABORATÓRIO DE METROLOGIA	SC	
>3,3 V até 33 V	0,0014% + 0,15 mV	LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO PETROBRAS/E&P-SERVIUS-AP	RJ	
>3,3 V até 330 V	0,003%	LABORATÓRIO DE METROLOGIA DA CHESF	PE	
>3,3V a 33V	0,00017V a 0,00049V	LABORATÓRIO DE METROLOGIA	SC	
>30 V até 1000 V	0,0023%	GERO COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.	SP	
>30 V até 900 V	0,034 V	LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO	SP	
>300 mV até 1 V	0,072 mV	LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO	SP	
>300 mV até 400 mV	0,010%	LABORATÓRIO DE METROLOGIA ECL	SP	
>300mV até 3V	0,026mV até 0,26mV	ELUS Instrumentação	SP	
>300V até 1000V	±0,022V até ±0,086V	Laboratório de Metrologia Novus	RS	
>300V até 1050V	28mV até 96mV	ELUS Instrumentação	SP	

Figura 1 - Faixa da grandeza tensão em CC na RBC limitada em torno de 1 kV

Até hoje, não há nenhum laboratório no país acreditado de acordo com a norma ABNT NBR ISO 17025 [2] pelo INMETRO para prestar serviços para a indústria de equipamentos elétricos em Alta Tensão em Corrente Contínua (ATCC) acima de 1500 volts. Assim, o Brasil atualmente carece de infraestrutura

metrológica com laboratórios acreditados em alta tensão, seja para alta tensão alternada, contínua ou de impulsos de tensão/corrente.

A atuação do INMETRO, especificamente em ATCC teve início recentemente em 2008 com a aquisição de um padrão para até 150 kV, padronizando a grandeza tensão em corrente contínua na faixa de 1 kV a 150 kV com rastreabilidade ao “National Measurement Institute” da Austrália. [3]

Em conformidade à literatura especializada, a grandeza tensão em corrente contínua acima de 1500 volts será denominada “High Voltage Direct Current” (HVDC) em substituição a ATCC.

Atualmente uma nova infraestrutura metrológica está em fase de desenvolvimento nos países da União Européia para apoiar a transmissão em alta tensão em corrente contínua em níveis de trabalho de 800 kV.

Consequentemente, HVDC não pode ser mensurado com confiabilidade para efeitos de proteção ou de faturamento, a sua qualidade não pode ser monitorada com exatidão suficiente e os fabricantes de equipamentos também não podem determinar com exatidão/confiabilidade a eficiência dos equipamentos fabricados.

A transmissão de energia em HVDC é crucial para o sucesso na captação de fontes de energia renováveis e também para a interligação de energia desde a geração até os grandes centros de carga. Em especial, um programa de pesquisa da comunidade Européia (EURAMET) foi destinado para apoiar a metrologia para as necessidades da transmissão de energia em HVDC.

Este programa irá proporcionar melhorias para a presente infraestrutura da metrologia em HVDC, visando principalmente à exatidão nas medidas em HVDC, a determinação de perdas em sistemas de HVDC, a medições de qualidade de energia em subestações de HVDC e a medições CC. Este programa foi denominado “Metrology for High Voltage Direct Current” e teve início em setembro de 2010. [4]

O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) completou 35 anos em 2009 e sua história está inerentemente ligada ao setor elétrico brasileiro. Se este segmento evoluiu tanto nas últimas décadas foi porque o CEPEL trabalhou para criar soluções tecnológicas específicas para atender às peculiaridades do parque gerador nacional - que é predominantemente formado por hidrelétricas - e da

malha de transmissão que, para dar conta de um país continental como o Brasil, exige esforços no que tange à manutenção, segurança e confiabilidade desta rede.

Desde sua fundação, o CEPEL participa da formulação da política energética sob a responsabilidade do Ministério de Minas e Energia e conselhos políticos, e contribui também para o planejamento de longo prazo do setor. "O CEPEL faz o planejamento e a expansão do setor elétrico com exatidão", destaca o diretor-geral do CEPEL, Albert Cordeiro Geber de Melo.

Atualmente, o CEPEL está empenhado no desenvolvimento do projeto LongDist cujo objetivo é estudar e desenvolver novas tecnologias de linhas de transmissão de alta capacidade, em corrente alternada e em corrente contínua, para o transporte de grandes blocos de energia por longas distâncias com menor perda, como é o caso das interligações entre os subsistemas Norte, onde estão em implantação e em estudo várias usinas hidroelétricas (Belo Monte, Jirau, Santo Antonio e usinas do rio Tapajós, por exemplo) e os subsistemas Sudeste e Nordeste. Os estudos focam a transmissão em corrente alternada em tensões de até 1100 kV e de transmissão em corrente contínua em tensões de até 800 kV. Outro projeto, mas não menos importante é a atuação junto ao Ministério de Minas e Energia na concepção de novas usinas hidroelétricas na região da Amazônia, fundamentais para a interligação energética do país.

1.1. Objetivo

O objetivo desta dissertação é a construção de um protótipo de padrão metrológico de Divisor para Alta Tensão (DVAT) do tipo resistivo de alta impedância, para medição da grandeza tensão em corrente contínua na faixa de 1 kV a 50 kV. Será calibrado em baixa tensão e rastreado à RBC. Em alta tensão será o elo na cadeia de rastreabilidade entre o padrão do INMETRO [5] (com tensão nominal de 150 kV) e os divisores pertencentes aos laboratórios industriais. Pode também ser utilizado na calibração de outros padrões de trabalho para HVDC, principalmente na faixa de 1 kV até 250 kV.

Considerando, que o CEPEL tem interesse em acreditar os seus laboratórios, o novo padrão vai viabilizar a participação do laboratório do CEPEL em programas de comparação interlaboratorial com outros laboratórios de alta tensão

existentes no País e com o próprio INMETRO. Com isso cumpre outra exigência do processo de acreditação e assegura credibilidade internacional, dado que o INMETRO (organismo acreditador brasileiro de laboratórios) é signatário do acordo de reconhecimento mútuo com o *International Laboratory Accreditation* (ILAC).

Ou seja, esta dissertação contribui no processo de acreditação do laboratório de Referência em Medição de Alta Tensão do CEPTEL, para a medição de HVDC.

O protótipo construído foi desenvolvido em conformidade com os requisitos das normas IEC 60060 “High-voltage test techniques, Part 1: General definitions and test requirements” e Part 2: “Measuring systems”. [6 e 7]

A dissertação de Mestrado, além da construção do DVAT, responde às seguintes questões:

- Quais são as dificuldades para se obter um sistema de medição padrão em HVDC? O que diferencia esse sistema de outro para alta tensão em corrente alternada (ATCA)?
- Quais são as pesquisas em andamento sobre HVDC (Brasil / mundo)?
- Como está a estrutura metrológica no Brasil em alta tensão?
- Por que construir um divisor de tensão como padrão para HVDC?
- Este divisor de tensão até 50 kV poderá ser considerado um padrão?

Assim, o objetivo principal é projetar e construir um protótipo de padrão metrológico de Divisor de Alta Tensão (DVAT) do tipo resistivo, como padrão para HVDC com tensão nominal de 50 kV, de acordo com o diagrama elétrico básico mostrado na Figura 2. De acordo com as incertezas usuais nos processos de medição, pretende-se obter uma melhor capacidade de medição, em torno de 150 ppm (partes por milhão).

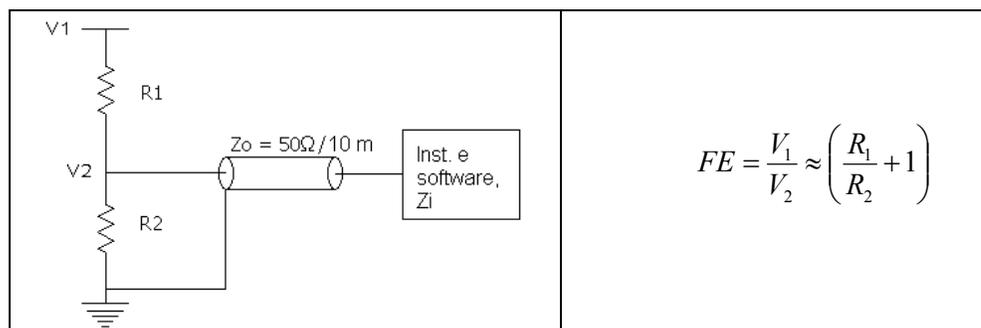


Figura 2 - Diagrama elétrico básico do sistema padrão de medição até 50 kV

Nesta expressão,
V1 – Tensão que se deseja medir (> 1 kV);
V2 – Fração medida da tensão (≤ 1 kV);
R1 e R2 – Componentes principais do divisor;
FE = Fator de escala;
Zo – Impedância do cabo de medição;
Zi – Impedância interna do instrumento.

1.2. Conceitos básicos

Caracterizam-se, a seguir, os conceitos básicos que fundamentam a dissertação. Alguns destes conceitos fazem parte do Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM). [1]

CC: Corrente contínua (em inglês, DC: direct current), também chamada de corrente galvânica, que é o fluxo constante e ordenado de elétrons sempre no mesmo sentido. São consideradas altas tensões em corrente contínua (ATCC ou HVDC) tensões maiores que 1500 volts.

Padrão: Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.

Rastreabilidade: Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

Intercomparação: Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por instrumentos de medição ou sistemas de medição a valores representados por medidas materializadas ou materiais de referência.

Calibração: Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

Acreditação: Atestação de terceira-parte relacionada a um organismo de avaliação da conformidade, comunicando a demonstração formal da sua competência para realizar tarefas específicas de avaliação da conformidade.

RBC: Rede Brasileira de Calibração – Criada em 1980 e constituída por laboratórios acreditados pelo INMETRO segundo os requisitos da norma NBR/ISO IEC 17025, a RBC congrega competências técnicas e capacitações vinculadas à indústria, universidades e institutos tecnológicos, habilitados para a realização de serviços de calibração.

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Sua missão é prover confiança à sociedade brasileira nas medições e nos produtos, por meio da metrologia e da avaliação da conformidade, promovendo a harmonização das relações de consumo, a inovação e a competitividade do País.

Laboratório acreditado: Aquele que deve submeter seus métodos e procedimentos internos e todo seu sistema de gestão, bem como sua política da Qualidade, ao órgão do qual pretende buscar este reconhecimento (acreditação).

DVAT: Divisor de alta tensão - Dispositivo que reduz a amplitude de uma determinada grandeza (geralmente tensão alternada com amplitude maior que 1000 V e tensão em corrente contínua maior que 1500 V) para níveis adequados às faixas de medição dos instrumentos.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação de Mestrado estrutura-se segundo os seguintes seis capítulos:

Capítulo 1: Introdução (motivação, contexto, problematização, objetivo, conceitos básicos e a estrutura da dissertação).

Capítulo 2: Padrões mundiais para medição de HVDC, histórico das grandezas tensão em corrente contínua e alternada, rastreabilidade em baixa tensão (BT), conceitos de sistemas de medição, normalização, laboratórios acreditados e rastreabilidade em alta tensão (AT).

Capítulo 3: Avanços da transmissão em HVDC, transmissão de energia em grande escala e tendências tecnológicas (fontes, transmissão, equipamentos etc).

Capítulo 4: Protótipo de padrão para HVDC até 50 kV.

- Definição do projeto (Unidade de alta e baixa tensão, transmissão do sinal, instrumentação, software);

- Especificação do material;

- Pesquisa sobre o elemento resistivo;

- Avaliação da estabilidade do material com a temperatura e tensão;

- Construção do protótipo.

Capítulo 5: Avaliação de desempenho do protótipo de padrão para HVDC.

- Ensaio normalizados de tipo e rotina;

- Comparação do protótipo para HVDC até 50 kV com o INMETRO;

- Cálculo da incerteza de medição ou melhor capacidade (PPM / MCM).

Capítulo 6: Conclusões e recomendações.**Referências bibliográficas**