

2 Padrões mundiais para medição de HVDC

Este capítulo apresenta um histórico da unidade de tensão elétrica (volt) para corrente contínua e alternada, desde sua descoberta no século XVIII até os dias de hoje. Descreve ainda suas aplicações e as ações que estão sendo implementadas no Brasil para garantir sua rastreabilidade, exatidão e qualidade, principalmente na faixa de tensões acima de 1000 V.

Investimentos recentes em infraestrutura laboratorial no CEPEL, mais especificamente no projeto LongDist, com a construção do laboratório de Ultra Alta Tensão (UAT) e também com a aquisição de fontes em corrente contínua de ± 800 kV, têm sido feitos visando ao desenvolvimento de novas concepções de linhas de alta capacidade, para a transmissão em larga escala de energia da região Norte para as regiões Sudeste e Nordeste. Um exemplo desse investimento em geração e transmissão de energia está relacionado com a transmissão do Rio Madeira e a construção de novas Usinas Hidroelétricas. [8]

Novos investimentos mobilizam a indústria e geram demanda para ensaios em novos equipamentos que serão instalados. Para realizar esses ensaios, de tal forma a garantir confiabilidade, exatidão e rastreabilidade, é necessária uma estrutura metrológica em Alta Tensão, ou seja, é preciso criar padrões e incentivar a acreditação de laboratórios.

Assim, neste capítulo são abordados pontos importantes como o Sistema Internacional de Unidades (SI), o histórico e a conservação do volt (que é uma unidade derivada do SI), conceitos e definições sobre sistemas de medição, padrões para tensão contínua e alternada em baixa tensão (BT) e alta tensão (AT), rastreabilidade e laboratórios acreditados.

2.1. Histórico da grandeza tensão

Alessandro Giuseppe Antonio Anastásio Volta, nascido em 18 de fevereiro de 1745, foi um físico Italiano conhecido especialmente pela invenção da bateria.

Volta nasceu e foi educado em Como, onde se tornou professor de física na Escola Real em 1774. Sua paixão sempre foi o estudo da eletricidade e, já como um jovem estudante, escreveu um poema em latim sobre sua nova e fascinante descoberta. *De vi attractiva ignis electrici ac phaenomenis inde pendentibus* foi seu primeiro livro científico [9]. Apesar de sua genialidade desde jovem, na infância teve certa dificuldade em começar a falar, ocorrendo somente aos 4 anos de idade, trazendo desconfiança da família sobre algum retardo em seu desenvolvimento. Em 1751, com 6 anos de idade, foi encaminhado pela família para a escola jesuítica, pois era de interesse familiar que seguisse carreira eclesiástica. Porém, em 1759, com 14 anos, decidiu estudar Física e anos depois abandonou a escola jesuítica e desistiu da carreira eclesiástica. Em 1775 ele criou o eletróforo, uma máquina que produzia eletricidade estática, e fez experimentos com ignições de gases por uma faísca elétrica em um tanque fechado.

2.1.1.

A Pilha de Volta

Por volta de 1780, o anatomista italiano Luigi Galvani (1737-1798), realizando experiências de anatomia com sapos, concluiu que a corrente elétrica tinha origem nos músculos animais.

Alessandro Volta partiu de um pressuposto diferente do de Galvani: o de que a eletricidade tinha origem nos metais. Como físico, Volta tentava provar que só existia um tipo de eletricidade: aquela estudada pelos físicos. Por isso, trocou os tecidos de organismos vivos por ferro, cobre e tecido molhado. Variando os metais usados, rapidamente se convenceu de que seu raciocínio estava correto.

Em 1800, Volta construiu um equipamento capaz de produzir corrente elétrica continuamente: a pilha de Volta, mostrada na Figura 3. Ele empilhou alternadamente discos de zinco e de cobre, separando-os por pedaços de tecido embebidos em solução de ácido sulfúrico. A pilha de Volta produzia energia elétrica sempre que um fio condutor era ligado aos discos de zinco e de cobre, colocados nas extremidades da pilha.

Em 1881, uma importante unidade elétrica, o volt (V), foi nomeada em homenagem a Volta. Volta aparecia nas notas de dez mil liras italianas, hoje já

fora de circulação. Também a cratera lunar “crater volta” recebeu este nome em sua homenagem.



Figura 3 - A pilha de Volta

2.1.2. O Sistema Internacional de Unidades (SI)

Para assegurar a unificação mundial das medidas físicas, em 1875, dezessete países, dentre eles o Brasil, selaram um acordo diplomático, conhecido como a “Convenção do Metro”, pelo qual seus signatários se comprometeram a adotar e aperfeiçoar um sistema único e internacional de unidades, que mais tarde passou a se chamar “Sistema Internacional de Unidades (SI)”. [10]

O SI possui sete unidades de base, como mostrado na Figura 4, a partir das quais podem-se obter as demais unidades (chamadas derivadas). Dentre as unidades de base, o amperè (A) é a única de eletricidade do SI. [10 e 11].

Amperè:

“corrente elétrica invariável que, mantida em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito e de área de seção transversal desprezível e situados no vácuo a 1 metro de distância um do outro, produz entre esses condutores uma força igual a $2 \cdot 10^{-7}$ N/m”

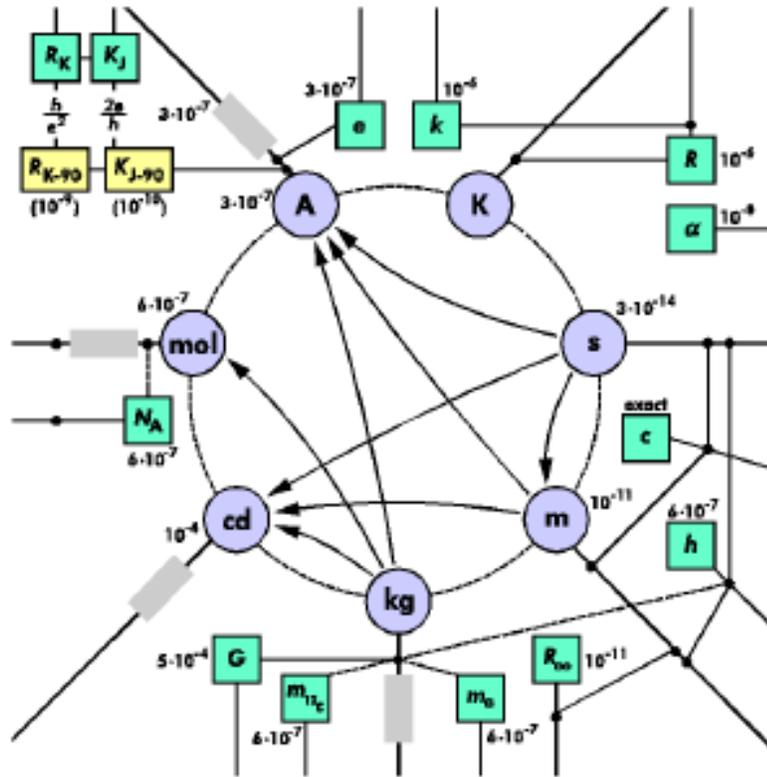


Figura 4 - Unidades de base do SI. Fonte: T. J. Queen (BIPM)

O volt é uma unidade derivada do SI e é definido como:

“tensão elétrica entre os terminais de um elemento passivo de circuito, que dissipa a potência de 1 W quando percorrido por uma corrente invariável de 1 A”

O ohm (Ω) também uma unidade derivada do SI é definido como:

“resistência elétrica de um elemento passivo do circuito que é percorrido por uma corrente invariável de 1 A, quando uma tensão elétrica constante de 1 V é aplicada aos seus terminais”

Entretanto, a realização do ampere, do ohm ou do volt, diretamente, segundo sua definição e com a exatidão metrológica possível, exige um trabalho longo e difícil. [10]

Com a necessidade crescente de medições cada vez mais exatas e reprodutíveis, diversas pesquisas foram realizadas para reduzir a incerteza na realização do volt do SI, conforme indicado na Figura 5. [12]

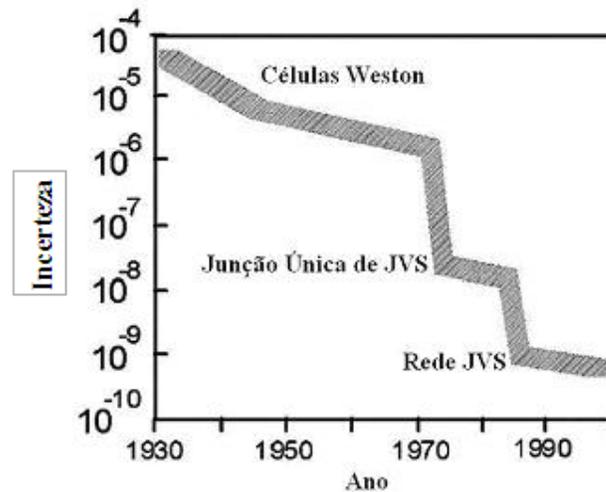


Figura 5 - Grau de incerteza na medição do volt ao longo de 7 décadas

Até 1972, a realização e conservação do volt era feita por meio de um banco de células Weston (pilhas padrão). Entretanto, devido aos problemas de estabilidade, esses padrões “artefatos” limitavam a incerteza e a uniformidade da grandeza. Esta uniformidade foi substancialmente melhorada com a descoberta do efeito Josephson. [13 e 14]

2.1.3. Efeito Josephson

O **efeito Josephson** é um efeito físico que se manifesta pela aparição de uma corrente elétrica que flui através de dois supercondutores fracamente interligados, separados apenas por uma barreira isolante muito fina. Esta disposição é conhecida como uma **Junção Josephson** e a corrente que atravessa a barreira é chamada de **Corrente Josephson**. Esses termos foram criados depois que o físico britânico Brian David Josephson previu a existência do efeito em 1962 [12], sendo comprovado um ano mais tarde, por Anderson e Rowell. Estes trabalhos valeram a Josephson o prêmio Nobel de Física em 1973, juntamente com Leo Esaki e Ivar Giaever. A equação de Josephson para a supercorrente através do túnel supercondutor é

$$I = I_c \operatorname{sen} \left[\left\{ \frac{4\pi e}{h} \right\} \int U dt \right], \quad (1)$$

Nesta expressão,

I é a corrente da junção, em A;
 I_c é a corrente crítica, em A;
 U é a tensão da junção, em V;
 e é a carga do elétron, $1,602177 \cdot 10^{-19}$ C;
 h é a constante de Plank, $6,6260689 \cdot 10^{-34}$ J.s.

Quando uma tal junção é submetida a uma tensão contínua U , a barreira isolante é atravessada por uma supercorrente alternada cuja frequência f (em Hz) se relaciona com a tensão U (em V) através da equação (2).

$$f = (2e/h) \cdot U = K_J \cdot U \quad (2)$$

Na equação (2),

K_J é a constante Josephson = $(2e/h)$.

Durante cada ciclo da oscilação um único “pacote” de fluxo magnético ($h/2e$) passa através da junção. Estas pequenas oscilações são bastante difíceis de serem medidas diretamente. [12]

Entretanto, se uma corrente alternada de frequência f for aplicada à junção, haverá uma corrente de polarização para a qual o pacote de fluxo magnético irá sincronizar-se com a frequência aplicada. Neste caso, a tensão média através da junção é exatamente $h \cdot f / (2 \cdot e)$. Este efeito, conhecido como “efeito Josephson ca”, é observado como um degrau de tensão constante em $U = h \cdot f / (2 \cdot e)$ na curva $V \times I$ da junção, como mostrado na Figura 6. Assim, em geral, tem-se que a tensão contínua U pode assumir uma série de valores sob a forma (3):

$$U = n_i \cdot (h/2e) \cdot f \quad (3)$$

Na equação (3),

n_i é o número do degrau da junção.

Pode-se observar na Figura 6 que os degraus quânticos de tensão, para uma dada frequência (f) e um dado n , são os mesmos, independentemente de variações construtivas na junção.

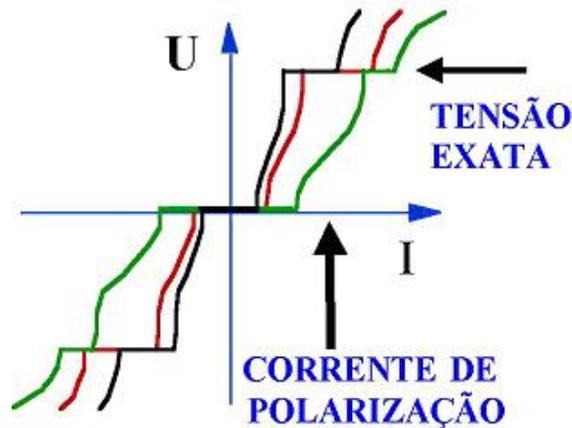


Figura 6 - Características $V \times I$ para 3 junções diferentes e $n_i = 1$

A estabilidade da tensão Josephson depende da estabilidade da frequência f , que é de uma parte em 10^{12} , o que supera as células Weston. Assim, no início dos anos 70, os Institutos Nacionais de Metrologia adotaram um valor para a constante de Josephson, $K_j = 2.e/h$, e passaram a utilizá-lo como o padrão de tensão. Contudo, devido a pequenas diferenças nos padrões nacionais existentes, valores diferentes de K_j foram adotados em diferentes países.

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), em 1988, adotou, por convenção, o valor $K_{j-90} = 483\,579,9$ GHz/V para a constante de Josephson, ou seja, um valor exato considerado exato por convenção, a partir de 1990. A incerteza em K_{j-90} é de 0,4 partes por milhão. A Figura 7 ilustra um “chip” da Junção Josephson em tamanho real, cuja dimensão é de aproximadamente 1 cm^2 .

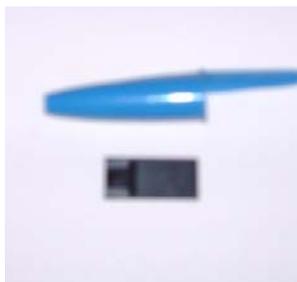


Figura 7 - “Chip” das junções Josephson em tamanho real

São apresentadas abaixo algumas incertezas típicas atualmente utilizadas na realização de algumas unidades do SI:

- volt** (unidade derivada) - em torno de 5.10^{-9} V,
- segundo** (unidade base) - em torno de 5.10^{-16} s,
- ohm** (unidade derivada) - em torno de 1.10^{-7} Ω.

2.2. Conceitos sobre sistemas de medição

De algumas unidades de microvolt (μV) até o limite máximo de 1000 V as medições são realizadas ou comparadas diretamente pelos instrumentos convencionais de medição. Entretanto, acima desse valor e até unidades de megavolt (MV) é necessária a atenuação da tensão em níveis que possam ser diretamente medidos pelos instrumentos. A redução do sinal deve ser a mais fiel possível e deve-se também observar outros fatores como: aspectos de segurança dos operadores desses instrumentos, relação sinal/ruído, compatibilidade eletromagnética, entre outros.

As formas de onda abordadas nesta dissertação se referem a ensaios realizados em Alta Tensão em Corrente Alternada (ATCA ou HVAC) e Alta Tensão em Corrente Contínua (ATCC ou HVDC), utilizadas em laboratórios de alta tensão para avaliar o comportamento dielétrico de equipamentos elétricos para alta tensão.

2.2.1. Sistema de Medição (SM)

É o conjunto completo de dispositivos adequados para medir. No caso de alta tensão ($>1000\text{ V}$) os componentes básicos do SM estão apresentados na Figura 8.

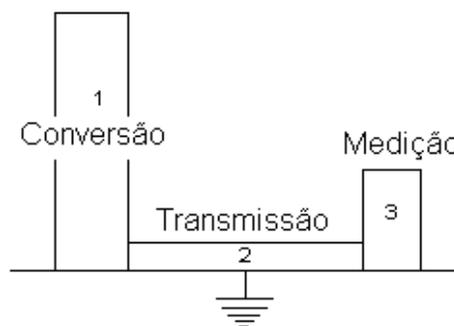


Figura 8 - Componentes básicos de um sistema de medição utilizado em alta tensão

1 - **Um dispositivo de conversão** (e.g.: divisor de tensão) com os condutores requeridos para conectar este dispositivo ao objeto sob ensaio ou ao circuito de corrente e às conexões de terra;

2 - **Um sistema de transmissão** (e.g.: cabo coaxial, via de fibra óptica) conectando os terminais de saída do dispositivo de conversão aos instrumentos indicadores ou de registro de sinais com seus circuitos e impedâncias de atenuação, terminação ou adaptação;

3 - **Instrumentos** indicadores ou de registro (e.g.: osciloscópios, digitalizadores, voltímetros) juntamente com quaisquer conexões para a fonte de alimentação.

2.2.2. Divisor de tensão

É um dispositivo de conversão composto por uma unidade de alta tensão e uma unidade de baixa tensão, tal que a tensão de entrada é aplicada nos terminais do dispositivo completo e a tensão de saída é obtida na unidade de baixa tensão, sendo diretamente proporcional à grandeza original.

Nota: Os elementos das duas unidades são usualmente resistores, capacitores ou combinações destes e o dispositivo é caracterizado pelo tipo e arranjo dos seus elementos (e.g.: resistivo, capacitivo ou RC-série ou universal, como mostrado na Figura 9).

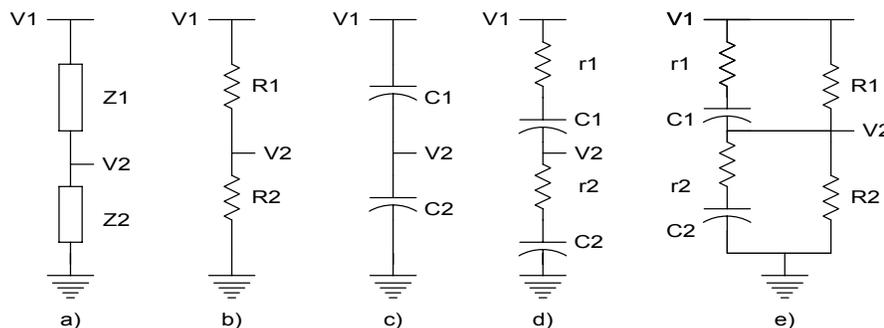


Figura 9 - Circuitos simplificados de diferentes Divisores de Alta Tensão (DVAT)

Neste esquemático,

- V_1 = Alta tensão a ser medida, V_2 = Fração medida da tensão;
- Z_1 = Impedância de alta tensão, Z_2 = Impedância de baixa tensão;
- a) DVAT geral;
- b) DVAT resistivo;
- c) DVAT capacitivo;
- d) DVAT misto RC-série;
- e) DVAT universal;
- R_1, C_1, r_1 = Componentes das unidades de alta tensão;
- R_2, C_2, r_2 = Componentes das unidades de baixa tensão.

2.3. Padrões para tensão contínua (CC ou DC)

2.3.1. Baixa tensão em corrente contínua (BTCC)

Para se obter tensões maiores com base no efeito Josephson é necessário um circuito “chip” capaz de distribuir uniformemente a fonte de microondas para alguns milhares de junções, cerca de 3600 para o “chip” de 1V e mais de 20000 junções para o “array” de 10 V.

O “chip” é soldado às conexões CC do bloco de um guia de onda, resfriado com hélio líquido a 4,2 K ou menos e, quando irradiado com uma onda de aproximadamente 5 mW a 75 GHz, gera degraus quânticos de tensão, que são a base para a representação do volt no SI.

A Figura 10 apresenta os principais instrumentos utilizados no efeito Josephson para baixa tensão. A Figura 11 ilustra a calibração das pilhas eletrônicas de 1,018V e 10 V utilizando o efeito Josephson. As incertezas das pilhas eletrônicas estão na faixa de 0,1 ppm.



Figura 10 - Conservação do padrão de tensão do INMETRO



Figura 11 - Conjunto de pilhas eletrônicas padrão do INMETRO de 1,018 V e 10 V

2.3.2. Alta tensão em corrente contínua (ATCC ou HVDC)

Para se medir alta tensão em corrente contínua pode-se utilizar divisores resistivos ou um resistor e um microamperímetro. Nesses casos deve-se observar que o valor da resistência tem que ser compatível com a potência da fonte de HVDC. As fontes de ensaio em HVDC são de baixa potência. Elas são dimensionadas para suprir ao objeto sob ensaio, e ao dispositivo de conversão, correntes máximas de algumas dezenas de miliamperes. Usualmente os divisores são projetados para que neles circule uma corrente máxima de 0,5 mA (resistência total da ordem de centenas de $M\Omega$), como mostrado na Figura 12. Na Figura 13 observa-se o padrão do INMETRO para HVDC até 150 kV ($U \cong 50$ ppm).

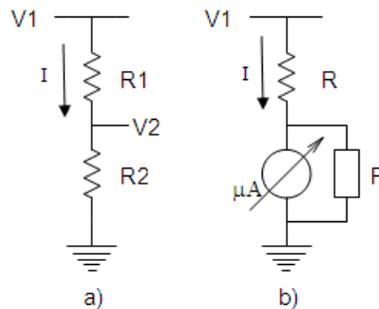


Figura 12 - Dispositivos de conversão para medição de tensão em HVDC

Neste esquemático,

- a) V_1 = Alta tensão a ser medida, V_2 = Fração medida da tensão nos instrumentos convencionais;

$$I = V_1 / (R_1 + R_2) \text{ e } V_2 = I \cdot R_2, \text{ subst.: } \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) \Rightarrow V_1 = FE \cdot V_2 \quad (4)$$

FE = Fator de escala;

R_1 = Resistência da unidade de alta tensão do divisor;

R_2 = Resistência da unidade de baixa tensão do divisor.

b) V_1 = Alta tensão a ser medida;

R = Resistência conhecida, em série com o microamperímetro;

μA = Microamperímetro para medição da corrente;

P = Proteção.



Figura 13 - Divisor padrão do INMETRO para HVDC até 150 kV

2.4.

Padrões para tensão alternada (CA)

2.4.1.

Baixa tensão em corrente alternada (BTCA)

O princípio de operação utiliza a tensão do efeito Josephson e, através do coeficiente de transferência AC/CC de transferidores térmicos que são previamente calibrados no “Physikalisch Technische Bundesanstalt” (PTB), pode-se obter tensões alternadas na faixa de 2 mV até 1000 V com frequência variando de 10 Hz até 1 MHz.

Os instrumentos utilizados para obtenção da tensão em corrente alternada estão apresentados na Figura 14.



Figura 14 - Instrumentos utilizados na transferência do padrão CC para CA

2.4.2.

Alta tensão em corrente alternada (ATCA ou HVAC)

Para medição de ATCA os dispositivos de conversão normalmente utilizados são: transformadores de potencial (TP indutivo e capacitivo) e divisores de tensão. Os componentes e as características principais destes sistemas são apresentados a seguir.

2.4.3.

Divisores de tensão

Estes dispositivos de conversão são mais comumente utilizados em laboratórios de alta tensão porque são mais leves, construtivamente mais simples e de menores dimensões para as mesmas tensões nominais. Além disso, são mais versáteis e práticos por permitirem o uso de diferentes fatores de atenuação e são de fácil manutenção.

Os divisores de tensão podem ser do tipo resistivo, capacitivo e misto.

Divisor Resistivo:

O divisor resistivo tem aplicação limitada em Sistemas de Medição de HVAC. Quanto maior o valor da tensão a ser medida, maior deve ser o valor da resistência total do divisor para limitar a potência dissipada. Porém, quanto maior for o valor desta resistência, maior será o efeito das capacitâncias parasitas para a terra no desempenho dinâmico do divisor. Este tipo de divisor, quando especialmente projetado e construído, pode ser utilizado para medições de HVAC

somente até cerca de 100 kV. Uma representação simplificada do divisor resistivo para aplicação em ATCA está mostrada na Figura 15.

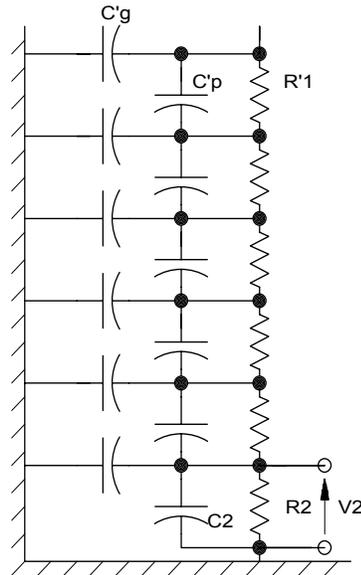


Figura 15 - Representação simplificada de um divisor de tensão resistivo

Neste esquemático,

- $R_1 = nR'1$ = Resistência da unidade de alta tensão,
- R_2 = Resistência da unidade de baixa tensão,
- $C'g$ = Capacitância parasita para a terra,
- $C'p$ = Capacitância parasita paralela a unidade de alta tensão,
- C_2 = Capacitância paralela a unidade de baixa tensão.

Desprezando o efeito das capacitâncias parasitas, o fator de escala (FE) de um divisor resistivo é dado por:

$$FE = \frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2} + 1 \quad (5)$$

Na equação (5),

- V_1 = Alta tensão a ser medida, V_2 = Fração medida da tensão;
- R_1 = Resistência total da unidade de alta tensão do divisor;
- R_2 = Resistência equivalente da unidade de baixa tensão (inclui também a resistência do instrumento).

Divisor Capacitivo:

O divisor capacitivo, apresentado na Figura 16, é mais utilizado na medição de HVAC devido à praticidade, bom comportamento dinâmico e elétrico. A unidade de alta tensão deste divisor pode ser um capacitor de alta tensão, a bucha capacitiva de um equipamento (transformador e reator) ou capacitâncias entre eletrodos de alta e baixa tensão. A unidade de baixa tensão é composta por capacitores dimensionados para o fator de escala desejado e considerando o instrumento a ser conectado. Este instrumento pode ser um voltímetro e/ou um osciloscópio.

Desprezando o efeito das capacitâncias parasitas para a terra, o fator de escala de um divisor capacitivo é dado por:

$$V_1 = I \cdot (1/C_1 + 1/C_2) \text{ e } V_2 = I \cdot 1/C_2, \text{ subst.: } FE = \frac{V_1}{V_2} = \frac{C_2}{C_1} + 1 \Rightarrow$$

$$V_1 = FE \cdot V_2 \quad (6)$$

Na equação (6),

C_1 = Capacitância total da unidade de alta tensão do divisor;

C_2 = Capacitância equivalente da unidade de baixa tensão (inclui também a capacitância do cabo de medição e do instrumento).



Figura 16 - Divisor padrão do INMETRO (divisor vermelho) para ATCA de 1-200 kV

2.5. Normalização em alta tensão

A IEC (“International Electrotechnical Commission”) tem como objetivo promover a cooperação internacional em todos os assuntos relacionados à padronização no campo da eletricidade e eletrônica. Atualmente existem duas normas que são a base para utilização em AT: a norma IEC 60060 “High-voltage test techniques, Part 1: “General definitions and test requirements” [6] de 1989 e Part 2: “Measuring systems” [7] de 1994. Essas duas normas são fundamentais para qualificação e utilização de sistemas de medição utilizados em ensaios com AT. A IEC, em conjunto com os comitês nacionais, vem trabalhando na revisão das normas IEC 60060-1 e 2. Recentemente, em outubro de 2010 a IEC 60060-1 foi revisada para sua terceira edição, e a IEC 60060-2 foi revisada em dezembro de 2010.

Hoje não há uma norma brasileira atualizada para qualificação de sistemas de medição utilizados em ensaios com alta tensão, pois as normas NBR 6938 (Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão – Guia de aplicação para dispositivos de medição) e NBR 6936 (Técnicas de ensaios elétricos em alta tensão), pois foram publicadas em novembro de 1981 e abril de 1992, respectivamente.

A IEC 60060-2 é uma norma internacional e é aplicada na medição de sistemas de medição completos ou seus componentes, utilizados em alta tensão durante ensaios na fábrica ou em laboratórios com tensão contínua, alternada, impulso atmosférico e impulso de manobra de acordo com os requisitos da IEC 60060-1.

A IEC 60060-2 define os termos utilizados, métodos para estimar a incerteza de medição, requisitos que um sistema de medição deve possuir para ser utilizado em alta tensão e os métodos e procedimentos para aprovação desse sistema.

Dentre os requisitos destacam-se a determinação do Fator de Escala real, comportamento dinâmico, resposta ao degrau, linearidade, tempo equivalente T_E (100 ms) para tensão CC, tolerâncias e incertezas.

Como não existem disponíveis padrões para as tensões de ensaio aplicadas nos diferentes ensaios dielétricos de equipamentos do sistema de potência e para

os níveis de tensões nominais mais elevadas, é possível, de acordo com a IEC, calibrar os sistemas de medição desde 20% até 100% da tensão nominal.

2.6. Equipamentos comerciais

Os calibradores comerciais são calibrados e rastreados aos processos metrológicos descritos nos itens 2.3.1 e 2.4.1. A Tabela 1 mostra alguns calibradores comercialmente utilizados e suas faixas de operação.

Tabela 1 - Especificação básica de calibradores comerciais multifunção

Calibrador	Grandeza	Faixa
Fluke 5700	Tensão CC	0 – 1100 V
	Tensão CA	220 mV – 1100 V (10Hz – 1 MHz)
	Resistência	0 – 100 MΩ
	Corrente CC	0 – ± 2,2 A
	Corrente CA	9 μA – 2,2 A (10Hz – 10 kHz)
Wavetek 9100	Tensão CC	0 – 1050 V
	Tensão CA	0 – 1050 V (40Hz – 20 kHz)
	Resistência	0 – 400 MΩ
	Corrente CC	0 – 20 A (1000 A)
	Corrente CA	0 – 1000 A (10Hz – 100 Hz)

2.7. Laboratórios e rastreabilidade em AT

O Brasil possui uma excelente estrutura metrológica em baixa tensão com diversos laboratórios acreditados. Entretanto, especificamente para tensão contínua, todos estão limitados à medição de tensão em torno de 1 kV (ver Fig. 1 – Cap. 1). Nessa lista de laboratórios acreditados estão incluídos os laboratórios: CTE.O de FURNAS, LACEN da ELETRONORTE, Laboratório de metrologia da CHESF, LAMEE da ELETROSUL e o próprio laboratório de calibração CA1 do CEPEL, e laboratórios de calibração como: (LABELO, PAME, LACTEC, IPT, INPE e IEE/USP). O site do INMETRO (www.INMETRO.gov.br) relaciona os laboratórios acreditados para medição de tensão contínua até 1kV.

Para calibração em ATCA, o Brasil possui hoje somente 5 (cinco) laboratórios estruturados para prestar serviços em alta tensão, e alguns deles ainda não acreditados. O INMETRO como Instituto Nacional de Metrologia – INM

possui um padrão para a faixa de 100 V a 200 kV e acreditou os laboratórios descritos na Tabela 2. São informadas também na Tabela 2 as faixas de aplicação e incertezas de medição dos laboratórios acreditados para ATCA.

Tabela 2 – Lista de laboratórios acreditados para ATCA

Instituição	Faixa de aplicação	Incerteza (U)
CEPEL (CA2)	10 kV – 180 kV	0,53%
IPT	10 kV – 100 kV	0,12%
IEE/USP	1 kV – 35 kV	0,20%
LABELO/PUCRS	1,1 kV – 12 kV	0,34%
SETTING	1 kV – 40 kV	2,9%

Pode-se observar também no site que não se tem laboratórios acreditados em HVDC, tendo o INMETRO somente um padrão de tensão utilizado na faixa de 100 V até 150 kV.

Comparação interlaboratorial em HVDC.

Conforme já citado no 1º capítulo, como contribuição para a rastreabilidade em HVDC foi realizada em 2004 uma intercomparação entre padrões internacionais para divisores resistivos em HVDC chamado “Euromet 495 Comparison of High Direct Voltage Measurements up to 100 kV”. [15]

No site do “Bureau International des Poids et Mesures” (BIPM) pode-se observar os Institutos Nacionais de Metrologia (INM) com os padrões para medição de HVDC. Na Tabela 3 são mostrados alguns dos INM com as faixas de tensão e as incertezas para medição de HVDC.

Tabela 3 - INM com seus padrões para HVDC

INM	Faixa de tensão	Incerteza (U)
NMIA (Austrália)	5 kV – 150 kV	$10 \cdot 10^{-6}$
	150 kV – 300 kV	$50 \cdot 10^{-6}$
	300 kV – 700 kV	1%
LCOE (Espanha)	1 kV – 200 kV	$1,0 \cdot 10^{-6}$
PTB (Alemanha)	1 kV – 100 kV	$2,0 \cdot 10^{-6}$
	101 kV – 300 kV	$10 \cdot 10^{-6}$
NPLI (Índia)	1 kV – 100 kV	$200 \cdot 10^{-6}$
NRC (Canadá)	50 kV	$20 \cdot 10^{-6}$
	100 kV	$55 \cdot 10^{-6}$
	200 kV	$100 \cdot 10^{-6}$
INRIM (Itália)	200 kV	$100 \cdot 10^{-6}$
MIKES (Finlândia)	1 kV – 50 kV	$50 \cdot 10^{-6}$
	50 kV – 100 kV	$100 \cdot 10^{-6}$
	100 kV – 200 kV	$200 \cdot 10^{-6}$

As Figuras 17 e 18 ilustram, respectivamente, as cadeias de rastreabilidade para HVDC e ATCA no Brasil.

Como uma contribuição à Metrologia o padrão metrológico objeto dessa dissertação associado a sua incerteza de medição será inserido na cadeia de rastreabilidade para HVDC.

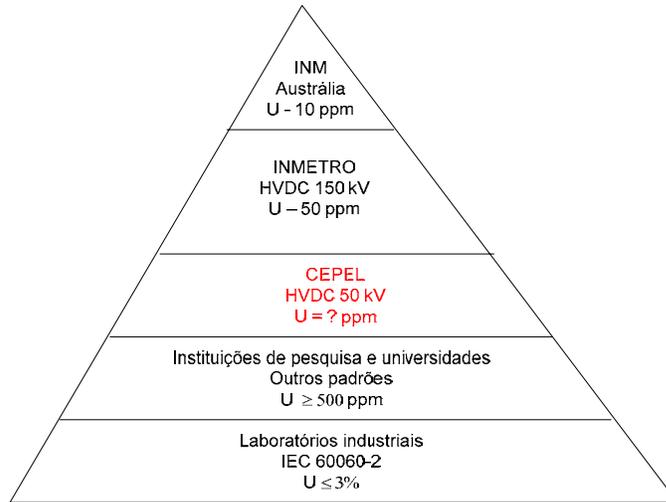


Figura 17 - Cadeia de rastreabilidade para HVDC

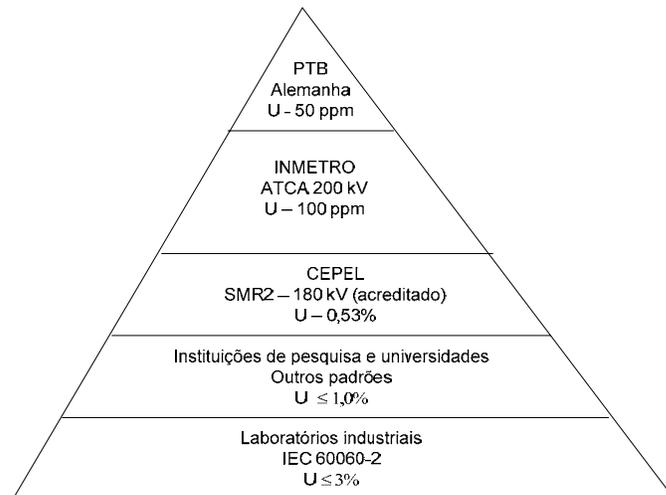


Figura 18 - Cadeia de rastreabilidade para ATCA