

# Metrologia Elétrica

Gean Marcos Geronymo

27 de julho de 2023



# Sumário

<b>I</b>	<b>Noções de Metrologia Elétrica</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
1.1	Sistema Internacional de Unidades - SI . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Padronização</b>	<b>5</b>
2.1	Resistência Elétrica . . . . .	5
2.2	Capacitância e Indutância . . . . .	5
2.2.1	Circuitos em corrente alternada . . . . .	5
2.3	Tensão Elétrica . . . . .	5
2.4	Transferência AC-DC . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Calibração de Medidores e Fontes</b>	<b>7</b>



# Lista de Figuras



# Lista de Tabelas

1.1	Constantes definidoras do SI. . . . .	3
1.2	Unidades de base do SI. . . . .	3
1.3	Fatores de multiplicação. . . . .	4





## Parte I

# Noções de Metrologia Elétrica



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Sistema Internacional de Unidades - SI

O Sistema Internacional de Unidades (SI) [1, 2] é a base da metrologia moderna. Antes da redefinição em 2019, o SI era definido através de sete unidades de base, a partir das quais as unidades derivadas eram obtidas através de operações matemáticas de multiplicação e potenciação, combinando as unidades de base. Após a redefinição do SI, com a fixação dos valores numéricos de sete constantes definidoras, em princípio essa distinção não é mais necessária, já que tanto as unidades de base quanto as unidades derivadas podem ser expressas diretamente em função das constantes definidoras. Entretanto, o conceito de unidades base e unidades derivadas foi mantido por razões históricas e por compatibilidade com normas estabelecidas.

A definição formal do SI desde 2019 [1, 2] é baseada em sete constantes definidoras, apresentadas na Tabela 1.1. O valor numérico das constantes definidoras possui incerteza nula. As unidades das constantes definidoras, hertz (Hz), joule (J), coulomb (C), lumen (lm) e watt (W) são relacionadas às unidades de base (ver Tabela 1.2) segundo (s), metro (m), quilograma (kg), ampere (A), kelvin (K), mole (mol) e candela (cd) de acordo com:

- $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
- $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
- $\text{C} = \text{A s}$
- $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}_{-2} = \text{cd sr}$  (onde sr é o ângulo sólido)
- $\text{W} = \text{m}^2 \text{s}^{-3}$

Tabela 1.1: Constantes definidoras do SI.

Constante	Símbolo	Valor numérico	Unidade
frequência de transição hiperfina do Cs	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
velocidade da luz no vácuo	$c$	299 792 458	$\text{m s}^{-1}$
constante de Planck	$h$	$6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$	J s
carga elementar	$e$	$1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$	C
constante de Boltzmann	$k$	$1,380\,649 \times 10^{-23}$	$\text{J K}^{-1}$
constante de Avogadro	$N_A$	$6,022\,140\,76 \times 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$
eficácia luminosa	$K_{cd}$	683	$\text{lm W}^{-1}$

Tabela 1.2: Unidades de base do SI.

Grandeza	Unidade	Símbolo
tempo	segundo	s
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
corrente elétrica	ampere	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mole	mol
intensidade luminosa	candela	cd

A Tabela 1.3 apresenta os fatores de multiplicação das unidades do SI. Os fatores de multiplicação mais utilizados em Metrologia Elétrica estão destacados em negrito.

Tabela 1.3: Fatores de multiplicação.

Fator	Nome	Símbolo
$10^{24}$	yotta	Y
$10^{21}$	zeta	Z
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
<b><math>10^{12}</math></b>	<b>tera</b>	<b>T</b>
<b><math>10^9</math></b>	<b>giga</b>	<b>G</b>
<b><math>10^6</math></b>	<b>mega</b>	<b>M</b>
<b><math>10^3</math></b>	<b>kilo</b>	<b>k</b>
$10^2$	hecto	h
$10^1$	deka	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
<b><math>10^{-3}</math></b>	<b>mili</b>	<b>m</b>
<b><math>10^{-6}</math></b>	<b>micro</b>	<b><math>\mu</math></b>
<b><math>10^{-9}</math></b>	<b>nano</b>	<b>n</b>
<b><math>10^{-12}</math></b>	<b>pico</b>	<b>p</b>
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

## Capítulo 2

# Padronização

### 2.1 Resistência Elétrica

Segundo a Lei de Ohm, a resistência elétrica  $R$  de um condutor, em ohms ( $\Omega$ ), é a razão da diferença de potencial  $V$ , em volts (V), aplicada a esse condutor, e da corrente elétrica  $I$  em amperes (A) fluindo através do mesmo condutor:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

A resistência elétrica também pode ser determinada em função das características do material, através da equação:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (2.2)$$

onde  $\rho$  é a resistividade elétrica do condutor, em ohm-metro ( $\Omega \cdot \text{m}$ ),  $l$  é o comprimento do condutor, em metros, e  $A$  é área da seção transversal do condutor, em metros quadrados.

Entretanto, experimentos mais precisos mostram que a resistência elétrica também é função da temperatura e até mesmo da presença de tensão mecânica no condutor [3]. Com base nesses fenômenos, foram desenvolvidos transdutores<sup>1</sup> para a medição de temperatura, pequenos deslocamentos, pressão em líquidos, dentre outros. Além disso, a corrente elétrica, que é uma grandeza de base do SI, normalmente é medida através da diferença de potencial em um resistor conhecido. De fato, uma grande parte das grandezas elétricas é medida usando métodos que envolvem de alguma forma a medição de resistência.

### 2.2 Capacitância e Indutância

#### 2.2.1 Circuitos em corrente alternada

### 2.3 Tensão Elétrica

### 2.4 Transferência AC-DC

---

<sup>1</sup>Transdutor é um dispositivo utilizado em conversão de energia de uma natureza para outra. São muito utilizados para converter grandezas como posição, velocidade, temperatura, luz, pressão, etc. em sinais elétricos.



## Capítulo 3

# Calibração de Medidores e Fontes





# Referências Bibliográficas

- [1] BIPM, *Le Système international d'unités / The International System of Units ('The SI Brochure')*. Bureau international des poids et mesures, 9a. ed., 2019.
- [2] BIPM, *Sistema Internacional de Unidades (SI) / Tradução do Grupo de Trabalho luso-brasileiro do Inmetro e IPQ*. Inmetro / IPQ, 9a. ed., 2021.
- [3] Fluke, *Calibration: Philosophy in Practice*. Fluke, 2a. ed., 1994.