



**Universidade Federal do Paraná**  
**Setor de Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia Elétrica**

Apostila

# **MEDIDAS ELÉTRICAS**

Prof. Dr. Marlio Bonfim

Curitiba, 2002

# SUMÁRIO

<b>Definição de Medida</b> .....	<b>1</b>
<b>Sistema de unidades</b> .....	<b>1</b>
<b>Sistema Internacional (SI)</b> .....	<b>1</b>
<i>Grandezas fundamentais:</i> .....	2
<i>Grandezas elétricas derivadas:</i> .....	2
<b>Análise estatística de dados em medidas</b> .....	<b>3</b>
<b>Noções de exatidão, precisão e resolução</b> .....	<b>3</b>
<b>Tratamento de erros em medidas</b> .....	<b>4</b>
<i>Média Aritmética <math>\bar{x}</math>:</i> .....	5
<i>Distribuição normal ou curva Gaussiana :</i> .....	5
<i>Significado do erro (ou desvio) padrão :</i> .....	6
<i>Erro Limite L :</i> .....	6
<i>Determinação do valor mais provável <math>x_p</math>:</i> .....	6
<i>Intervalo de Confiança</i> .....	7
<b>Noções de Padrão, Aferição e Calibração</b> .....	<b>7</b>
<b>Padrões de Grandezas Elétricas</b> .....	<b>7</b>
<b>Medidores de Grandezas Elétricas I</b> .....	<b>8</b>
<b>Seletores de Escala em Medidores</b> .....	<b>13</b>
<i>Seletores em Amperímetros:</i> .....	14
<i>Seletores em Ohmímetros:</i> .....	14
<b>Erros introduzidos por medidores</b> .....	<b>14</b>
<b>Medida de sinais AC em multímetros</b> .....	<b>15</b>
<i>Retificador de Precisão de ½ Onda</i> .....	16
<i>Retificador de Precisão de Onda Completa</i> .....	17
<b>Medida do valor eficaz (RMS) de um sinal AC</b> .....	<b>19</b>
<b>Medida do Valor RMS Verdadeiro</b> .....	<b>20</b>
<i>Medida do Valor RMS Verdadeiro pela Potência Dissipada em Resistor</i> .....	21
<b>Medidores de Grandezas Elétricas II</b> .....	<b>21</b>
• <i>Capacímetro:</i> .....	22
<b>Medidores de Impedância Complexa</b> .....	<b>24</b>
<b>Frequencímetro</b> .....	<b>25</b>
<i>a) Conversor frequência–tensão (F-V):</i> .....	25
<i>b) Frequencímetro digital:</i> .....	26
<b>Medidores de Potência (Wattímetros)</b> .....	<b>27</b>
<i>Conceitos Gerais para Sinais Alternados</i> .....	27
<i>Para Sinais Senoidais</i> .....	27

<b>Medidores de Energia .....</b>	<b>29</b>
<b>Osciloscópio.....</b>	<b>31</b>
<i>Osciloscópio Analógico.....</i>	<i>31</i>
▪ <i>Tubo de raios catódicos (TRC): .....</i>	<i>31</i>
▪ <i>Varredura vertical:.....</i>	<i>32</i>
▪ <i>Varredura horizontal: .....</i>	<i>32</i>
▪ <i>Sincronismo horizontal: .....</i>	<i>33</i>
<i>Caraterísticas e limitações:.....</i>	<i>34</i>
<i>Características de varredura vertical:.....</i>	<i>34</i>
<i>Características do sincronismo horizontal.....</i>	<i>36</i>
<i>Acessórios e Ajustes do feixe na tela .....</i>	<i>39</i>
<b>Considerações gerais sobre medidas elétricas.....</b>	<b>41</b>
<i>Medidas de distorções, ruído e relação sinal/ruído (S/N) .....</i>	<i>41</i>
<i>Distorção: .....</i>	<i>41</i>
▪ <i>Distorção Linear:.....</i>	<i>41</i>
▪ <i>Distorção não Linear ou Harmônica:.....</i>	<i>42</i>
<i>Ruído.....</i>	<i>43</i>
<i>Medida de distorção:.....</i>	<i>44</i>
<i>Medida de Ruído.....</i>	<i>44</i>
<b>Conversores Digital/Analógico (D/A) e Analógico/Digital (A/D).....</b>	<b>46</b>
<i>Características importantes e comuns aos conversores D/A e A/D: .....</i>	<i>46</i>
1) <i>Faixa dinâmica.....</i>	<i>46</i>
2) <i>Resolução .....</i>	<i>46</i>
3) <i>Tempo de conversão.....</i>	<i>47</i>
4) <i>Erro de linearidade .....</i>	<i>47</i>
<i>Conversores Digital / Analógico (D/A) .....</i>	<i>47</i>
a) <i>D/A com resistores ponderados.....</i>	<i>47</i>
b) <i>Rede de resistores R-2R .....</i>	<i>49</i>
<i>Conversores Analógico/Digital (A/D) .....</i>	<i>50</i>
<i>Conversor A/D Paralelo ou Flash .....</i>	<i>50</i>
<i>Conversor A/D de Rampa Simples.....</i>	<i>51</i>
<i>Conversor A/D de Rampa Dupla .....</i>	<i>52</i>
<i>Considerações Gerais Sobre Conversores A/D .....</i>	<i>53</i>
<b>Osciloscópio Digital.....</b>	<b>55</b>
<i>Principais Vantagens dos Osciloscópios Digitais .....</i>	<i>56</i>
<i>Amostragem do sinal em Tempo Real.....</i>	<i>56</i>
<i>Sub-Amostragem do sinal (Aliasing).....</i>	<i>57</i>
<i>Amostragem do sinal em Tempo Equivalente.....</i>	<i>58</i>
<i>Profundidade de Memória Horizontal.....</i>	<i>58</i>
<i>Processamento Digital do Sinal .....</i>	<i>59</i>
<b>Analizador de Espectros.....</b>	<b>61</b>
<i>Tipos de analisadores de espectro: .....</i>	<i>63</i>
<i>Analizador de espectros com banco de filtros : .....</i>	<i>63</i>
<i>Analizador de espectros por varredura : .....</i>	<i>64</i>
<i>Princípio de funcionamento : .....</i>	<i>66</i>
<i>Parâmetros importantes de um Analizador de Espectros: .....</i>	<i>69</i>
<i>Faixa de frequência .....</i>	<i>69</i>

<i>Exatidão</i> .....	70
<i>Sensibilidade</i> .....	71
<i>Resolução em frequência</i> .....	71
<i>Distorção</i> .....	72
<i>Faixa dinâmica</i> .....	73
<i>Analisador de espectros por FFT</i> : .....	73
<i>Janelamento do sinal</i> .....	75
<b>Medidas elétricas em altas frequências</b> .....	<b>77</b>
<i>Propagação de uma onda eletromagnética (OEM) num condutor:</i> .....	77
<i>Casamento de impedâncias</i> .....	79
<i>Impedância característica de um cabo</i> .....	80
<i>Reflexão de sinais</i> .....	86
<i>Reflexão de sinais - análise de casos particulares</i> .....	90
a) <i>Ondas estacionárias em cabos (VSWR)</i> .....	90
b) <i>Transitório (função degrau) com cargas complexas</i> .....	91