

# **Universidade de Brasília**

**FGA0100 - Prática de física dos dispositivos  
eletrônicos – 2024/2**



## **Experimento 4 – LDR**

**Por:**

Kece Line Oliveira 19/0110791  
André Jacinto Rodrigues 22/1007822

Brasília  
11 de dezembro de 2024

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
1.1	Objetivo do Experimento . . . . .	2
1.2	Fundamentação Teórica . . . . .	2
1.3	Revisão da Literatura . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Materiais e Equipamentos</b>	<b>4</b>
2.1	Equipamentos Eletrônicos . . . . .	4
2.2	Componentes Eletrônicos . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Metodologia Experimental</b>	<b>6</b>
3.1	Etapa I: Medição com o Circuito 1 . . . . .	6
3.2	Etapa II: Medição com o Circuito 2 . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>9</b>
4.1	Etapa I . . . . .	9
4.2	Etapa II . . . . .	11
4.2.1	Resultados . . . . .	11
4.2.2	Cálculos . . . . .	12
4.3	Discussão . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>13</b>
5.1	Materiais usados em LDRs para a região do infravermelho . . . . .	13
5.2	Influência da temperatura nos materiais . . . . .	13
5.3	Aplicações tecnológicas dos LDRs . . . . .	13

# 1 Introdução

## 1.1 Objetivo do Experimento

Este relatório apresenta a análise experimental do funcionamento do LDR (Light Dependent Resistor), um dispositivo semicondutor cuja resistência elétrica varia em função da intensidade luminosa incidente. A prática envolveu a montagem de um circuito simples para medir a resistência do LDR sob diferentes condições de luminosidade, em um ambiente controlado, utilizando multímetros e controlando o fluxo de corrente em um LED. Dessa forma, este experimento tem como objetivos:

- Estudar o princípio do efeito fotocondutivo em materiais semicondutores e como ele se aplica ao comportamento do LDR.
- Verificar experimentalmente como a variação da intensidade luminosa afeta a resistência elétrica do LDR.
- Investigar aspectos como tempo de resposta, sensibilidade e interferências que podem afetar a precisão do dispositivo em diferentes aplicações.

## 1.2 Fundamentação Teórica

Os primeiros estudos sobre a relação entre luz e condutividade elétrica remontam ao final do século XIX, com a descoberta do efeito fotocondutivo em materiais semicondutores [1]. Este efeito, que ocorre quando a luz promove elétrons para a banda de condução de um material, foi explorado comercialmente em dispositivos como o LDR a partir da década de 1930 [2]. Desde então, o LDR tem sido amplamente utilizado devido à sua simplicidade, baixo custo e sensibilidade à luz visível.

Teoricamente, o comportamento do LDR pode ser explicado pelo modelo de semicondutores, onde a energia dos fôtons incidentes é suficiente para excitar elétrons de sua banda de valência para a banda de condução [3], reduzindo a resistência elétrica do material. A relação matemática entre a resistência do LDR e a intensidade luminosa geralmente segue uma lei exponencial ou potência inversa.

## 1.3 Revisão da Literatura

O funcionamento básico de um LDR (Light Dependent Resistor) baseia-se na variação da resistência elétrica de um material semicondutor em resposta

à intensidade de luz incidente sobre sua superfície [4]. O LDR utiliza materiais como o sulfeto de cádmio (CdS), cuja condutividade elétrica é altamente sensível à luz visível [1]. Esse comportamento está ligado ao efeito fotocondutivo, que ocorre quando fótons de luz com energia suficiente incidem sobre o material semicondutor [1]. Esses fótons excitam elétrons da banda de valência para a banda de condução, aumentando o número de portadores de carga disponíveis para conduzir corrente elétrica. Assim, a resistência elétrica do LDR diminui à medida que a intensidade luminosa aumenta.

**Criação e Recombinação de Pares Elétron-Buraco**

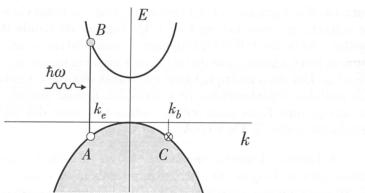


Figura 5.5: Absorção de um fóton de energia  $\hbar\omega$  e vetor de onda desprezível acompanhada da criação de um par elétron-buraco em semicondutor de gap direto.

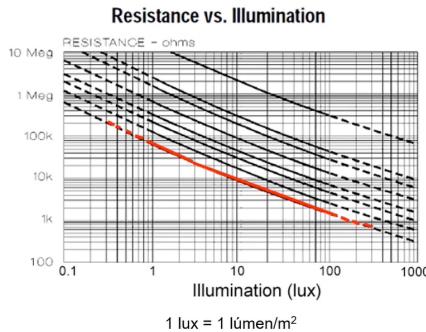
$$J = (\sigma_n + \sigma_p)\mathcal{E} = \sigma\mathcal{E}$$

$$\sigma = e(n_0 \mu_n + p_0 \mu_p)$$

10

Figura 1: Criação de Pares Elétron Buraco

A resposta do LDR segue, geralmente, uma relação não linear, onde a resistência é inversamente proporcional a uma potência da intensidade luminosa. Em ambientes escuros, a resistência do LDR é alta, dificultando a passagem de corrente. Em contrapartida, sob forte iluminação, sua resistência pode cair para valores muito baixos, facilitando o fluxo de corrente.



4

Figura 2: Gráfico Resistência x Iluminação

A relação entre a condutância no LDR e a corrente no LED é dada pelas expressões abaixo. Nestas, as constantes C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> são usadas para simplificar o cálculo proveniente de várias constantes relacionadas à distribuição de elétrons e lacunas nas bandas de condução e valência do semi condutor vistas em:

$$\text{Modelo: } I_{LDR} = \left[ C_1 \sqrt{I_{LED}} + C_2 \right] V_{LDR}$$

$$\text{Condutância do LDR: } G_{LDR} = C_1 \sqrt{I_{LED}} + C_2$$

Figura 3: Modelo Matemático do LDR

## 2 Materiais e Equipamentos

### 2.1 Equipamentos Eletrônicos

- **Multímetros (x2)**

Utilizado para medir tensão, corrente e resistência no circuito.

Para a Parte 1, um deles será usado no modo ohmímetro para medir a resistência do LDR e o outro estará no modo voltímetro para medir a tensão V<sub>2</sub>.

Para a Parte 2, estes serão usados no modo voltímetro para medir as tensões V<sub>R2</sub> e V<sub>R1</sub>.

Modelos: ET-1110A / DT9205A



Figura 4: Imagem ilustrativa do multímetro ET-1110A



Figura 5: Imagem ilustrativa do multímetro DT9205A

- **Fontes DC (x2)**

Empregada para alimentar o circuito com uma tensão contínua e estável. Para a Parte 1, apenas uma delas será utilizada para variar a tensão  $V_2$  enquanto se monitora a resistência do LDR. Para a Parte 2, uma delas estará fixada em 12 V enquanto se varia a tensão de outra para atingir  $V_{R2alvo}$ . Modelos: MPL-3305M.



Figura 6: Imagem ilustrativa da fonte MPL-3305M

## 2.2 Componentes Eletrônicos

- **LDR (5 mm)**

Responsável pela conversão de energia luminosa em condutância.

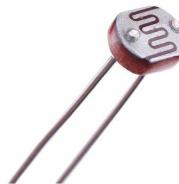


Figura 7: Imagem ilustrativa do LDR utilizado

- **LED Branco (5 mm)**

Utilizado no circuito para variar a quantidade de luz que chega ao LDR.



Figura 8: Imagem ilustrativa do LED Branco

- **Resistores  $1k\Omega$  (x2)**

Serão utilizados para regular a corrente no LED e para comparar as tensões nestes na Parte 2.

$$R_1 = 993 \pm 0,05 [\Omega]$$

$$R_2 = 981 \pm 0,05 [\Omega]$$



Figura 9: Imagem ilustrativa do resistor  $1k\Omega$

### 3 Metodologia Experimental

#### 3.1 Etapa I: Medição com o Circuito 1

Os passos realizados foram os seguintes:

1. Montagem do circuito da figura abaixo:

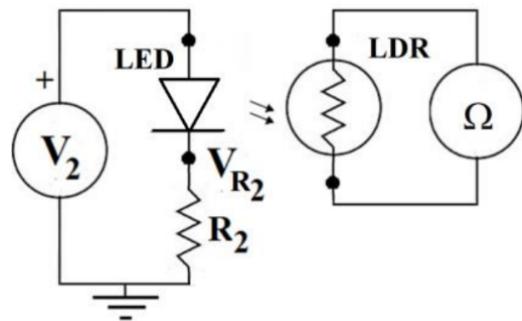


Figura 10: Esquemático do Circuito 1



Figura 11: Circuito 1 montado

2. Variar a tensão da fonte e medir a resistência do LDR para preencher a tabela.

### 3.2 Etapa II: Medição com o Circuito 2

Para a etapa 2, foi necessário:

1. Configurar uma das fontes com 12 V ( $V_1 = 12V$ )

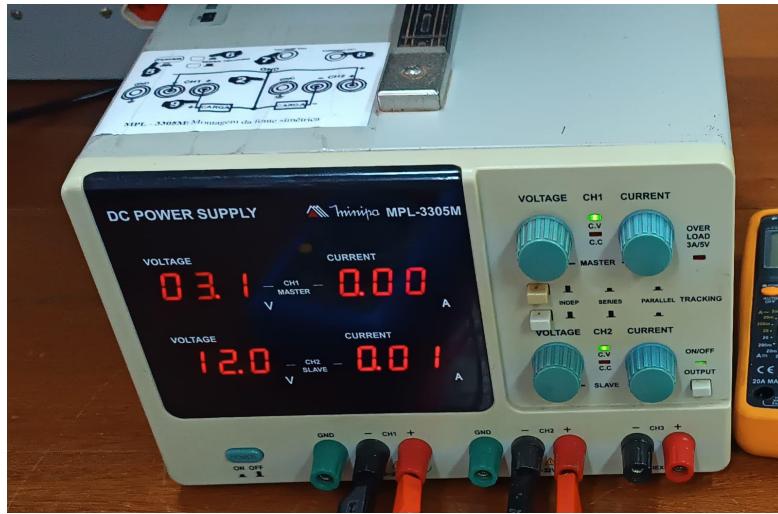


Figura 12: Fonte DC em 12 V

## 2. Montagem do Circuito 2:

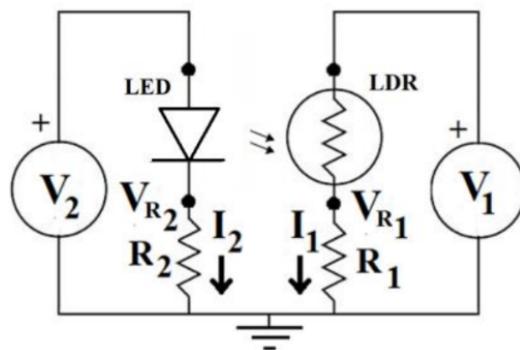


Figura 13: Esquemático do Circuito 2

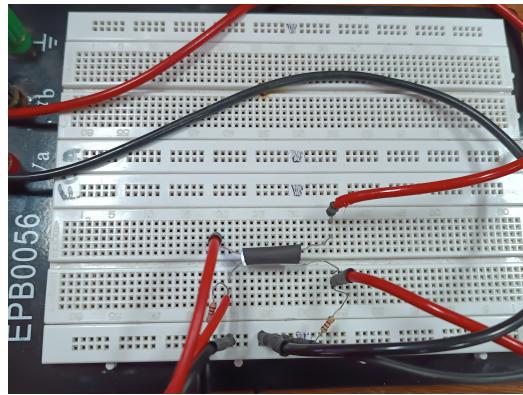


Figura 14: Montagem do Circuito 2

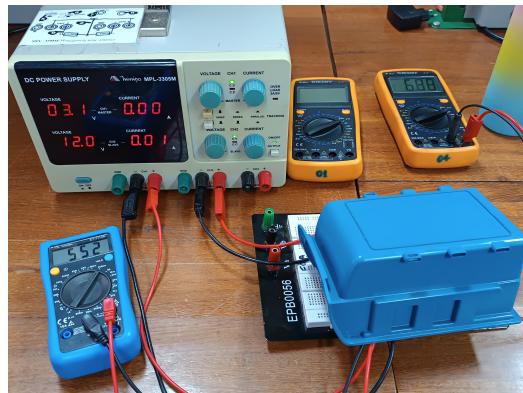


Figura 15: Vista melhor do Circuito 2

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Etapa I

No experimento de variação da tensão no circuito 1, os resultados obtidos foram:

- Tabela preenchida:

<b>V<sub>R2</sub> alvo [V]</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>3,0</b>
<b>V<sub>R2</sub> [V]</b>	0	0.530	1.000	1.507	2.00	2.51	3.00
<b>R<sub>LDR</sub> [Ω]</b>	2.60M	1.25K	0.820K	0.640K	0.545K	0.482	0.438

↑  
descartar

Figura 16: Tabela do Circuito 1 preenchida

- Gráfico exigido modificando o arquivo LED\_LDR\_MQ\_1.sce:

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 #Programa: LED_LDR_MQ_1.sce
4 #Ajuste do Modelo Não-linear do LED e LDR
5 #Dados Experimentais - 1
6 N = 6
7 #Descartando ponto com Iled = 0, onde o LED está apagado.
8 R2 = 981 #[ohms]
9 VR2 = np.array([0.530, 1.0, 1.507, 2.0, 2.51, 3.0]) #[V]
10 Iled = VR2/R2 #[A]
11 Rldr = np.array([1.25e3, 0.820e3, 0.64e3, 0.545e3, 0.482e3, 0.438e3])#[ohms]
12
13 plt.plot(Iled,Rldr,'or')
14 plt.ylabel('Rldr [ohms]')
15 plt.xlabel('Iled [A]')
16 plt.title('Resistência do LDR vs. Corrente do LED')
17 plt.show()

```

Figura 17: Código Modificado do Circuito 1

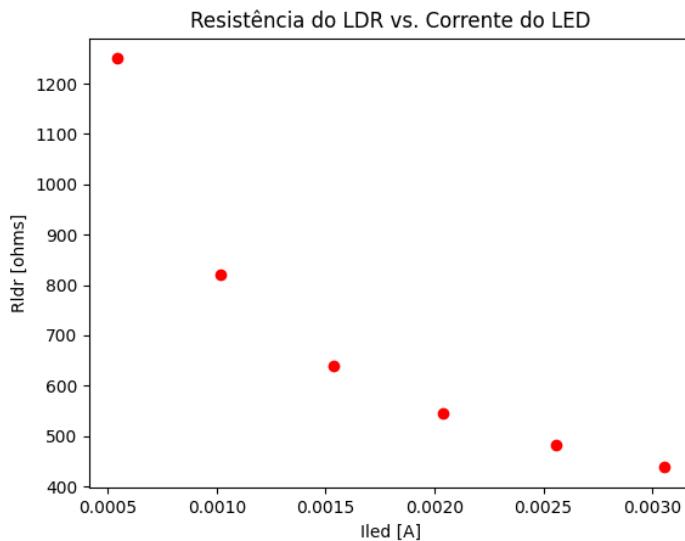


Figura 18: Gráfico Obtido no Circuito 1

## 4.2 Etapa II

### 4.2.1 Resultados

No experimento de variação da tensão no circuito 1, os resultados obtidos com as medições e os cálculos podem ser conferidos na tabela:

VR2alvo (V)	VR1 (V)	Rldr (Ohms)	Ildr (A)	Iled (A)	Gldr (1/Ohms)
0.507	5.190	1302.954	0.005	0.001	0.001
1.000	6.550	826.237	0.007	0.001	0.001
1.501	7.280	643.813	0.007	0.002	0.002
2.000	7.740	546.535	0.008	0.002	0.002
2.500	8.070	483.580	0.008	0.003	0.002
3.000	8.320	439.212	0.008	0.003	0.002

Tabela 1: Tabela obtida com as medições e os cálculos

Com a tabela, foi possível obter o gráfico  $G_{LDR}$  vs.  $I_{LED}$  excluindo o ponto onde  $I_{LED} = 0$ .

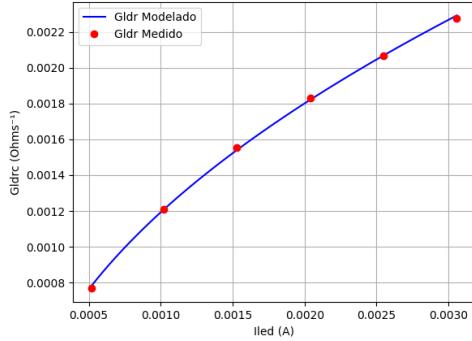


Figura 19: Gráfico Obtido no Circuito 2

Esta tabela foi obtida a partir do código LED<sub>L</sub>DR<sub>M</sub>Q<sub>2</sub>.py que é extenso e está na pasta deste relatório.

#### 4.2.2 Cálculos

Para obter  $R_{LDR}$ :

$$R_{LDR} = \left( \frac{V_{DC}}{V_{R1}} - 1 \right) \cdot R_1$$

Para obter  $I_{LDR}$ :

$$I_{LDR} = \frac{V_{DC} - V_{R1}}{R_{LDR}}$$

Para obter  $I_{LED}$ :

$$\frac{V_{R2 \text{ alvo}}}{R_2}$$

Para obter  $G_{LDR}$ :

$$G_{LDR} = \frac{1}{R_{LDR}}$$

Por fim, com a plotagem gráfica e o processamento dos dados comparados com o modelo matemático, o *EQM* (Erro Quadrático da Média) obtido foi de 0.006734698450604807. Dessa forma, o modelo obtido pode ser adequado ao modelo original devido ao fato do EQM ser bem baixo.

### 4.3 Discussão

Os resultados obtidos confirmam de forma coesa a teoria por trás dos Light Dependent Resistors. É possível ver isso à partir do tipo de curva exponencial no gráfico  $R_{LDR}$  vs  $I_{LDR}$  e à curva raíz quadrática obtida em

$G_{LDR}$  vs  $I_{LDR}$ . A pequena discrepância observada entre os pontos plotados e às curvas da teoria é resultado de possíveis ruídos no circuito, variações nas resistências das trilhas da *protoboard* e tolerância dos resistores/LDR.

## 5 Conclusão

### 5.1 Materiais usados em LDRs para a região do infravermelho

Os LDRs para a região do infravermelho utilizam materiais semicondutores especializados [1], como sulfeto de chumbo ( $PbS$ ), telureto de chumbo ( $PbTe$ ), ou antimoniato de índio ( $InSb$ ). Esses materiais possuem propriedades que permitem a detecção de comprimentos de onda na faixa do infravermelho, sendo amplamente utilizados em sensores de temperatura, câmeras térmicas e sistemas de visão noturna. A escolha do material está relacionada à sensibilidade e à faixa espectral desejada.

### 5.2 Influência da temperatura nos materiais

A temperatura afeta significativamente o desempenho de LDRs, especialmente em dispositivos sensíveis ao infravermelho. Um aumento na temperatura pode reduzir a resistência dos materiais devido à maior excitação térmica dos elétrons no semicondutor [3]. Isso resulta em uma maior condutividade elétrica, mas também pode gerar ruído térmico, reduzindo a precisão do sensor. Assim, os LDRs para aplicações críticas frequentemente incluem sistemas de resfriamento para estabilizar sua operação.

### 5.3 Aplicações tecnológicas dos LDRs

- **Controle de iluminação:** LDRs são usados em postes de luz e dispositivos que ajustam a luminosidade com base na luz ambiente.
- **Dispositivos de segurança:** Em sistemas de alarme e sensores de movimento, eles detectam alterações na iluminação.
- **Sistemas de comunicação:** Em circuitos ópticos e infravermelhos, LDRs ajudam na detecção de sinais de luz modulada.
- **Câmeras térmicas:** Sensores baseados em LDRs especializados são empregados para captar emissões térmicas no infravermelho.

## Referências

- [1] D. W. Smith. Semiconductor materials for photodetectors. *Journal of Infrared Technology*, 2020.
- [2] A. Rogalski. *Infrared Detectors*. CRC Press, 2019.
- [3] M. Henini. *Handbook of Infrared Detection Technologies*. Elsevier, 2002.
- [4] R. Barros et al. Advancements in photoconductive technologies. *IEEE Proceedings*, 2021.