

FELIPE PONSÍ REGHELIN

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ESTUDO DE
ESQUIVA INIBITÓRIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, área de concentração: Eletrônica Aplicada.

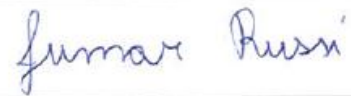


Orientador: Dr. Jumar Luís Russi

**ALEGRETE
2012**

Autoria: Felipe Ponsi Reghelin

Título: Desenvolvimento de um dispositivo para estudo de esquia inibitória.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, campus Alegrete.

Os componentes da banca de avaliação, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado.				
	Nome	Titulação	Assinatura	Instituição
1	Jumar Russi	Dr.		UNIPAMPA
2	Alessandro Girardi	Dr.		UNIPAMPA
3	Márcio Stefanello	Dr.		UNIPAMPA

Data da aprovação: 27 de junho de 2012.

*“Dedico este trabalho a minha mãe,
Janina Ponsi Reghelin, ao meu pai, Guilherme
Dias Reghelin e a minha irmã, Júlia Ponsi
Reghelin”*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo total apoio e por nunca medirem esforços para que minha graduação fosse concluída.

Agradeço minha namorada, Raquel, pela compreensão e incentivo nos últimos meses.

Agradeço a todos meus colegas de graduação pela amizade adquirida, confiança e determinação nos momentos difíceis a qual passamos.

A Antônio Mascia, Andrews Minuzzi, Daniel Sechi e Roger Lorenzoni, meus colegas de moradia durante a graduação, pelas palavras de apoio, amizade e companheirismo. Amigos para o resto da vida.

A Leonardo Mello, grande amigo e colega, pela amizade e parceria durante esses últimos semestres de curso. Amizade sincera que espero cultivar para sempre.

Ao amigo e colega Leonardo Corrêa, pela amizade e ajuda no transcorrer do Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao professor Jumar Russi, pela indicação do tema e extrema competência na orientação no transcorrer do trabalho.

Ao pessoal do Laboratório de Eletrotécnica da Universidade pelo auxílio durante a montagem do dispositivo.

A todos meus professores de graduação pelo conhecimento passado durante todo este tempo.

Enfim, agradeço a todos que de uma maneira ou outra contribuíram para que o sonho de graduação fosse realizado.

*O meu jeito?
Ah, o meu jeito, conforme tenho dito
Para uns é muito bonito
Para outros é o meu defeito
Mas talvez seja o meu jeito
Que me troque de internada
Cada um tem sua estrada
Seu lugar, seu parador
A abelha gosta da flor
A sarna, da cachorrada.*

João de Almeida Neto

RESUMO

A memória pode ser definida como o armazenamento e a evocação de uma informação aprendida. Sendo um processo dinâmico, requer a ativação de diversos sistemas para que a informação adquirida seja consolidada. Sendo assim, estudos em esquiva inibitória são de suma importância para um melhor conhecimento do comportamento. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um aparato para a realização de estudos sobre esquiva inibitória. Será apresentado o projeto e a montagem de uma fonte de corrente variável para a realização de testes em ratos. Juntamente também será realizado um estudo sobre o valor da resistência elétrica de um rato. As simulações da topologia proposta foram realizadas nos softwares Orcad Schematics e Proteus e seus resultados são mostrados no decorrer do trabalho. Foi escolhida uma topologia utilizando transistores devido ao fato de necessitarem-se altos valores de tensão para um correto funcionamento do dispositivo.

Palavras chaves: Esquiva Inibitória, Fonte de Corrente, Rato, Resistência Elétrica.

ABSTRACT

Memory can be defined as the retaining and recalling of information learned. Being a dynamic process, it requires the activation of several systems to consolidate the information gained. Thus, studies on Inhibitory Avoidance is of paramount importance to a better understanding of the learning behavior. This work presents the development of an apparatus for carrying out studies on Inhibitory Avoidance. The work discusses the design and operation of a variable current source for testing in rats. It is also developed a study on the value of the electrical resistance of rat. The simulations of the proposed topology were conducted in Orcad Schematics and Proteus Software and its results are shown along the work. The choice of a topology using transistors was made due to the high voltage levels needed for the current source operation.

Keywords: Inhibitory Avoidance, Current Source, Rat, Electrical Resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fonte de corrente utilizando amp-op.....	18
Figura 2 – Fonte de corrente com transistor na saída.	18
Figura 3 – Fonte de corrente utilizando LM317.....	19
Figura 4 – Fonte de corrente utilizando transistor.....	20
Figura 5 - Circuito proposto por Muenzinger [15].	21
Figura 6 - Circuito sem a resistência do rato incluída.	22
Figura 7 - Ponte de Wheatstone.....	26
Figura 8 - Circuito utilizado para a medição da Resistência Elétrica de um rato.....	28
Figura 9 - Circuito da Figura 9 montado para testes.	28
Figura 10 - Resultados calculados no Software MATLAB. Parte superior: Tensões Medidas. Vermelho fino: tensão de alimentação, 5 V. Preto espesso: média da tensão de alimentação. Vermelho espesso: queda de tensão média no resistor. Preto fino: queda de tensão no resistor. Parte Inferior: Resistência Elétrica do Rato.....	29
Figura 11 - Grade com fios de cobre.	30
Figura 12 - Nova grade com espaçamento uniforme entra as trilha.	31
Figura 13 - Circuito montado para a segunda medida da resistência elétrica do rato.	32
Figura 14 – Novos resultados obtidos através do Software MATLAB. Resultados calculados no Software MATLAB. Parte superior: Tensões Medidas. Vermelho fino: tensão de alimentação, 5 V. Preto espesso: média da tensão de alimentação. Vermelho espesso: queda de tensão média no resistor. Preto fino: queda de tensão no resistor. Parte Inferior: Resistência Elétrica do Rato.	33
Figura 15 - Gráfico dos valores da Tabela 6.....	35

Figura 16 - Gráfico dos valores da Tabela 7.....	36
Figura 17 - Circuito de Controle.....	39
Figura 18 - Circuito de controle indicando a tensão de saída.....	41
Figura 19 - PIC16F877A.	43
Figura 20 - Simulação do controle dos resistores no Software Proteus.	44
Figura 21 - Corrente máxima de saída do dispositivo.....	45
Figura 22 - Gráfico da corrente obtida nas simulações.	46
Figura 23 - Circuito montado no Laboratório de Eletrotécnica.....	47
Figura 24 – Gráfico da corrente medida praticamente.	49
Figura 25 - Circuito final montado.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores para o circuito da Figura 3.....	19
Tabela 2 - Dados da Resistência Elétrica do Corpo Humano [17].....	23
Tabela 3 - Valores com a resistência do rato no circuito [15].....	25
Tabela 4 - Valores sem a resistência do rato no circuito [15].	25
Tabela 5 - Dados obtidos para o Método do Potenciômetro [15].....	27
Tabela 6 - Dados obtidos em baixa tensão.	35
Tabela 7 – Valores medidos na prática.....	36
Tabela 8 - Resistências.	41
Tabela 9 - Valores da corrente imposta sobre o rato.	42
Tabela 10 – Valores máximos de corrente.	45
Tabela 11 - Dados obtidos em simulação.....	46
Tabela 12 – Valores de corrente para diferentes cargas.	47
Tabela 13 – Dados obtidos experimentalmente.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EI	Esquiva Inibitória
Amp-op	Amplificador Operacional
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
NIOSH	Instituto Nacional para a Segurança e Saúde Ocupacional (EUA)
PIC	Programmable Interface Controller

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampère
V	Volts
Ω	Ohm
k	$\times 10^3$
m	$\times 10^{-3}$
V_z	Tensão zener

SUMÁRIO

Agradecimentos	4
Resumo	6
Abstract	7
Lista de ilustrações	8
Lista de tabelas	10
Lista de abreviaturas e siglas	11
Lista de símbolos	12
Sumário	13
1 Introdução	14
1.1 <i>Objetivos</i>	16
2 Fontes de Corrente	17
2.1 <i>Fontes de Corrente com Amplificadores Operacionais</i>	17
2.2 <i>Fontes de Corrente com Transistores</i>	19
2.3 <i>Circuito com Retificador</i>	21
3 Resistência Elétrica de um Rato	23
3.1 <i>Resistência Elétrica do Corpo Humano</i>	23
3.2 <i>Estudo da Resistência Elétrica de um Rato</i>	24
3.3 <i>Medida da Resistência Elétrica de um Rato</i>	28
4 Simulação da Topologia	345
4.1 <i>Circuito em baixa tensão para testes</i>	35
5 Circuito Proposto e Resultados	38
5.1 <i>Circuito de Controle</i>	39
5.2 <i>Resultados Experimentais</i>	48
6 Conclusões	52
Referências bibliográficas	54
Anexo A	56
Anexo B	61

1 INTRODUÇÃO

A esquiwa inibitória (EI) é o modelo de condicionamento ao medo mais utilizado em estudos comportamentais. Muitos estudos têm sido feitos em aves, invertebrados e mamíferos utilizando os princípios da EI, e indicam que os mecanismos essenciais da formação de memórias nestes tipos de animais são semelhantes e podem, portanto, ser considerados propriedades básicas dos sistemas nervosos em geral [1]. Um caracol, um frango, um rato ou um ser humano, quando submetidos a um estímulo que causa aversão, aprendem basicamente a mesma lição: evitar este estímulo nocivo. Esta ação constitui uma forma de aprendizado denominada esquiwa inibitória, e constitui a mesma situação na qual um menino que coloca o dedo na tomada e leva um choque elétrico, aprende a não colocar mais o dedo na tomada, pois já sabe qual a consequência desta ação.

Por várias razões a EI é a forma de aprendizado mais utilizada nos estudos biológicos. É muito simples, necessita de apenas uma sessão de treino, forma uma memória forte e persistente (que pode durar a vida toda). No caso do aparato utilizado com roedores, o animal aprende a associar a descida da plataforma onde foi colocado (estímulo condicionado) a um choque elétrico leve que recebe nas patas quando isso acontece (estímulo incondicionado). Assim, em uma nova exposição à caixa de esquiwa, o animal evitará descer da plataforma (resposta condicionada) [2].

O uso da EI na pesquisa em neurofisiologia tem por objetivo a investigação dos processos envolvidos nas diferentes fases da memória (aquisição, consolidação e evocação). Já que exige apenas uma sessão de treino, a tarefa facilita o estudo separado destas diferentes etapas.

Com os avanços da pesquisa na área da memória novos processos fisiológicos foram descritos: reconsolidação [3] [4], extinção [5] [6] e persistência [7] [8]. Novamente, para o estudo

destes processos a EI fez-se a melhor opção devido à sua facilidade de aplicação e estudo independente destes diferentes processos.

O aparato da EI para ratos e camundongos pode ser estudado através de uma caixa com a parte frontal confeccionada em acrílico transparente, medindo 50 x 25 x 25 cm. O assoalho é uma grade de barras, preferencialmente de bronze, paralelas de 3 mm de diâmetros, separadas entre si por 1 cm, conectadas a um estimulador elétrico. Em uma das laterais localiza-se uma plataforma de fórmica com 7 cm de largura e 5 cm de altura [9].

As barras eletrificáveis estão conectadas a um dispositivo que é capaz gerar um choque. O dispositivo a ser desenvolvido deverá permitir que a intensidade de choque possa ser regulada entre 0 a 1,5 mA, pois a intensidade do choque modifica as características da memória formada (quanto mais intenso, maior será a persistência) e ao mesmo tempo deve permitir a graduação para não causar sofrimento ao animal. A aplicação do estímulo elétrico ao roedor dar-se-á através do acionamento de um interruptor de pressão tipo botoeira e o animal não receberá o choque por um tempo superior a 2 segundos.

Uma vez que a corrente durante o choque deve ser controlada e mantida constante, há a necessidade do acoplamento de uma fonte de corrente ao aparato da EI. De uma maneira ideal, fontes de corrente são dispositivos que fornecem uma corrente constante fluindo dos seus terminais através da carga independentemente do valor de impedância da carga que está sendo alimentada [10] [11]. Ao contrário das fontes de energia elétrica mais difundidas, como é o caso de baterias, as fontes de corrente não operam com tensões elétricas constantes, mas adaptam o nível de tensão de maneira a fornecer um valor de corrente constante.

As fontes de corrente podem produzir correntes contínuas ou alternadas. Neste último caso, considera-se que o valor eficaz da corrente será constante. No presente projeto, trabalhar-se-á com fontes de corrente contínua, que serão projetadas para fornecer correntes de 0 a 1,5 mA. Para tanto, deverá ser estudado o nível máximo de tensão necessário para fazer fluir 1,5 mA.

A metodologia utilizada neste trabalho será a realização de uma pesquisa bibliográfica a respeito do dispositivo, bem como também uma pesquisa sobre topologias de fontes de corrente. Será escolhida a topologia mais adequada para realizar a montagem e os testes específicos.

1.1 Objetivos

Os objetivos do trabalho estão expostos abaixo:

- Objetivo principal

Desenvolver um dispositivo que atue como fonte de corrente variável para realizar os testes de EI

- Objetivos secundários

- Analisar as diferentes topologias de fonte de corrente presente na literatura.
- Realizar a medição da resistência elétrica de um rato.
- Desenvolver em simulador a topologia de fonte de corrente escolhida.

O presente trabalho está dividido em seis capítulos. O capítulo 1 trata-se da introdução, onde são expostos algumas definições gerais do trabalho e os objetivos a serem desenvolvidos.

No capítulo 2 será apresentada uma revisão bibliográfica sobre fontes de corrente, analisando diferentes topologias encontradas na literatura.

O capítulo 3 abordará um estudo sobre a resistência elétrica de um rato. Nele também serão apresentados os testes realizados para a medida deste valor e os resultados encontrados.

Os testes realizados em baixa tensão para a topologia escolhida serão expostos no Capítulo 4.

No capítulo 5 será apresentado o circuito proposto, bem como seus resultados obtidos em simulação e nos testes práticos para diferentes valores de carga.

Por fim o Capítulo 6 abrangerá as conclusões obtidas com o desenvolvimento do trabalho de conclusão do curso.

2 FONTES DE CORRENTE

Uma fonte de corrente é um dispositivo elétrico que mantém uma corrente elétrica constante entre seus terminais independente da tensão elétrica que tenha que impor entre os mesmos para estabelecer o valor nominal de sua corrente [12].

Fontes de corrente apresentam algumas utilidades, tais como:

- Acionamento de diodos emissores de luz, em particular nos emissores de raio laser;
- Carregadores de pilhas e baterias recarregáveis;
- Trabalhos de eletroquímica como galvanoplastia e anodização.

2.1 Fontes de Corrente com Amplificadores Operacionais

Fontes de corrente que utilizam amplificadores operacionais (amp-op) garantem boa precisão e estabilidade.

Um exemplo de uma fonte simples, porém bastante útil e com bom desempenho é mostrado na Figura 1.

A tensão aplicada em R_1 é determinada pela tensão V_{en} , na entrada positiva do amp-op.

A corrente na carga Z é expressa pela equação abaixo.

$$I = V_{en} R_1 \quad (1)$$

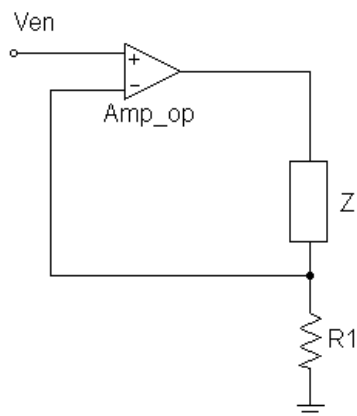


Figura 1 – Fonte de corrente utilizando amp-op.

O limite máximo dessa corrente fica determinado pela capacidade de saída do próprio amp-op. Em geral essa capacidade não excede alguns miliamperes.

Para aumentar a capacidade desta fonte, pode-se fazer o uso de um transistor na saída. Isso é visto na Figura 2.

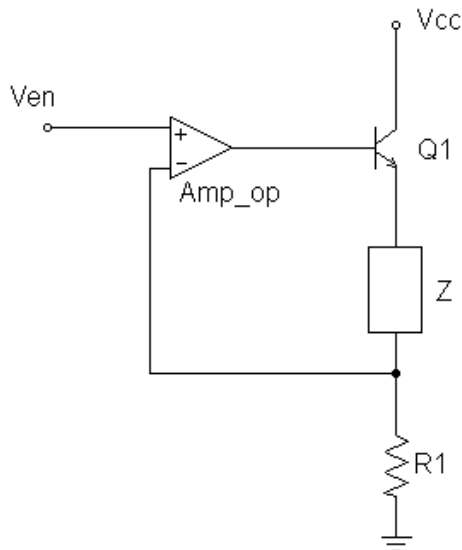


Figura 2 – Fonte de corrente com transistor na saída.

Ao utilizar-se um transistor de potência na saída de um amp-op, obtém-se um ganho adicional de corrente. O limite dessa corrente não é mais dado pela capacidade do amplificador operacional e sim pela capacidade de Q_1 .

Outra topologia de fonte de corrente, utilizando um regulador de tensão, é apresentada na Figura 3.

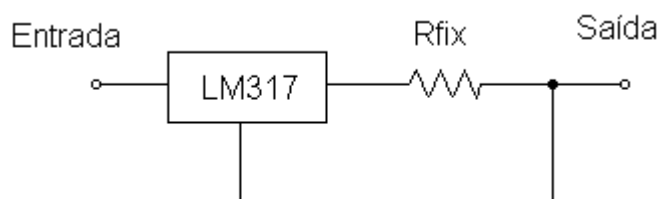


Figura 3 – Fonte de corrente utilizando LM317.

Utilizando o circuito integrado LM317, um regulador de tensão, pode-se construir uma fonte de corrente usando apenas um resistor, como é visto da Figura 3. Para apresentar um correto funcionamento, o LM317 deve fornecer ao menos 10 mA.

A potência dissipada pelo resistor é dada por:

$$P = R * I^2 \quad (2)$$

Na tabela 1 são apresentados alguns valores possíveis para esta fonte de corrente [13].

Tabela 1 – Valores para o circuito da Figura 3.

Resistor (Ω)	Corrente (mA)	Potência (W)
47	24	0,03
24	46	0,06
12	104	0,13
5,6	223	0,28
2,2	568	0,71
1,5	833	1,04
1,2	1042	1,30
1	1250	1,56

2.2 Fontes de Corrente com Transistor

Uma configuração utilizando transistor [14] [16] é mostrada na Figura 4. Nesta configuração, o diodo zener fixa com o ajuste de R_2 a intensidade de corrente que deve ser mantida no circuito de carga. A função do zener é manter uma referência constante de tensão e o resistor R_1 é projetado para que forneça a corrente necessária para que o zener apresente a tensão de referência.

Quando a resistência da carga variar, a queda de tensão na carga também varia. No entanto, a tensão V_{CE} do transistor irá se alterar, no sentido oposto, compensando essa variação. Mesmo que a tensão de alimentação (E) varie, o diodo zener deverá fornecer uma referência de tensão constante para o transistor, de modo a manter a intensidade de corrente constante na carga.

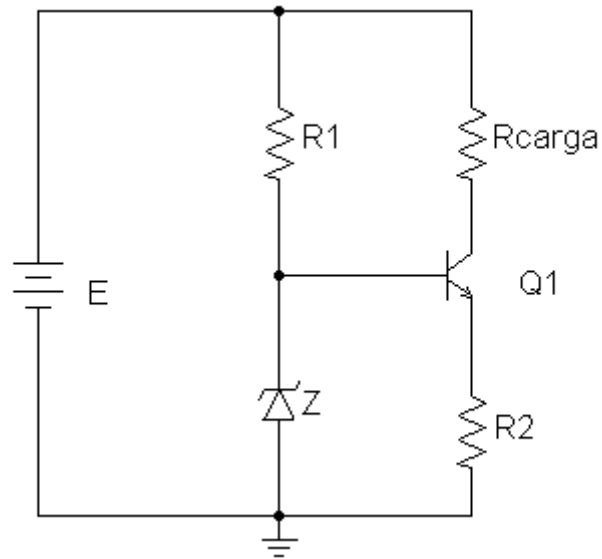


Figura 4 – Fonte de corrente utilizando transistor.

Considerando que a corrente do coletor é praticamente igual à corrente do emissor, a corrente sobre a carga será constante e é obtida através da expressão abaixo:

$$I_{carga} = \frac{V_z - V_{BE}}{R_2} \quad (3)$$

Essa intensidade da corrente na carga é dada pela tensão do zener menos a tensão da junção base-emissor do transistor dividido pela resistência apresentada por R_2 .

Neste tipo de circuito temos a limitação de resistência máxima de carga. A queda de tensão sobre o resistor R_1 é dada por:

$$V_{R1} = E - V_z \quad (4)$$

O circuito deixa de ser uma fonte de corrente no instante em que a queda de tensão sobre o resistor de carga supera a queda de tensão sobre o resistor R_1 . Sendo assim a junção coletor-base passa a ficar diretamente polarizada e o transistor entra na região de saturação.

O valor máximo da resistência da carga pode ser obtido na condição em que a queda de tensão coletor-base se anula ($V_{Rcar} = V_{R1}$).

$$R_{car} = \frac{E - V_z}{I_{car}} \quad (5)$$

2.3 Circuito com Retificador

Em Muenzinger et al. [15] montou-se um experimento para determinar a sensibilidade à corrente elétrica de um rato. Este aparato foi constituído de uma gaiola de 15 x 20 cm. A base desta gaiola consiste em uma grelha com tiras de cobre de 4 mm de largura, separadas por 4 mm entre si e elevadas 2 cm da base da gaiola. Um circuito elétrico foi montado composto por uma fonte de alimentação de 120 V_{AC} e 60 Hz, transformador, retificador e um filtro, entregando um potencial de 520 V à saída. A figura abaixo representa o circuito utilizado.

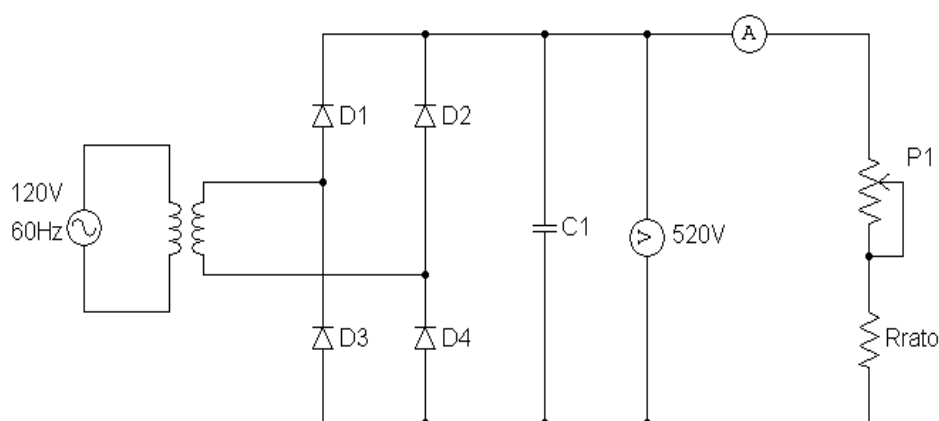


Figura 5 - Circuito proposto por Muenzinger [15].

A intensidade da corrente é controlada pelo potenciômetro P_1 . Iniciaram-se as medições com uma corrente de 0,02 mA e avançou-se em passos de 0,02 mA. Observou-se em qual intensidade de corrente o animal apresentou uma reação. Após foi aumentada em mais um passo a corrente e logo em seguida rebaixada ao nível anterior, em que o animal apresentou os primeiros sintomas de choque elétrico.

Outro experimento também foi realizado, utilizando desta vez um circuito modificado. Este novo circuito consiste basicamente em utilizar apenas um potenciômetro para ajustar a corrente desejada, como visto na Figura 6. A corrente no potenciômetro é ajustada para o nível desejado e então a cabaia é introduzida em série com o potenciômetro. Este método apresentará problemas na regulagem da corrente se a resistência do rato não for insignificante em relação à resistência do potenciômetro.

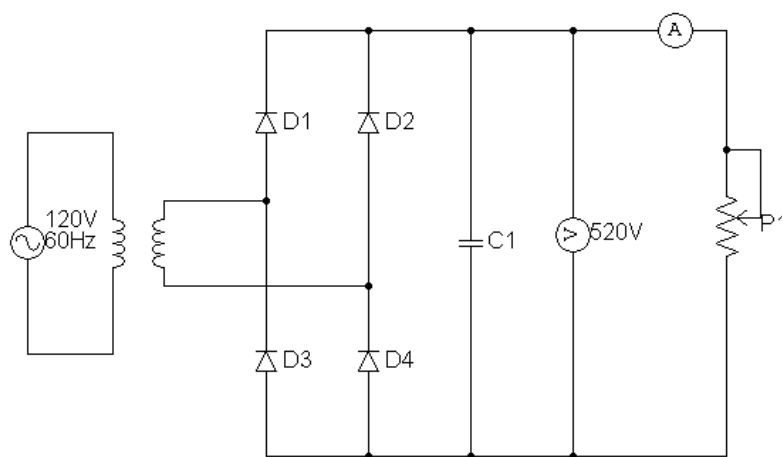


Figura 6 - Circuito sem a resistência do rato incluída.

3 RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE UM RATO

Resistência Elétrica é a capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica mesmo quando existe uma diferença de potencial aplicada ao mesmo [14].

A intensidade de um choque elétrico depende do caminho da corrente pelo corpo e de sua duração. Segundo a Lei de Ohm, a corrente depende de uma resistência elétrica para uma determinada diferença de potencial.

3.1 Resistência Elétrica do Corpo Humano

A resistência elétrica da pele humana varia de pessoa para pessoa e varia entre diferentes momentos do dia. Segundo a NIOSH, sob condições da pele seca, a resistência oferecida pelo corpo humano pode chegar até 100 k Ω . Se a pele estiver molhada esta resistência pode cair até 1 k Ω , sabendo também que quando o corpo humano for submetido a altas tensões, a energia elétrica rompe a resistência interna da pele e ela pode chegar a 500 Ω . A IEC fornece os seguintes valores (Tabela 2) para a resistência elétrica total do corpo humano para uma pele seca, levando em conta que uma corrente alternada com frequência de 50 Hz esteja percorrendo o corpo [17].

Tabela 2 - Dados da Resistência Elétrica do Corpo Humano [17].

Tensão	5%	50%	95%
25 V	1,75 k Ω	3,25 k Ω	6,1 k Ω
100 V	1,2 k Ω	1,875 k Ω	3,2 k Ω
220 V	1 k Ω	1,35 k Ω	2,125 k Ω
1000 V	0,7 k Ω	1,05 k Ω	1,5 k Ω

As colunas da Tabela 2 apresentam a distribuição da resistência elétrica no percentual da população. Por exemplo, a uma tensão de 100 V, 50% da população têm uma resistência de 1,875 k Ω ou menos.

3.2 Estudo da Resistência Elétrica de um Rato

Para definir a melhor topologia de fonte de corrente para utilizar na montagem de dispositivos para o estudo de esquiva inibitória, é necessário o conhecimento da resistência elétrica de um rato.

Segundo Muenzinger et al. [15] [19] o maior desafio encontrado foi a definição de um critério adequado que indicasse a reação em que o animal estivesse recebendo um choque elétrico. Através disso foram distinguidas duas fases em todos os casos e três em alguns: primeira fase, nenhuma mudança no comportamento do rato; segunda fase, notou-se uma alteração no comportamento, o rato começou a cheirar e a lambear suas patas, porém essa fase nem sempre esteve presente; e terceira fase, movimentos bruscos de qualquer parte do corpo, especialmente cabeça para trás, ou pernas. A última etapa foi definida como critério para o choque elétrico. É possível que a segunda etapa já indique a ocorrência de choque elétrico, mas como estava presente ocasionalmente, não foi definida como critério.

As medições foram feitas ao animal tocar a grade com seus quatro pés. Um fato curioso é que é preciso uma corrente consideravelmente mais alta para produzir uma reação quando o animal se apóia só nas patas traseiras do que quando ele se apóia nas quatro patas.

Foram realizadas as medições nos circuitos da Figura 5 e 6. Os valores da Tabela 3 baseiam-se nas leituras do circuito da Figura 5, ou seja, com a resistência do rato incluída no circuito. Os valores da Tabela 4 são baseados no circuito da Figura 6, ou seja, no circuito com a corrente ajustada.

A principal diferença entre os dois circuitos testados refere-se ao estado inicial de medição. Enquanto o primeiro método regula os níveis de corrente com o rato incluído no circuito, o segundo método regula o nível inicial de corrente somente com um potenciômetro inserido no circuito. Consequentemente a corrente no segundo método é um tanto incerta, pois depende da resistência do rato testado.

Tabela 3 - Valores com a resistência do rato no circuito [15].

Corrente (mA)	1 mês de idade	3 meses de idade	6 meses de idade
0,04	1	2	
0,05	4	3	
0,06	4	3	
0,07	1	2	
0,08	7	6	1
0,09	1		
0,1		2	
0,11		2	2
0,12	1		1
0,13			1
0,14			
0,15	1		
Total	20	20	5
Média	0,07 mA	0,07 mA	0,11 mA

Tabela 4 - Valores sem a resistência do rato no circuito [15].

Corrente (mA)	1 mês de idade	3 meses de idade	6 meses de idade
0,04	5	3	
0,06	11	9	7
0,08	2	13	5
0,1	1	5	2
0,12		3	2
0,14			
0,16		1	
Total	19	34	16
Média	0,06 mA	0,075 mA	0,08 mA

Com base nos dados obtidos, Muenzinger et al. [15] utilizou três diferentes métodos para determinar a resistência elétrica de um rato, quando este toca as patas na grade da gaiola:

(a) Ao comparar a corrente quando as patas do rato fecham curto-circuito com a grade da gaiola e a corrente de quando um interruptor fecha o curto-circuito podemos estabelecer uma relação entre a resistência do rato e a resistência fixa, que é conhecida. Assim, tendo a diferença entre a corrente ajustada (Figura 6) e a corrente medida (Figura 5), obtemos uma resis-

tência elétrica média de $380 \text{ k}\Omega$, com uma variação de $110 \text{ k}\Omega$ a $650 \text{ k}\Omega$. No entanto, este método não é muito confiável devido à falta de precisão das medidas atuais.

Utilizando uma Ponte de Wheatstone, encontrou-se uma resistência média de $300 \text{ k}\Omega$, com uma variação de $75 \text{ k}\Omega$ a $1000 \text{ k}\Omega$.

(b) Uma Ponte de Wheatstone é um aparelho elétrico usado como medidor de resistência elétrica. O circuito é apresentado na Figura 7.

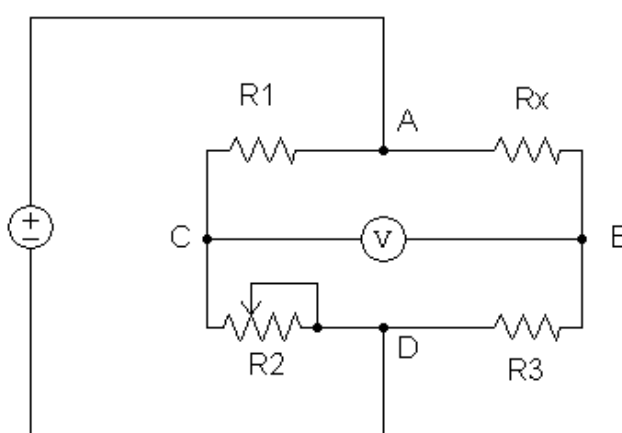


Figura 7 - Ponte de Wheatstone.

No circuito acima, R_x é a resistência a ser medida, R_1 e R_3 são resistores com valor conhecido e R_2 é um potenciômetro. Se a razão no ramo conhecido (R_2/R_1) é igual à razão entre as resistências no outro ramo (R_3/R_x), então a tensão elétrica entre os dois pontos centrais será zero e nenhuma corrente fluirá entre esses pontos.

(c) O terceiro método consiste no Método do Potenciômetro. Este método consiste em determinar a resistência do rato através da queda de tensão na grade da gaiola. Os dados mostrados na Tabela 5 são referentes a duas medições distintas, com intervalo de dois minutos entre elas, utilizando o método do potenciômetro, para 15 ratos.

Tabela 5 - Dados obtidos para o Método do Potenciômetro [15].

Rato N°	Idade/Peso	Faixa de Resistência (kΩ)	Varição (kΩ)	Média (kΩ)
1	30 dias/30 gramas	450 - 250	200	350
2	30 dias/30 gramas	665 - 220	445	442,5
3	30 dias/30 gramas	440 - 250	190	345
4	30 dias/30 gramas	125 - 110	15	117,5
5	30 dias/30 gramas	125 - 60	65	92,5
6	60 dias/90 gramas	70 - 85	15	77,5
7	60 dias/90 gramas	400 - 200	200	300
8	60 dias/90 gramas	155 - 440	285	297,5
9	60 dias/90 gramas	100 - 170	70	135
10	60 dias/90 gramas	200 - 300	100	250
11	90 dias/160 gramas	325 - 480	155	402,5
12	90 dias/160 gramas	360 - 175	185	267,5
13	90 dias/160 gramas	500 - 600	100	550
14	90 dias/160 gramas	1150 - 600	550	875
15	90 dias/160 gramas	400 - 800	400	600

Ainda segundo [15] estes resultados mostrados na Tabela 5 condizem com os encontrados nos outros dois métodos. A resistência média obtida foi de 338 kΩ com uma variação de 60 kΩ a 1150 kΩ. O grupo de ratos com idade de 30 dias e peso 30 gramas apresentou uma resistência elétrica média de 269,5 kΩ. Já o segundo grupo, com idade de 60 dias e peso 90 gramas teve como média 212 kΩ. No terceiro e último grupo, com idade de 90 dias e peso 160 gramas, esse valor médio foi de 539 kΩ. Analisando esses valores não foi possível observar alguma relação, visto que os ratos de 30 dias tiveram um valor acima dos de 60 dias e abaixo dos de 90 dias. A impressão que se tem é que a resistência elétrica de um rato aumenta com a idade, mas diminui com o peso. Porém com esses dados fica difícil de mostrar isso.

Em [20] é apresentado um estudo da resistência elétrica da vagina de um rato durante o ciclo de ovário. Os resultados encontrados indicaram uma resistência média de 488 kΩ com uma variação de 358 kΩ até 618 kΩ.

3.3 Medida da Resistência Elétrica de um Rato

Para medir o valor desta resistência, utilizou-se um circuito com divisor resistivo, de acordo com a Figura 8. Esse circuito apresenta bons resultados quando a razão entre as duas resistências não é muito grande.

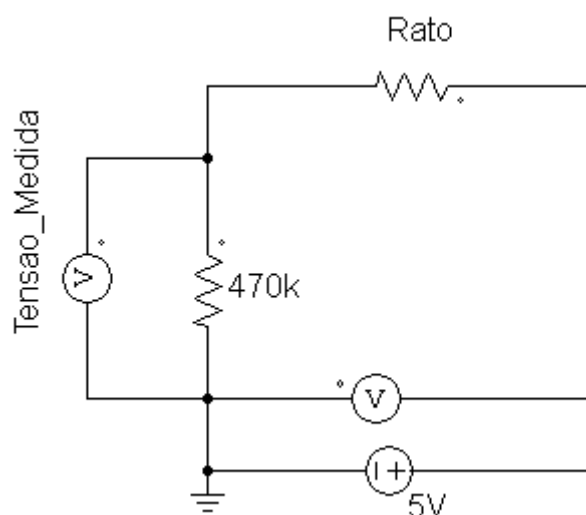


Figura 8 - Circuito utilizado para a medição da Resistência Elétrica de um rato.

Na Figura 9, é mostrado o circuito montado no Laboratório de Eletrotécnica da Unipampa. O animal utilizado foi um rato da raça *Wistar*. O rato foi colocado sobre uma grade com fios de cobre amarrados a uma chapa de madeira, conectado em série a uma resistência de 470 k Ω e uma fonte DC de 5V. Nesse experimento, a corrente é muito pequena, não provocando assim um choque no rato.

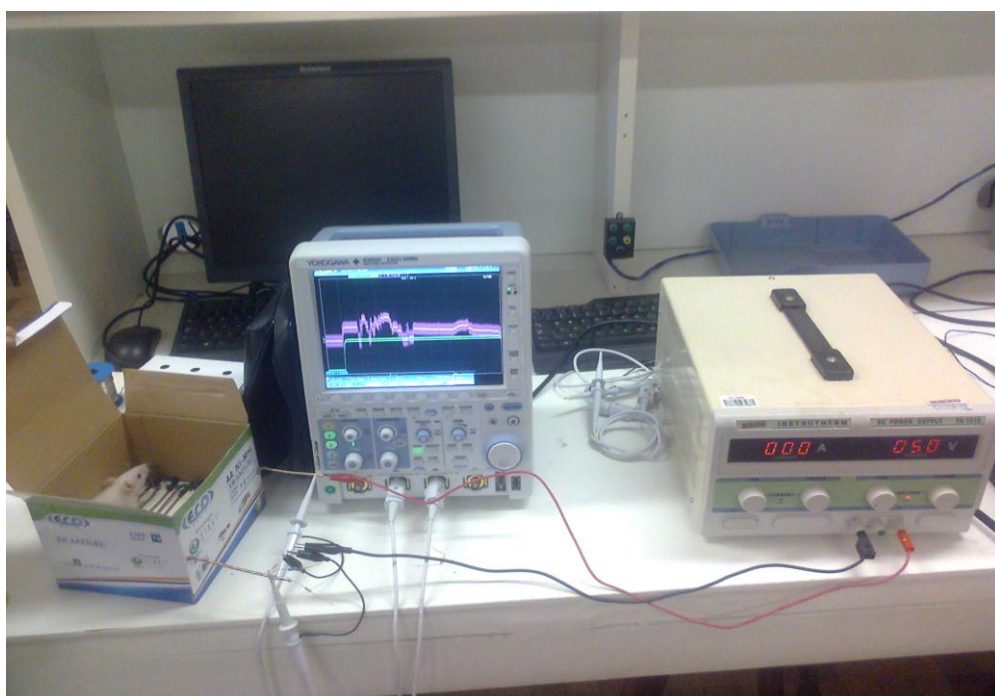


Figura 9 - Circuito da Figura 9 montado para testes.

O valor da resistência é dado pela equação (6):

$$\frac{R_{rato} + 470k}{470k} = \frac{5V}{Tensão_Medida} \quad (6)$$

Isolando-se R_{rato} obtém-se:

$$R_{rato} = \frac{2350k}{Tensão_Medida} - 470k \quad (7)$$

Utilizando o Software MATLAB, conseguiu-se carregar os dados medidos, colocar na equação (7) e obter-se o valor desta resistência, como mostrado na Figura 10.

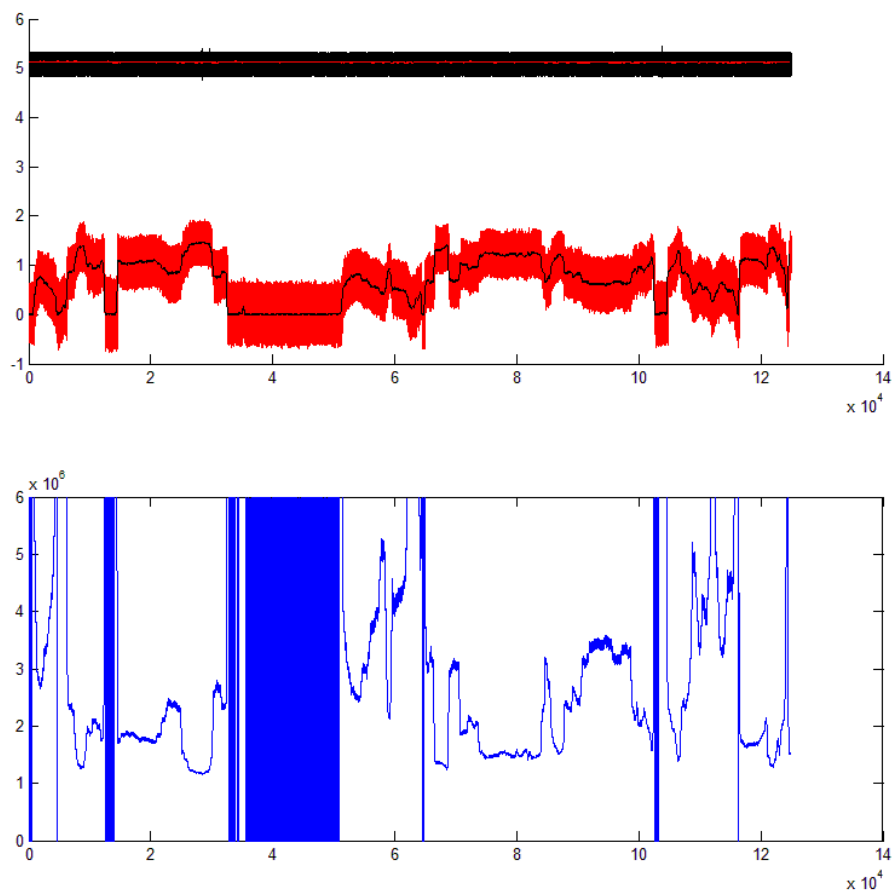


Figura 10 - Resultados calculados no Software MATLAB. Parte superior: Tensões Medidas. Vermelho fino: tensão de alimentação, 5 V. Preto espesso: média da tensão de alimentação. Vermelho espesso: queda de tensão média no resistor. Preto fino: queda de tensão no resistor. Parte Inferior: Resistência Elétrica do Rato.

Na parte superior desta Figura é mostrada a queda de tensão no resistor de 470 k Ω e na parte inferior o valor da resistência do rato. Analisando a Figura observamos que essa resistência chegou, em média, ao valor de aproximadamente 2000 k Ω , um valor muito alto se comparado à resistência do corpo humano e aos resultados apresentados por [15].

Sendo assim, realizou-se uma nova medição, trocando a grade feita com fios de cobre e amarrada a uma chapa de madeira (Figura 11) por uma grade feita através de uma chapa de cobre, com espaçamento uniforme entre as trilhas (Figura 12). O motivo de substituir essa grade deve-se ao fato de notar-se durante a experiência que o rato tocava não apenas os fios de cobre com as patas, mas também se apoiava sobre a chapa de madeira localizada alguns milímetros abaixo da grade, acarretando erros de medição, como visto em alguns pontos da parte inferior da Figura 10.

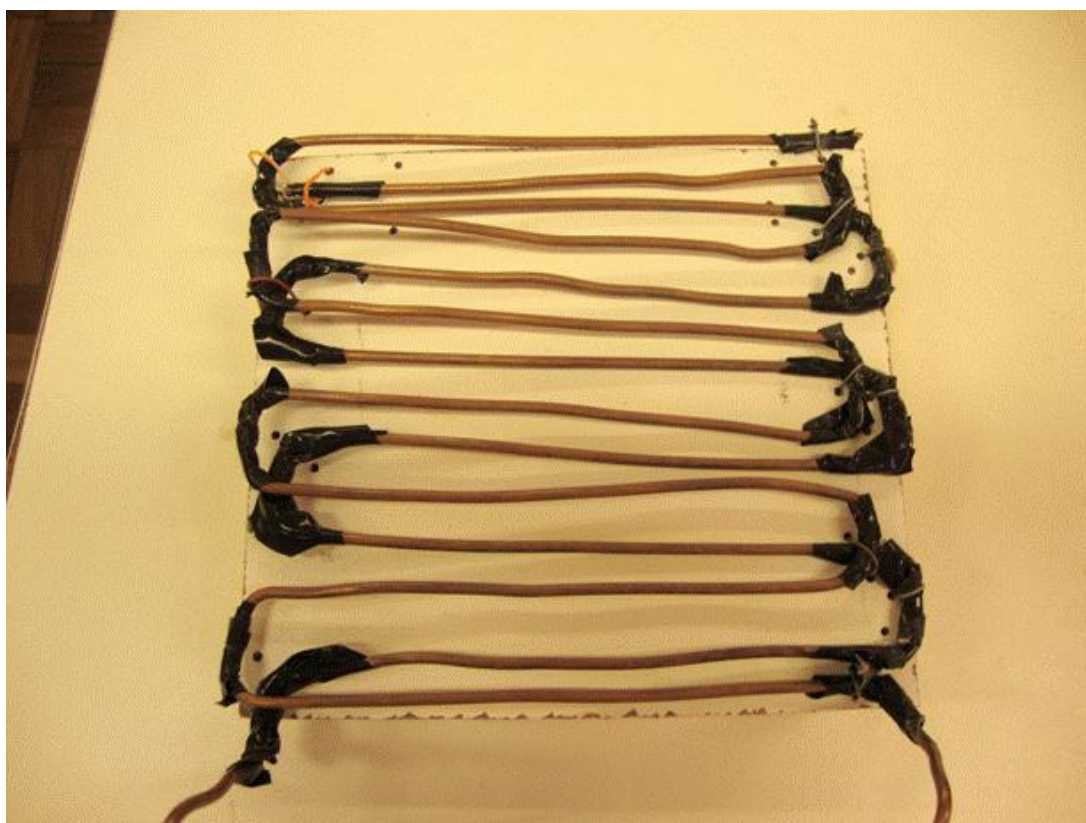


Figura 11 - Grade com fios de cobre.

A grade da Figura 11 foi feita manualmente com fios de 6 mm², sem nenhuma uniformidade no espaçamento entre os fios e teve caráter provisório, ou seja, foi feita para a realização dos primeiros testes. Já a grade da Figura 12 foi feita no Software Orcad Layout Plus e teve um espaçamento entre cada trilha de 4 mm.



Figura 12 - Nova grade com espaçamento uniforme entre as trilhas.

Utilizando o mesmo esquema elétrico da Figura 8, realizaram-se novas medições para obter o valor da resistência elétrica do rato, desta vez, foi utilizado um resistor de $560\text{ k}\Omega$ no lugar do de $470\text{ k}\Omega$. Além disso, foi substituído o rato testado, uma vez que aquele utilizado para a primeira medição não estava mais disponível. Na Figura 13 é apresentado o circuito montado para a realização das medições.

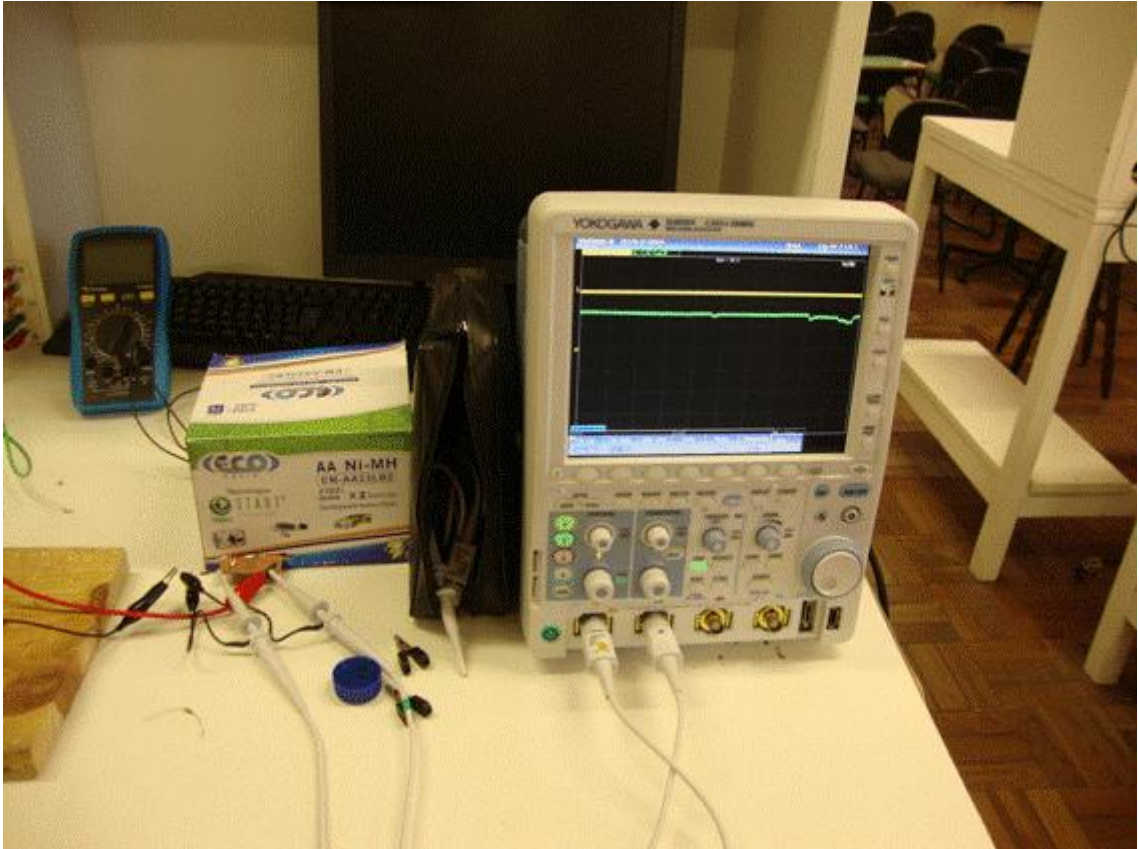


Figura 13 - Circuito montado para a segunda medida da resistência elétrica do rato.

Os dados da imagem capturada pelo osciloscópio, indicando a queda de tensão no resistor de 560 k Ω e a tensão de 5 V foram transferidos para o Software MATLAB, sendo utilizados juntamente com a equação (9).

$$\frac{R_{rato} + 560k}{560k} = \frac{5V}{Tensão_Medida} \quad (8)$$

Isolando-se R_{rato} :

$$R_{rato} = \frac{2800k}{Tensão_Medida} - 560k \quad (9)$$

O valor calculado dessa nova resistência do rato é mostrado na parte inferior da Figura 14. Na parte superior da mesma Figura é apresentada a queda de tensão sobre o resistor. Nota-se uma melhora muito significativa no sinal e também no seu valor. O valor médio encontrado foi em torno de 300 k Ω , sendo muito próximo ao valor apresentado em [15]. A utilização da nova grade teve papel importante e decisivo nesse novo resultado, em vista que o rato ficou

totalmente isolado do chão da caixa, ou seja, suas patas estavam exclusivamente em contato apenas com as trilhas de cobre da placa.

Outro fator importante foi o rato utilizado nos testes. Enquanto no primeiro teste foi utilizado um filhote, de tamanho e peso pequeno, no segundo foi utilizado um rato maior, mais pesado e também mais velho. A oscilação no sinal deve-se ao fato da mudança de padrão de contato do corpo do animal com a grade utilizada.

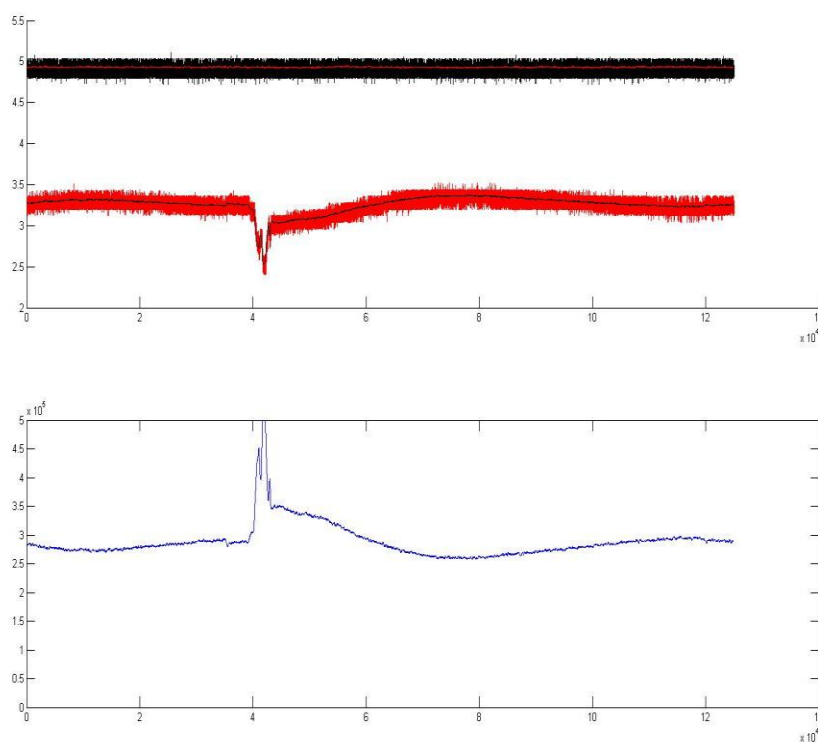


Figura 14 – Novos resultados obtidos através do Software MATLAB. Resultados calculados no Software MATLAB. Parte superior: Tensões Medidas. Vermelho fino: tensão de alimentação, 5 V. Preto espesso: média da tensão de alimentação. Vermelho espesso: queda de tensão média no resistor. Preto fino: queda de tensão no resistor. Parte Inferior: Resistência Elétrica do Rato.

4 SIMULAÇÃO DA TOPOLOGIA

Em virtude ao alto valor da resistência elétrica do rato e em razão dessa resistência necessitar de altos valores de tensão para obter-se os níveis de corrente desejados, foi escolhida uma topologia utilizando transistores (Figura 4). Isso se deve ao fato da dificuldade de encontrar dispositivos (Amp-ops) que suportem tensões em torno de 500 V.

4.1 Circuito em baixa tensão para testes

Para fins de testes na topologia escolhida, foi montado o circuito da Figura 4 em baixa tensão e analisou-se o seu comportamento perante a variação de carga.

Os valores calculados para R_1 e R_2 foram obtidos através das equações (10) e (11)

$$R_1 = \frac{E - V_z}{I_{z\max}} \quad (10)$$

$$R_2 = \frac{V_z - V_{BE}}{I_L} \quad (11)$$

onde E = tensão de alimentação do circuito;
 V_z = tensão do diodo;
 $I_{z\max}$ = Corrente máxima do diodo;
 V_{BE} = tensão base-emissor do transistor;
 I_L = corrente desejável na carga;

Sabendo-se que $E = 30 \text{ V}$, e utilizando um diodo zener do modelo 1N4742, que possui uma tensão zener de 12 V e uma corrente máxima de 21 mA , é possível calcular o valor de R_1 , através da equação (10). O valor encontrado foi de 809Ω .

O transistor usado foi o modelo 2SC3969 que possui uma tensão $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$. A corrente desejada na carga, é de 1 mA . Dispondo desses valores e da equação (11), sabe-se que o valor de R_2 é de $11,03 \text{ k}\Omega$.

Na Tabela 6 são apresentados os valores de corrente encontrados em simulação no Software Orcad Schematic para diferentes cargas no circuito da Figura 4.

Tabela 6 - Dados obtidos em baixa tensão.

Rrato (k Ω)	I _L (mA)
1	1,023
2	1,023
4	1,022
10	1,022
18	1,021
22	0,85
27	0,69
40	0,46
64	0,29
100	0,18

Na Figura 15 é mostrado o gráfico dos dados da Tabela 6.

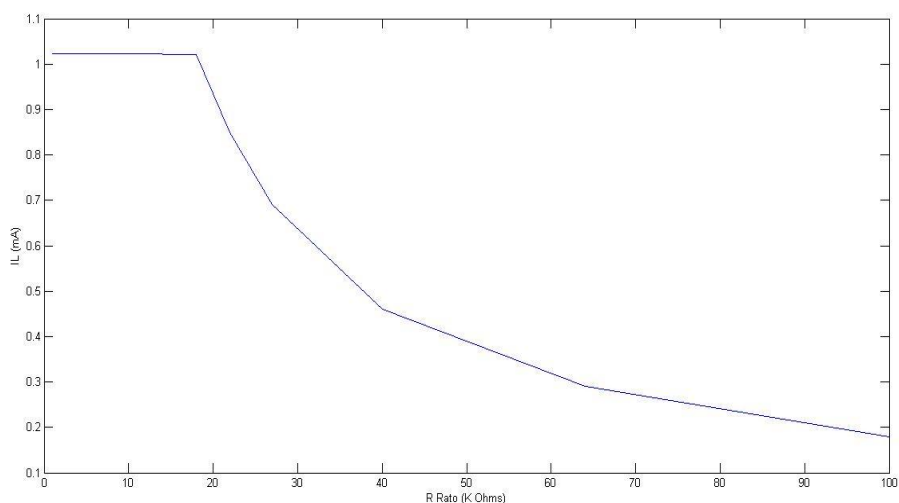


Figura 15 - Gráfico dos valores da Tabela 6.

Como na prática não existem resistores nos valores de 809Ω e $11,03 \text{ k}\Omega$, para montar este circuito foi usado resistores nos valores de 820Ω e $10 \text{ k}\Omega$, respectivamente.

Na Tabela 7 são apresentados os dados colhidos na prática para o circuito da Figura 4, utilizando com carga os mesmo valores testados em simulações.

Tabela 7 – Valores medidos na prática.

Rrato ($\text{k}\Omega$)	I_L (mA)
1	1,07
2	1,07
4	1,07
10	1,07
18	1,04
22	0,90
27	0,75
40	0,5
64	0,3
100	0,2

Na Figura 16 é exposto o gráfico dos dados da Tabela acima.

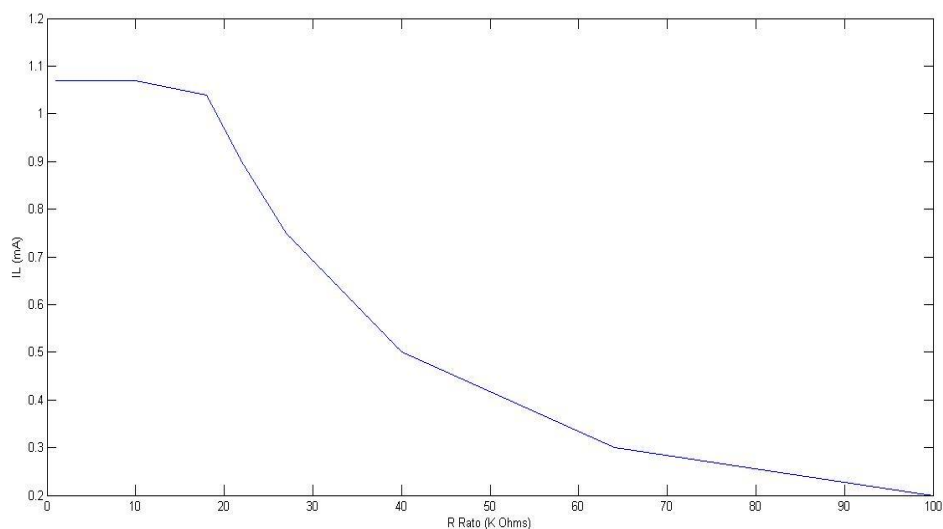


Figura 16 - Gráfico dos valores da Tabela 7.

Os gráficos das Figuras 15 e 16 confirmam que a topologia da Figura 4 funciona corretamente tanto em simulações como experimentalmente.

Ambos os gráficos apresentam resultados semelhantes e satisfatórios para cargas até 18 k Ω . Quando exposta a cargas maiores, ela perde a precisão devido à falta de um nível maior de tensão de alimentação para impor a corrente desejada à carga.

5 CIRCUITO PROPOSTO E RESULTADOS

Sabendo o valor da resistência elétrica do rato e com os resultados mostrados no capítulo anterior, definimos a topologia da Figura 4 como sendo a escolhida para os testes completos de simulação e montagem. Objetiva-se um circuito em que se podem variar os níveis de corrente dentro de valores pré-definidos para poder variar a intensidade de corrente através do rato e assim o estímulo produzido.

Para variar a corrente no rato, podemos modificar três variáveis, segundo a equação (3). Pode-se variar a corrente variando a resistência R_2 , mudando a tensão V_z do diodo zener ou também mudando a tensão base-emissor (V_{BE}) do transistor.

Mudar a tensão base-emissor do transistor é inviável, pois seria necessária a substituição do transistor para cada nível de corrente desejado. Utilizar um potenciômetro no lugar de R_2 ou variar a tensão do diodo zener são as possibilidades mais práticas a se usar. No caso do potenciômetro é necessário fazer o seu ajuste para cada medição. Neste caso seria complicado obter-se uma boa taxa de repetição, sendo difícil obter valores precisos para a intensidade de corrente desejada. Sendo assim, definiu-se que o controle da corrente que passará pelo rato será feito mudando a tensão do diodo zener. Para realizar isso foi realizada uma modificação topológica ao circuito da Figura 4, como será comentado a seguir, para não ser necessário realizar a troca do diodo zener para cada valor de corrente.

5.1 Circuito de Controle

Para variar a intensidade de corrente através do rato, devemos variar a tensão do diodo zener. Como isso implicaria na utilização de diversos diodos zeners, o diodo zener será substituído pelo circuito da Figura 17.

A entrada desse circuito será um sinal de 5 V, obtido através de um microcontrolador PIC. Esse sinal irá passar por resistores associados em paralelo. O controle do acionamento desses resistores será feito através do PIC e dependerá do nível de corrente desejado. Na sequência temos o estágio de ganho, usando amplificadores operacionais LM741.

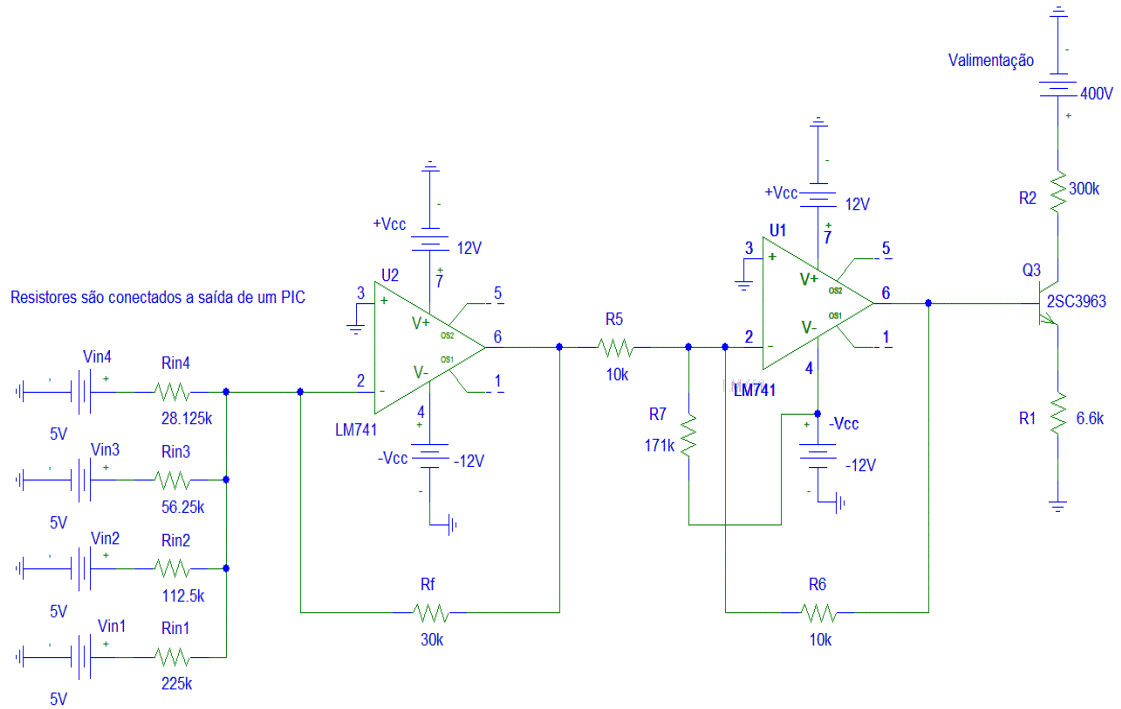


Figura 17 - Circuito de Controle.

A combinação das tensões das fontes $Vin1$ a $Vin4$ (0 V ou 5 V) possibilita a obtenção de 16 níveis diferentes na tensão da base do transistor. São necessários dois estágios de ganho com amplificadores operacionais, pois a configuração somadora é inversora e as tensões de entrada e saída são obrigatoriamente positivas.

Admitindo que quando todos os quatros resistores $Vin1$ a $Vin4$ estiverem sob uma tensão de 5 V, a saída no segundo amp-op seja 10,07 V e a corrente que passará pelo rato seja máxima e tenha valor de 1,5 mA. Foram projetados os valores das resistências do circuito através das equações abaixo:

$$R_1 = \frac{V_z - V_{BE}}{I_L} = \frac{10,07 - 0,7}{1,5mA} = 6,6k\Omega \quad (12)$$

Deseja-se na saída do primeiro amp-op um sinal máximo de -10 V. Para cada entrada tem-se valores de 5 V. De acordo com a equação do ganho de um amp-op tem-se a seguinte equação [18].

$$-\frac{10V}{5V} = \frac{R_f}{R_{equivalente}} \quad (13)$$

onde $R_{equivalente}$ é valor da resistência equivalente das quatro resistências em paralelo.

Se fixarmos o valor de R_f em 30 k Ω , encontramos o valor de $R_{equivalente}$.

$$\frac{10V}{5V} = \frac{30k}{R_{equivalente}} = R_{equivalente} = 15k\Omega \quad (14)$$

No segundo estágio, precisa-se adicionar um valor de 0,7 V para compensar a queda através da junção base-emissor do transistor. A finalidade principal do segundo estágio é inverter a tensão negativa oriunda do primeiro estágio. O valor dessa resistência para adicionar esse valor é dado pela equação (15).

$$\frac{10k}{R_7} = \frac{12}{0,7} = R_7 = 171k\Omega \quad (15)$$

A fonte de corrente poderá ser regulada de 0 mA até 1,5 mA. Isso implica em dezesseis níveis de corrente. Utilizando quatro resistores em um amplificador somador e com uma relação adequada entre os valores de resistências consegue-se sanar esse problema. Para isso, usam-se como valores dessas resistências a seguinte relação: R, 2R, 4R e 8R.

Sabendo que para no caso de todas as resistências ativadas, temos um $R_{equivalente} = 15k\Omega$, podemos encontrar o valor de R e assim calcular todos os demais resistores.

$$\frac{1}{15k} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{4R} + \frac{1}{8R} = R = 28,125k\Omega \quad (16)$$

Sendo assim, com o valor de R encontrado, temos os valores dos quatro resistores. A Tabela 8 mostra esses valores.

Na Figura abaixo é apresentado o circuito simulado no software Orcad Schematic, indicando a tensão de saída, no caso da corrente através do rato ser de 1,5 mA.

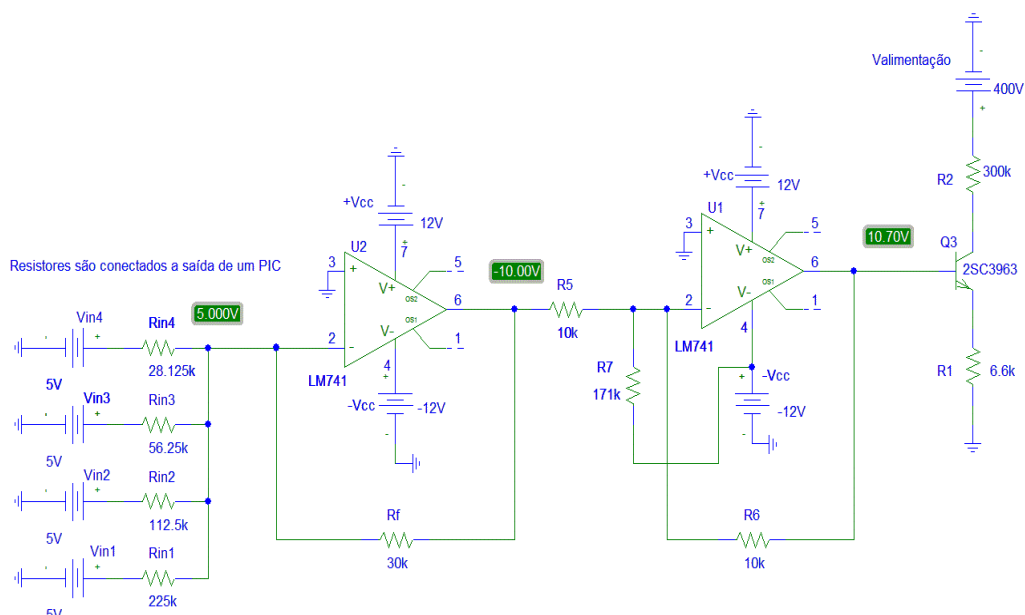


Figura 18 - Circuito de controle indicando a tensão de saída.

Tabela 8 - Resistências.

$Rin4 = R$	28,125 k Ω
$Rin3 = 2R$	56,25 k Ω
$Rin2 = 4R$	112,5 k Ω
$Rin1 = 8R$	225 k Ω

A corrente na saída será de 0 mA quando não houver qualquer tensão aplicada aos resistores de entrada ($Rin1-Rin4$). Para uma corrente de 0,1 mA apenas o resistor $Rin1$ estará ativado. Para uma corrente de 0,2 mA apenas o resistor $Rin2$ estará ativado, para uma corrente de 0,3 mA os resistores $Rin1$ e $Rin2$ estarão ativados e assim sucessivamente para os níveis superiores de corrente.

O controle do chaveamento dos resistores será realizado através de um microcontrolador PIC16F877A. Escolheu-se esse dispositivo, pois é barato, fácil de programar, bastante difundido e possuem pinos suficientes para conectar-se a saída, as entradas que serão necessárias e o *display* para mostrar os níveis de corrente.

Os resistores Rin1-Rin4 são conectados ao microcontrolador de forma a possibilitar a variação da corrente injetada no primeiro amp-op e consequentemente de sua tensão de saída.

O resistor de 225 k Ω será o primeiro bit, o de 112,5 k Ω irá ser o segundo bit, 56,25 k Ω equivalerá ao terceiro bit e a resistência de 28,125 k Ω ao quarto bit, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores da corrente imposta sobre o rato.

Saída	Corrente (mA)
0000	0
0001	0,1
0010	0,2
0011	0,3
0100	0,4
0101	0,5
0110	0,6
0111	0,7
1000	0,8
1001	0,9
1010	1,0
1011	1,1
1100	1,2
1101	1,3
1110	1,4
1111	1,5

Este modelo possui quarenta pinos, sendo sete destes usado para a alimentação e controle do mesmo, como visto na Figura 19.

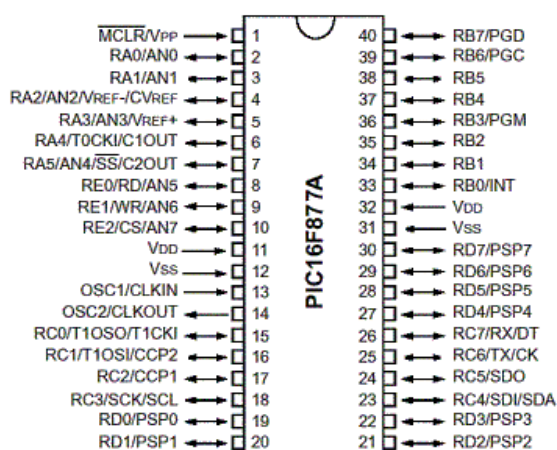


Figura 19 - PIC16F877A.

O pino 1 suporta três níveis de tensão. Quando este pino estiver recebendo 5 V, o microcontrolador estará em condições de executar o programa. Quando este pino receber 0 V, o PIC será “resetado”. Quando este pino receber tensão de 13,4 V, o PIC irá entrar em modo de gravação.

Os pinos 11 e 32 são alimentados com no máximo 5 V. Os pinos 12 e 31 são a referência (GND) e nos pinos 13 e 14 é ligado o ressonador externo (cristal de clock).

Os demais pinos são entradas e saídas e são agrupados em portas (PORTs), de no máximo oito pinos cada (limitação, pois o componente possui um núcleo de oito bits).

Para realizar o controle dos níveis de corrente foram inseridos dois botões no circuito. Eles têm a finalidade de elevar e rebaixar a tensão na base do transistor que comanda a corrente através do rato. Na figura 20 é mostrado o circuito simulado no Software Proteus.

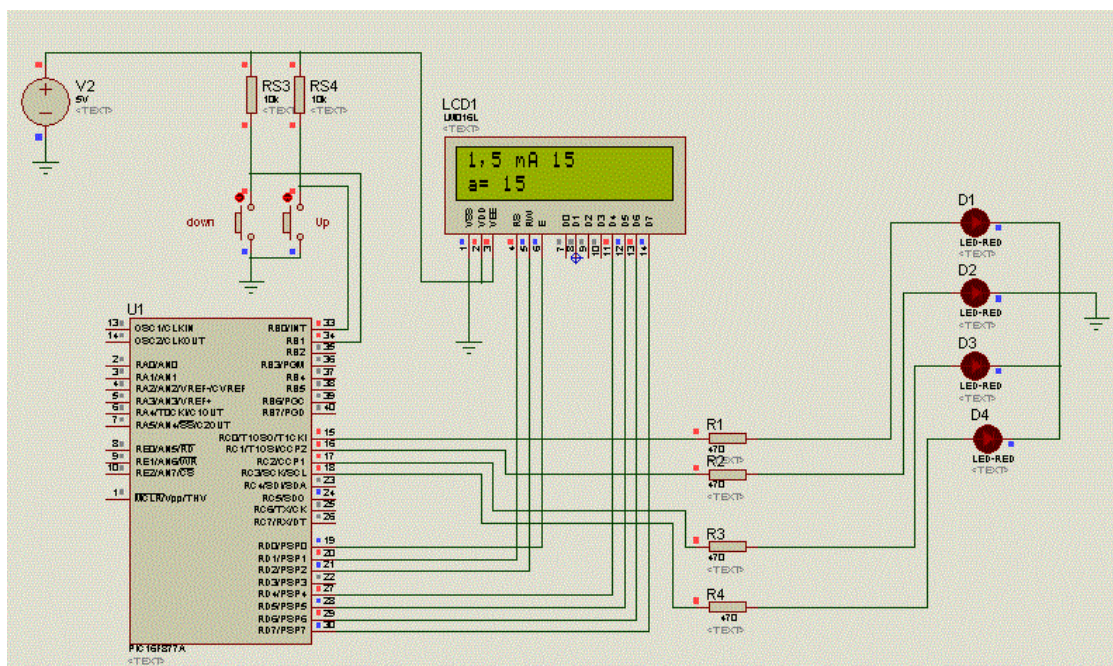


Figura 20 - Simulação do controle dos resistores no Software Proteus.

Como visto na Figura acima, o botão “up” tem a função de elevar o nível de corrente e o botão “down” de reduzir o nível de corrente através do rato. O valor definido para a corrente é mostrado em um display.

Nota-se na Figura 20 que quando o nível desejado de corrente é de 1,5 mA, as quatro saídas estão ativadas. O código usado no PIC para realizar essas instruções é mostrado no Anexo do trabalho.

Admitindo que a resistência do rato seja 300 k Ω , foi simulado o circuito da Figura 17 para todos os níveis de corrente desejados. Devido ao alto valor dessa resistência elétrica, necessitam-se valores de tensão elevados para se obter a corrente desejada. O transistor disponível para testes é o 2SC3969 que suporta uma tensão máxima de 400 V. Por isso, será usado como tensão de alimentação esse valor, tanto em simulações como na montagem prática.

A equação a seguir relaciona a corrente de carga em função da tensão de alimentação, tensão do zener, tensão base-emissor e resistência do rato.

$$I_L = \frac{V_{\text{Alimentação}} - V_z + V_{BE}}{R_{\text{rato}}} \quad (17)$$

Na Tabela 10 são apresentados os máximos valores de corrente que o dispositivo pode atender para diferentes valores de tensão de entrada e de resistência do rato. Esses valores foram obtidos através da equação (17), sendo que usou-se 10 V para V_z e 0,7 V para V_{BE} .

Tabela 10 – Valores máximos de corrente.

Tensão de Alimentação \ Resistência Rato	I_L (mA)			
	300 k Ω	500 k Ω	750 k Ω	1000 k Ω
0 V	0	0	0	0
400 V	1,30	0,78	0,52	0,39
800 V	2,63	1,58	1,05	0,79
1000 V	3,30	1,98	1,32	0,99
1500 V	4,96	2,98	1,98	1,49
2000 V	6,63	3,98	2,65	1,99
2500 V	8,30	4,98	3,32	2,49
3000 V	9,96	5,92	3,98	2,99

Na Figura 21 é apresentado o gráfico dos dados da Tabela 10.

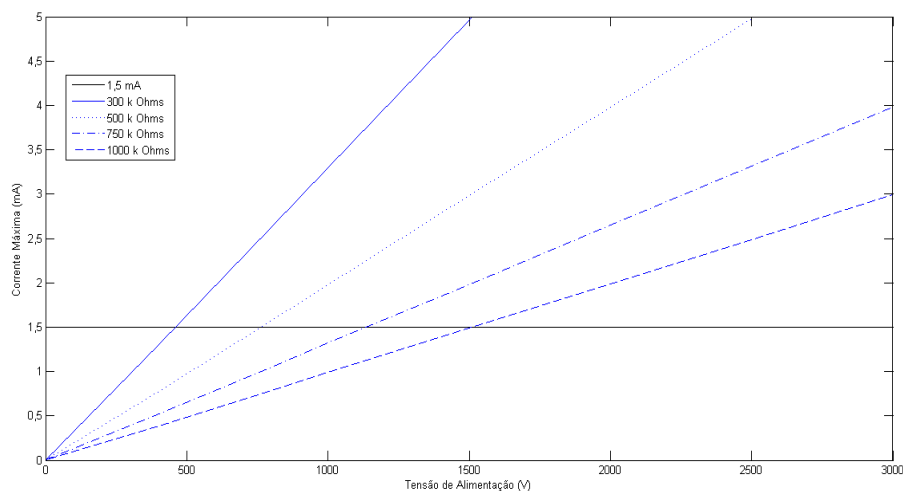


Figura 21 - Corrente máxima de saída do dispositivo.

Para a topologia usada funcionar corretamente com ratos de maior resistência que 300 k Ω , as únicas coisas a se fazerem são substituir o transistor por um que suporte a tensão necessária, que tenha um V_{BE} próximo de 0,7 V e alimentar o circuito com a tensão adequada.

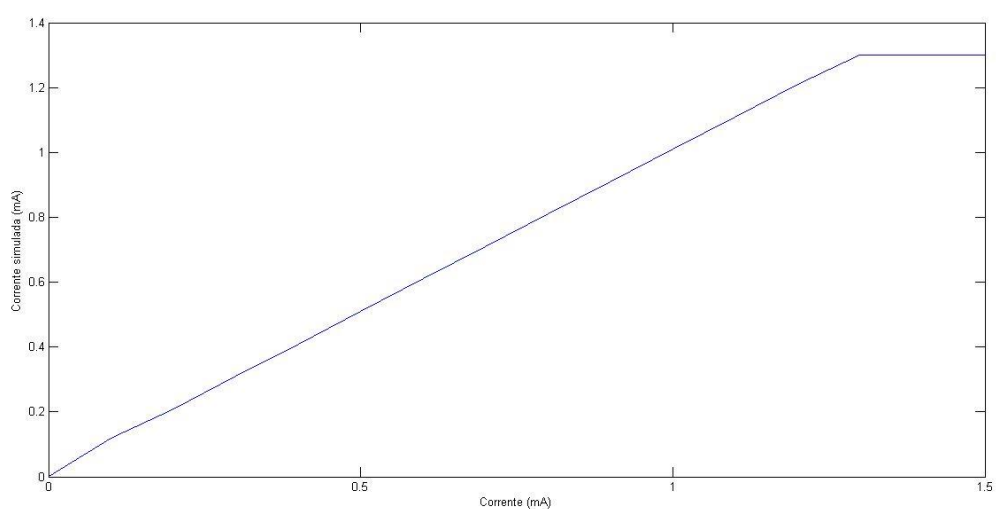
Na Tabela 11 são mostrados os valores obtidos nas simulações.

Tabela 11 - Dados obtidos em simulação

Corrente Desejada (mA)	Corrente Simulada (mA)
0	0
0,1	0,12
0,2	0,21
0,3	0,31
0,4	0,41
0,5	0,51
0,6	0,61
0,7	0,71
0,8	0,81
0,9	0,91
1,0	1,01
1,1	1,11
1,2	1,21
1,3	1,30
1,4	1,30
1,5	1,30

Notam-se nos dados acima que o dispositivo funciona corretamente até 1,3 mA. Isso se deve ao fato da tensão de alimentação ser de apenas 400 V. Segundo a Lei de Ohm, $V = Ri$, tem-se para uma tensão de 400 V e uma resistência de 300 k Ω uma corrente de 1,3 mA.

Os dados da Tabela 11 são melhores expostos no gráfico da Figura 22

**Figura 22 - Gráfico da corrente obtida nas simulações.**

5.2 Resultados Experimentais

O circuito montado no Laboratório para testes é mostrado na Figura 23

Na Tabela 12 são mostrados os valores de corrente medidos para diferentes valores de cargas.

Tabela 12 – Valores de corrente para diferentes cargas.

Carga/Corrente	0,1 mA	0,3 mA	0,5 mA	0,8 mA	1 mA	1,3 mA	1,5 mA
1 k Ω	0,08	0,26	0,47	0,74	0,92	1,21	1,45
5 k Ω	0,08	0,26	0,47	0,74	0,92	1,21	1,45
10 k Ω	0,08	0,26	0,47	0,73	0,92	1,21	1,45
50 k Ω	0,08	0,26	0,47	0,72	0,91	1,19	1,41
100 k Ω	0,08	0,26	0,47	0,72	0,91	1,19	1,4
500 k Ω	0,08	0,26	0,47	0,72	0,8	0,8	0,8
1000 k Ω	0,08	0,26	0,41	0,41	0,41	0,4	0,4

Analisando a Tabela acima notamos que o dispositivo funciona corretamente até certa carga. Com uma tensão de alimentação de 400 V e para uma carga de 1000 k Ω , o circuito apresentou uma corrente máxima de 0,41 mA.

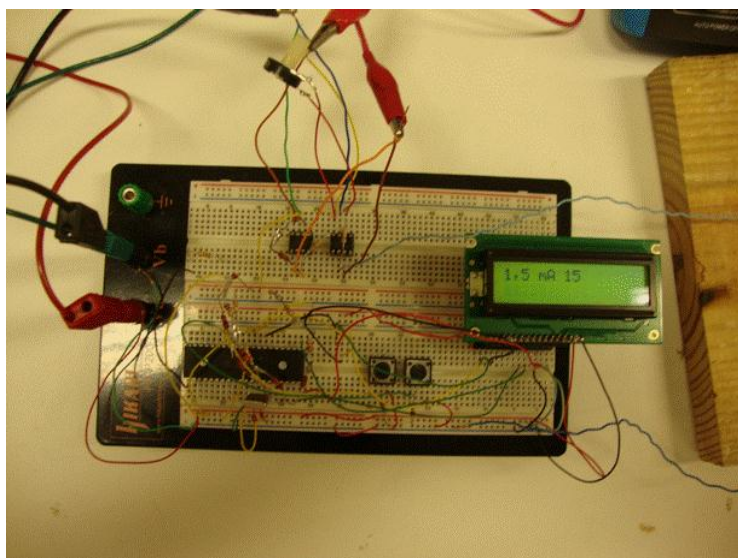


Figura 23 - Circuito montado no Laboratório de Eletrotécnica.

Depois de todos os testes realizados, foi efetuado o teste final, ou seja, foi medida a corrente utilizando um rato como carga. Ele foi colocado sobre a grade da Figura 14 e uma tensão

de alimentação de 400 V foi aplicada. O rato utilizado foi o mesmo usado na segunda medição da resistência elétrica, sendo assim, sua resistência elétrica é de aproximadamente 300 k Ω .

Os dados obtidos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados obtidos experimentalmente.

Corrente desejada (mA)	Corrente Medida (mA)
0,1	0,11
0,2	0,21
0,3	0,3
0,4	0,4
0,5	0,49
0,6	0,60
0,7	0,68
0,8	0,79
0,9	0,88
1,0	0,96
1,1	1,07
1,2	1,18
1,3	1,27
1,4	1,36
1,5	1,36

Os valores medidos na Tabela 13 são semelhantes aos valores obtidos em simulação para uma resistência de 300 k Ω (Tabela 11). Isso implica em um correto funcionamento do dispositivo desenvolvido.

Na Figura 24 são mostrados os dados da Tabela acima graficamente. Nota-se que eles apresentam um comportamento linear, estabilizando em um valor de corrente em torno de 1,36 mA, como já era esperado.

Em virtude de não existirem resistores comerciais nos valores desejados para uma perfeita regulagem do valor da corrente, os valores apresentam uma pequena variação em torno do valor exato. Isso é completamente aceitável visto que essa variação é relativamente pequena.

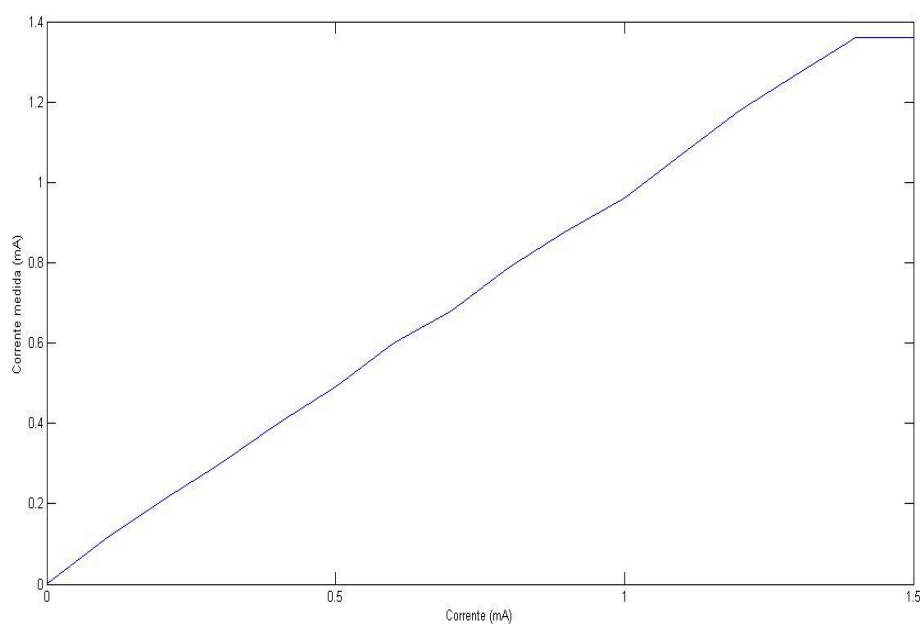


Figura 24 – Gráfico da corrente medida praticamente.

Em relação ao choque elétrico aplicado ao rato, não foi possível distinguir se o animal realmente sentiu um choque elétrico. Os critérios para a definição da ocorrência de choque elétrico foram os mesmo utilizados em [15] e aparentemente foi notado apenas o primeiro e o segundo critério, ou seja, nos primeiros níveis de corrente o animal não manifestou qualquer reação ou movimento. À medida que a intensidade de corrente foi aumentada, mais especificamente a partir de 1,1 mA, ocorreu a mudança de comportamento para o segundo critério. O rato começou a se movimentar calmamente sobre a grade. Ainda segundo [15] esse critério não se caracteriza como choque elétrico mesmo que em alguns casos possa indicar sua ocorrência.

Na Figura 25 é apresentado o circuito final montado. O animal encontra-se dentro da caixa, no canto direito da Figura. O circuito de alta tensão foi desenvolvido separadamente do circuito de controle, em uma placa de circuito impresso, devido ao fato dos altos valores de tensão utilizados, não sendo possível utilizar uma protoboard. O dispositivo está regulado para uma corrente de 1,5 mA mas como visto no multímetro que está na Figura, a corrente que está circulando no animal é de 1,37 mA.

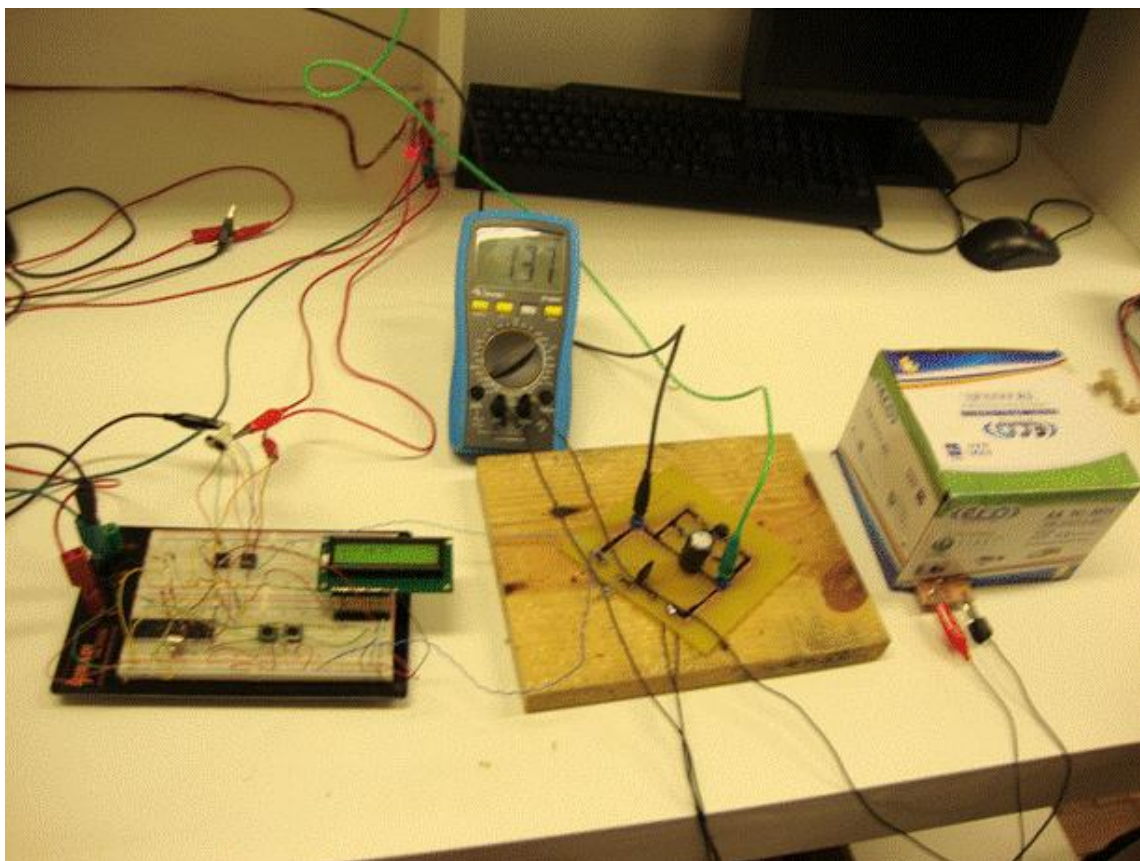


Figura 25 - Circuito final montado.

6 CONCLUSÕES

Como é rapidamente aprendida, a EI permite a determinação precisa do período após o exercício no qual os tratamentos afetam a estabilização da memória, algo difícil de distinguir em tarefas que requerem muitos procedimentos. Em humanos, a EI representa uma configuração de memória muito utilizada e indispensável para a sobrevivência, pois evita, por exemplo, que coloquemos os dedos em uma tomada elétrica, que atravessemos a rua sem olhar para os lados ou que andemos em lugares perigosos.

A resistência elétrica de um rato foi medida em dois testes, com animais de idade, peso e tamanho distintos. A grade de energização usada em cada medição também foi diferente. Os primeiros resultados utilizando um animal mais jovem e uma grade feita artesanalmente apresentou um valor muito elevado, em torno de 2000 k Ω . Em um segundo teste, utilizando uma grade diferente e um animal mais velho e mais pesado, os resultados indicaram um valor de resistência elétrica na média de 300 k Ω . Analisando a bibliografia notou-se que esse valor condiz com os valores encontrados em outros estudos.

O dispositivo desenvolvido para ser usado em estudo de EI apresentou resultados satisfatórios quando submetido aos testes de funcionamento. Apesar de não conseguir injetar todos os valores de corrente para altas resistências elétricas, o dispositivo indicou um correto funcionamento, o que já era esperado, comparando com os resultados obtidos em simulação.

Em relação ao dispositivo não apresentar um melhor funcionamento para altos valores de resistência, deve-se ao fato de na montagem do circuito não dispor-se de componentes elétricos adequados para suportarem altos valores de tensão. Com os altos valores para a carga, necessitar-se-ia uma tensão elevada, idealmente algo de torno de 3 kV, para obter-se um correto funcionamento e uma margem de confiança considerável. Como não se dispunha de transisto-

res que conseguiriam suportar esses níveis, o transistor utilizado na montagem atende uma tensão de no máximo 400 V, o dispositivo não conseguiu atender a certos valores de corrente quando submetidos a cargas mais elevadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cammarota M, Bevilaqua LRM, Izquierdo I. Aprendizado e memória. In: Lent, R. Neurociência da mente e do comportamento. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan. 2008.
- [2] Izquierdo I, Bevilaqua LR, Rossato JI, da Silva WC, Bonini JS, Medina JH, Cammarota M. The molecular cascades of long-term potentiation underlie memory consolidation of one-trial avoidance in CA1 but not in basolateral amygdala and neocortex. Pontifica Universidade Católica de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- [3] Misanin JR, Miller RR, Lewis DJ. Retrograde amnesia produced by electroconvulsive shock after reactivation of a consolidation memory trace, 1968.
- [4] Eisenberg M, Dudai Y. Reconsolidation of fresh, remote and extinguished fear memory in Medaka: old fears don't die. The Weizmann Institute of Science, Israel, 2004.
- [5] Pavlov IP, Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex. London, Oxford University Press, 1927.
- [6] Cammarota M, Bevilaqua LRM, Kerr DS, Medina JH, Izquierdo I, Inhibition of mRNA and protein synthesis in the CA1 region of the dorsal hippocampus blocks reinstallation of a conditioned fear response, 2003
- [7] Bailey CH, Kandel ER, Si K, The persistence of long-term memory: A molecular approach to self-sustaining changes in learning-induced synaptic growth, 2004.
- [8] Bekinshtein P, Cammarota M, Kathe C, Slipczuk L, Rossato JI, Goldin A, Izquierdo I, Medina JH, BDNF is essential to promote persistence of long-term memory storage, 2008.
- [9] Cammarota M, Bevilaqua LR, Ardenghi P, Paratcha G, Levi de Stein M, Izquierdo I, Medina JH, Learning-associated activation of nuclear MAPK, CREB and Elk-1, along with Fos production, in the rat hippocampus after a one-trial avoidance learning abolition by NMDA receptor blockade, 2000.
- [10] Boylestad RL, Nashelsky L, *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos, 8ª Edição*. Editora Prentice Hall, 2004.

[11] Johnson DE, Hilburn JL, Johnson JR. *Fundamentos de Análise de Circuitos Elétricos, 4ª Edição*. Editora LTC, 1994.

[12] Fonte de corrente. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Fonte_de_corrente>. Acesso em 15 de Março de 2012.

[13] Centelhas. Disponível em <http://www.centelhas.com.br/biblioteca/fontes_de_corrente.pdf>. Acesso em 6 de Abril de 2012.

[14] Antonio Marco V. Cipelli, Otávio Markus, Waldir Sandrini. *Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos, 23ª Edição*. Editora Érica Ltda, 2008.

[15] Muenzinger, K. F; Mize, R. H; “The Sensitivity of the white rat to electric shock: Threshold and skin resistance”. The University of Colorado.

[16] Santos Filho, S. G. *Eletrônica Experimental (Volume I) - Fontes de Tensão e Corrente, 1ª edição*. São Paulo: EPUSP, 1999.

[17] Electric shock. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_shock>. Acesso em 18 de Maio de 2012.

[18] Malvino, A. P. *Eletrônica: Volume 1, 4ª edição*. MAKRON Books Ltda, 1995.

[19] Muenzinger, K. F; Walz, F. C; “An Analysis of the Electrical Stimulus Producing a Shock”. The University of Colorado.

[20] Ramos, S. D; Lee, J. M; Peuler, J. D; “An inexpensive meter to measure differences in electrical resistance in the rat vagina during the ovarian cycle”. University Midwestern, 2001.

ANEXO A

Código usado no PIC

```

#include <16f877A.h> // identifica microcontrolador alvo
#device adc=8
#fuses XT // p/ cristal oscilador externo
#fuses // Alta velocidade Osc (> 4MHz)
#fuses NOPROTECT // Código não protegido de leitura
#fuses NODEBUG // sem modo de depuração para ICD
#fuses XT // p/ cristal oscilador externo
#fuses NOWDT // watchdog desabilitado
#fuses PUT // power up timer ligado
#fuses NOBROWNOUT // RESET por queda de tensão Habilitado
#fuses NOLVP // programação por baixa tensão desligada
#use delay(clock=4000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

#define LCD_ENABLE_PIN PIN_D0
#define LCD_RS_PIN PIN_D1
#define LCD_RW_PIN PIN_D2
#define LCD_DATA4 PIN_D4
#define LCD_DATA5 PIN_D5
#define LCD_DATA6 PIN_D6
#define LCD_DATA7 PIN_D7

#include <lcd.c>

#define in1 pin_b0
#define in2 pin_b1
#define in3 pin_b2
#define in4 pin_b3

#define R1 pin_c3
#define R2 pin_c2
#define R3 pin_c1
#define R4 pin_c0

unsigned int a=0;
int delaytecla=50;
int16 contador=0; //variável criada para ser incrementada de 1
toda a vez que houver overflow do timer0

#int_RTCC //função da interrupção timer0

void RTCC_isr(void)

{

    contador++; //incrementação da variavel contador

    if(contador==10000){ //caso a variável atinja o valor
de 10000, executa a instrução abaixo

        contador=0; //atribui o valor zero à variável conta-
dor.

        output_low(pin_c0); //muda para 0 o estado do pino C0
        output_low(pin_c1); //muda para 0 o estado do pino C1
        output_low(pin_c2); //muda para 0 o estado do pino C2
        output_low(pin_c3); //muda para 0 o estado do pino C3

```

```

    }

}

void main()
{
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_RTCC);
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(false);

    lcd_init();

    output_low(R1);
    output_low(R2);
    output_low(R3);
    output_low(R4);

    while(true)

    {

        if(!input(in1))

        {

            delay_us(delaytecla);
            if(!input(in1))
            {
                a++;
            }
        }
        if(!input(in2))
        {
            delay_us(delaytecla);
            if(!input(in2))

            {
                if(a==0)
                {
                    a=15;
                }
                else
                a--;
            }
        }
    }
    switch(a) {
    case 0 :
        output_low(R1);
        output_low(R2);
        output_low(R3);
        output_low(R4);
        printf(lcd_putc, "\f");
        printf(lcd_putc, "0 mA %d", a);
        delay_ms(300);

```



```

        break;
case 1 :
    output_high(R1);
    output_low(R2);
    output_low(R3);
    output_low(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,1 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 2 :
    output_low(R1);
    output_high(R2);
    output_low(R3);

    output_low(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,2 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 3 :
    output_high(R1);
    output_high(R2);
    output_low(R3);
    output_low(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,3 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 4 :
    output_low(R1);
    output_low(R2);
    output_high(R3);
    output_low(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,4 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 5 :
    output_high(R1);
    output_low(R2);
    output_high(R3);
    output_low(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,5 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;

case 6 :
    output_low(R1);
    output_high(R2);
    output_high(R3);
    output_low(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,6 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 7 :
    output_high(R1);
    output_high(R2);
    output_high(R3);
    output_low(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,7 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;

```

```

case 8 :
    output_low(R1);
    output_low(R2);
    output_low(R3);
    output_high(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,8 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 9 :
    output_high(R1);
    output_low(R2);
    output_low(R3);
    output_high(R4);

    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "0,9 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 10 :
    output_low(R1);
    output_high(R2);
    output_low(R3);
    output_high(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "1 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 11 :
    output_high(R1);
    output_high(R2);
    output_low(R3);
    output_high(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "1,1 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 12 :
    output_low(R1);
    output_low(R2);
    output_high(R3);
    output_high(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "1,2 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 13 :

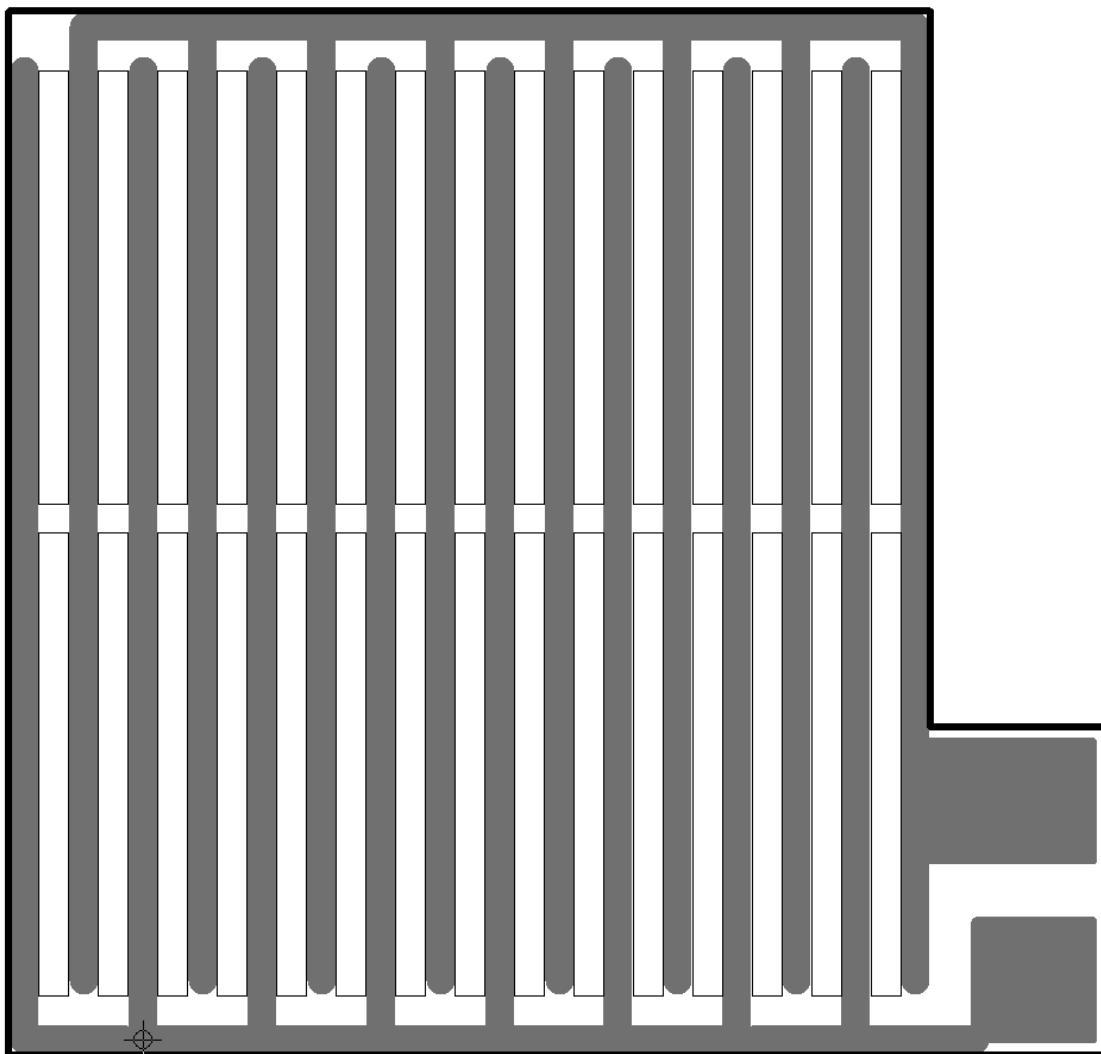
    output_high(R1);
    output_low(R2);
    output_high(R3);
    output_high(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "1,3 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 14 :
    output_low(R1);
    output_high(R2);
    output_high(R3);
    output_high(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "1,4 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 15 :

```

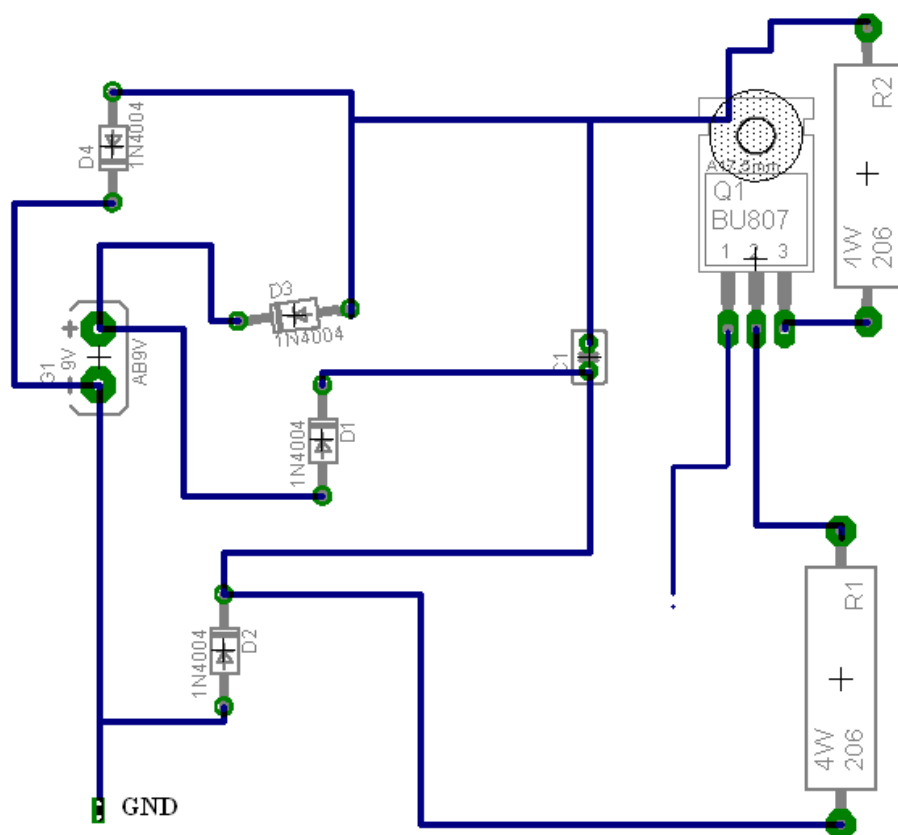
```
    output_high(R1);
    output_high(R2);
    output_high(R3);
    output_high(R4);
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "1,5 mA %d", a);
    delay_ms(300);
    break;
case 16 : a=0; break;
}
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, "a= %d", a);
    delay_ms(300);
}
}
```

ANEXO B

Placa da Grade



Placa Circuito Retificador e Circuito de Alta Potência



Placa Circuito de Controle

