



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
FEELT

**FONTE LINEAR REGULADA + CIRCUITO
AMPLIFICADOR**

Relatório da Disciplina de Eletrônica Analógica I
por

Ana Júlia Costa Santana - 11811ETE003
Lesly Viviane Montúfar Berrios - 11811ETE001

Prof. Daniel Pereira de Carvalho
Uberlândia, Dezembro / 2019

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 2 |
| 2 | Fonte de Alimentação Linear Regulada | 3 |
| 2.1 | Componentes e orçamento | 3 |
| 2.2 | Memória de cálculo | 4 |
| 2.2.1 | Retificação | 4 |
| 2.2.2 | Filtragem | 4 |
| 2.2.3 | Regulação | 5 |
| 2.2.4 | Resistor para descarga do capacitor | 5 |
| 2.3 | Finalização e considerações sobre a PCB | 6 |
| 2.3.1 | Espessura da linha | 6 |
| 2.3.2 | Projeto final no <i>PROTEUS</i> | 6 |
| 2.4 | Testes e ensaios | 9 |
| 2.4.1 | Regulação de linha | 9 |
| 2.4.2 | Regulação de carga | 9 |
| 3 | Circuito amplificador | 10 |
| 3.1 | Componentes e orçamento | 10 |
| 4 | Finalização do projeto: Fonte + Circuito amplificador | 12 |
| 5 | Conclusões | 13 |

1 Introdução

Na construção e planejamento da primeira placa de impresso (*PCB*) está a essência de qualquer curso da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT), uma vez que, à despeito das dificuldades no entendimento da disciplina teórica, o planejamento e análise da forma de onda da grandezas de tensão e corrente demonstram e ilustram com lucidez cada processo intrínseco do circuito. Nesse sentido, o uso de simuladores, seja *PROTEUS*, *MULTSIM* ou qualquer outro, é ferramenta de imprescindível para a análise do qualquer circuito, e entendimento dos componentes necessários e melhor adaptáveis às exigências do projeto.

O projeto a ser destrinchado em cálculos e demonstrações é retirado do material *El Cheapo* [1] cujo título é *Um realmente simples amplificador de potência* (do inglês, *A Really Simple Power Amplifier*). Logo, é preciso planejar a elaboração de dois circuitos: a *fonte de alimentação linear regulada* e o *circuito amplificador*. Sabe-se que o projeto mencionado pode ser substituído em parte por um dispositivo menor (um amplificador operacional), contudo isso não é feito visto que o objetivo principal é o aprendizado dos componentes mais básicos da elétrica: resistores, capacitores, transistores e diodos.

À respeito da ***fonte de alimentação linear regulada***, tratada na Seção 2, pode obter-se melhor experiência, seja na busca por componentes, assim como melhor envolvimento com ferramentas de simulação e elaboração de placas de circuito impresso. Sabendo-se que trata-se de um dispositivo responsável por converter a tensão elétrica alternada em contínua, foi possível verificar experimentalmente as qualidades e resultados de um circuito retificador em ponte, além de filtros capacitivos e circuitos reguladores com diodos zener.

Já o ***circuito amplificador***, discutido na Seção 3, pode e deve ser realizado com maior empenho, devido à experiência adquirida durante a realização da fonte. Ademais, é interessante sua análise, uma vez que nesse circuito se vê a aplicação de conceitos aprendidos na disciplina teórica, por exemplo de circuitos amplificadores coletor-comum (ou seguidor de emissor) com/sem bootstrapping, amplificadores push-pull, e outros.

Na seção 2, é descrita o procedimento completo para a construção na fonte, começando pela catalogação dos componentes necessários e seu orçamento, para assim poder estudá-lo em etapas de análise: retificação, filtragem e regulação. Em seguida, na seção 3, são tratadas as peculiaridades do circuito amplificador, o qual abrange transistores amplificadores de distintas características. Para assim, na seção 4 mostrar o resultado final obtido da fonte com o amplificador.

Tabela 1: Componentes e orçamento da fonte.

| Componente | Especificação | Quantidade | Preço (R\$) | Descrição |
|--------------------|--------------------|---------------|-------------|-----------------------|
| Capacitores | $4700\mu F - 100V$ | 2 | 35 | C1, C3 |
| | $470\mu F - 100V$ | 1 | 9,50 | C2 |
| Resistores | $1k\Omega$ | 2 | 0,12 | R1, R2 |
| | $1k8\Omega - 5W$ | 2 | 4,84 | Descarga do capacitor |
| Ponte Retificadora | 6A | 1 | 7,15 | Havia a GBJ606 |
| Transistores | BD139 | 1 | 0,85 | Q1 |
| | TIP35C | 1 | 5,85 | Q2 |
| Fusível | 4A | 1 | 0,30 | FUS |
| Borne Painel | 5A | 4 | 5,25 | Só havia de 20A |
| Placa de fenolite | $10 \times 15cm$ | 1 | 6,80 | Tamanho adequado |
| | | Total: | R\$ 75,66 | |

2.2 Memória de cálculo

Cada componente possui uma função no circuito, que pode ser analisada a nível de tensão e corrente. Espera-se um sinal contínuo na saída, com o qual poderá conectar-se a carga, ou seja o circuito amplificador de 8Ω .

2.2.1 Retificação

Esta etapa transforma a tensão alternada em uma tensão contínua pulsante, e é realizada principalmente pela ponte retificadora. a ponte escolhida foi uma de 6A, 600 V que atende aos parâmetros do circuito montado. Na Figura

2.2.2 Filtragem

Transforma a tensão contínua pulsante em uma tensão contínua quase perfeita. Mas essa tensão contínua apresenta, quando a fonte é ligada a uma carga, uma oscilação chamada Tensão de Ripple. Essa etapa é realizada pelos capacitores encontrados eno circuito que devido a sua composição, ao sofrer o processo de carga e descarga diminuem a oscilação da tensão já que a tensão fornecida ao circuito agora nos momentos de pulso é suprida pela descarga do capacitor. Porém como abprdado anteriormente, resta ainda o riplle e para eliminar esse fator incômodo existe ainda outra etapa...

2.2.3 Regulação

Após a retificação e a filtragem, ocorre a etapa de regulação, com o objetivo de eliminar definitivamente a tensão de oscilação, mesmo com uma carga variável. O diodo utilizado, conta com uma tensão Zener nominal de 62 V para uma corrente de teste de 4 mA.

O comportamento do zener é observado para dois processos, a regulação de linha, que mostra a capacidade da fonte de manter a tensão de saída diante de variações na tensão de entrada.

Se a tensão de entrada aumenta muito, ao invés de ter todo esse acréscimo em cima da carga, o diodo Zener, regula esse valor de tensão, por meio da sua característica de operação em ruptura reversa. Isso é bem observado na corrente, que sofre maiores alterações para que a tensão se mantenha constante. Para o processo inverso, com um decréscimo na tensão de entrada, um processo análogo. As variações na tensão de entrada, são direcionadas ao resistor limitador, mostrando serem válidas as equações abaixo.

$$I_S = I_Z + I_R \quad (1)$$

$$V_S = V_{in} - V_Z \quad (2)$$

Existe ainda a regulação de carga, que mostra a capacidade da fonte de manter uma tensão de saída constante diante de variações na corrente de carga. Que depende da potência requerida pela carga.

$$I_S = \frac{V_{in} - V_Z}{R_S} \quad (3)$$

Logo, para toda a variação na corrente de carga é compensada por uma variação oposta na corrente através do diodo Zener, mantendo a tensão constante.

2.2.4 Resistor para descarga do capacitor

Para segurança do circuito, e daqueles que forem manejá-lo, resistores foram acrescentados em paralelo com os capacitores, para que, ao efetuar o desligamento da placa os capacitores pudessem ser descarregados em segurança. Para projetar a resistência necessária nos capacitores, as equações conhecidas para descarga num capacitor foram aplicadas.

$$t = RC \cdot \ln\left(1 - \frac{V_C}{V_{in}}\right) \quad (4)$$

Considerando os capacitores de 4700µF e um tempo de descarga de 10 s, para

uma tensão média entre os dois capacitores, V_C de 64,85V (de acordo com simulação) e V_{in} de 80 V_{pp}, a resistência mínima necessária é de 1,3kΩ, para suprir esses requisitos mínimos, foi utilizado um resistor de 1,8kΩ de 5W.

2.3 Finalização e considerações sobre a PCB

2.3.1 Espessura da linha

Ao projetar a placa de circuito impresso. Um cuidado maior com relação as trilhas precisa ser tomado, para que não haja problemas quanto a passagem de corrente, e para otimizar a dissipação do calor na placa. Para escolher uma espessura de linha que cumprisse tais propósitos, utilizamos o equacionamento de acordo com a norma IPC-2221, que através de sua curva define as constantes k, b e c que são utilizadas no cálculo da espessura da trilha mais adequada. Iniciando pelo cálculo da área temos:

$$A[th^2] = \left(\frac{I}{k \cdot (Temp - Rise[deg.C])^b} \right)^{\frac{1}{c}} \quad (5)$$

E em sequência a largura é dada:

$$L[th] = \frac{A}{Espessura[oz] \cdot 1,378} \quad (6)$$

Considerando $k = 0,048$, $b = 0,44$, $c = 0,725$ e a placa de fenolite de 1 OZ, e uma variação de temperatura de aproximadamente 10°C, descobriu-se um valor para a espessura das linhas de aproximadamente 90th, o qual foi utilizado na maioria das trilhas do projeto.

2.3.2 Projeto final no *PROTEUS*

Utilizando todos os conceitos já descritos foi possível organizar os componentes em uma placa de circuito impresso, utilizando o software *PROTEUS*.

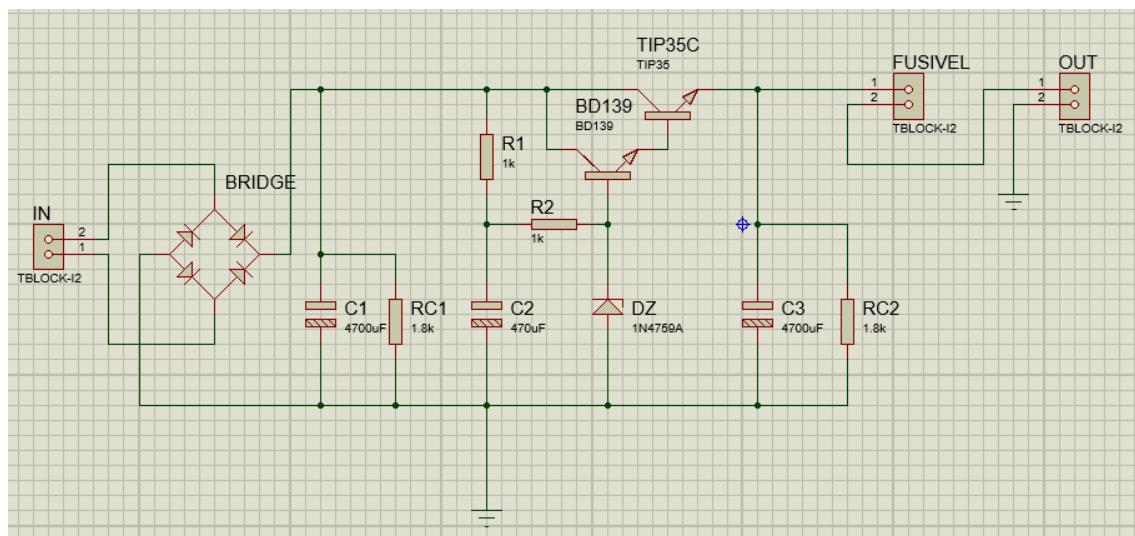


Figura 2: Projeto ISIS da fonte.

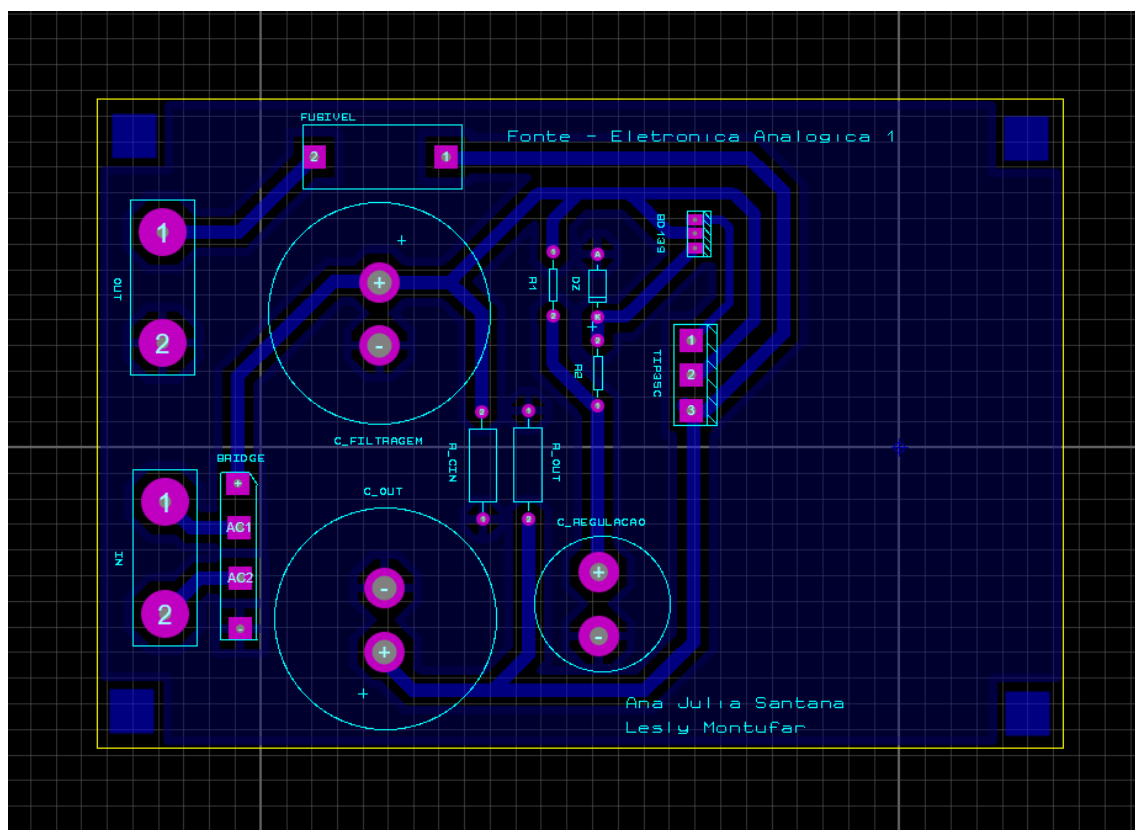


Figura 3: Projeto ARES da fonte.

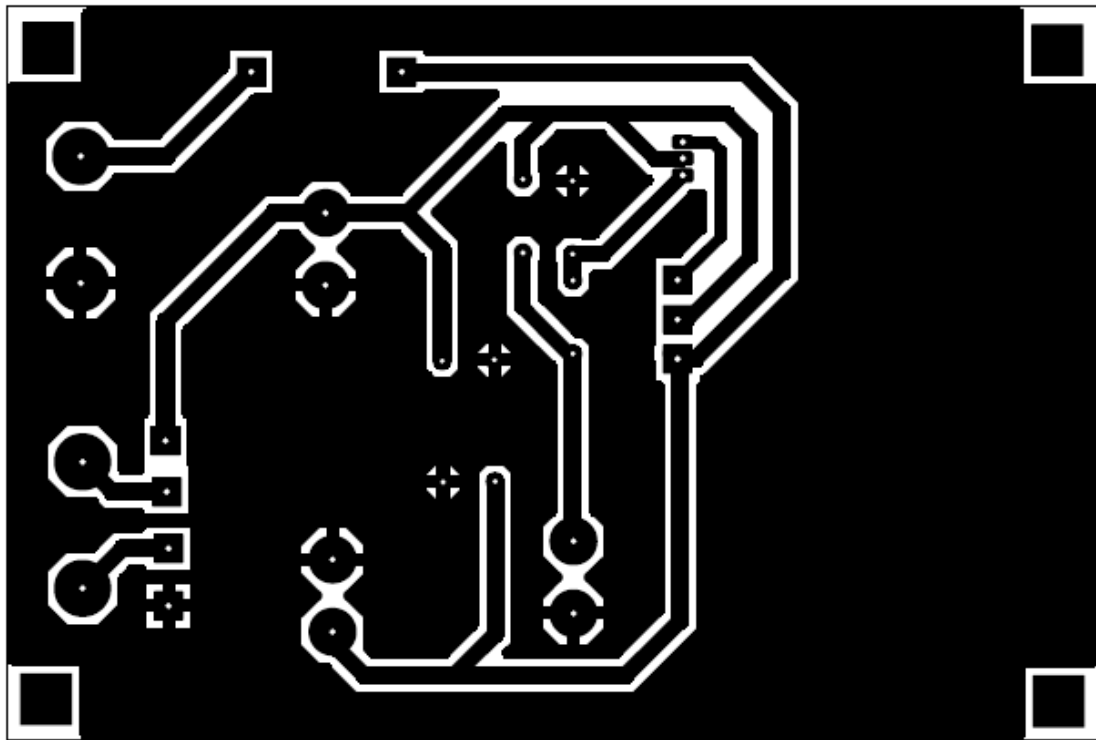


Figura 4: Parte inferior do placa.

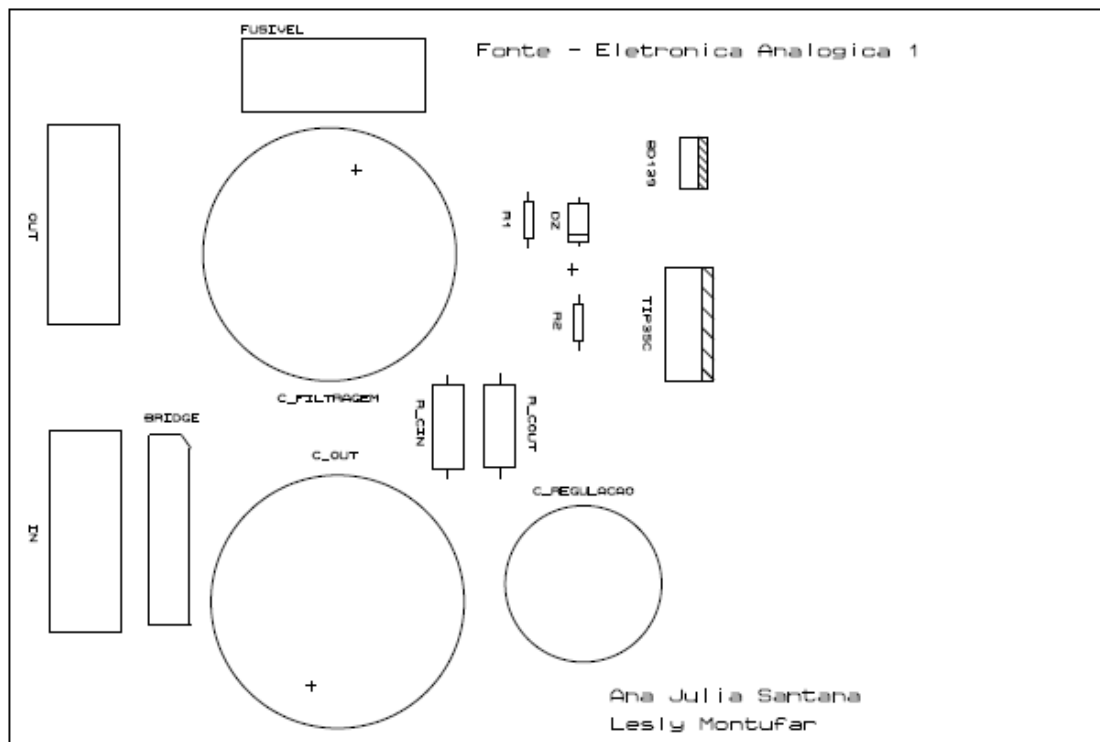


Figura 5: Parte superior da placa.

2.4 Testes e ensaios

2.4.1 Regulação de linha

2.4.2 Regulação de carga

3 Circuito amplificador

3.1 Componentes e orçamento

O esquemático *El Cheapo*, apresentado na Figura 6, possui alguns dispositivos que são obsoletos hoje, por exemplo os trasistores de germânio, os quais podem ser equivalentemente substituídos pelos componentes descritos na Tabela 2.

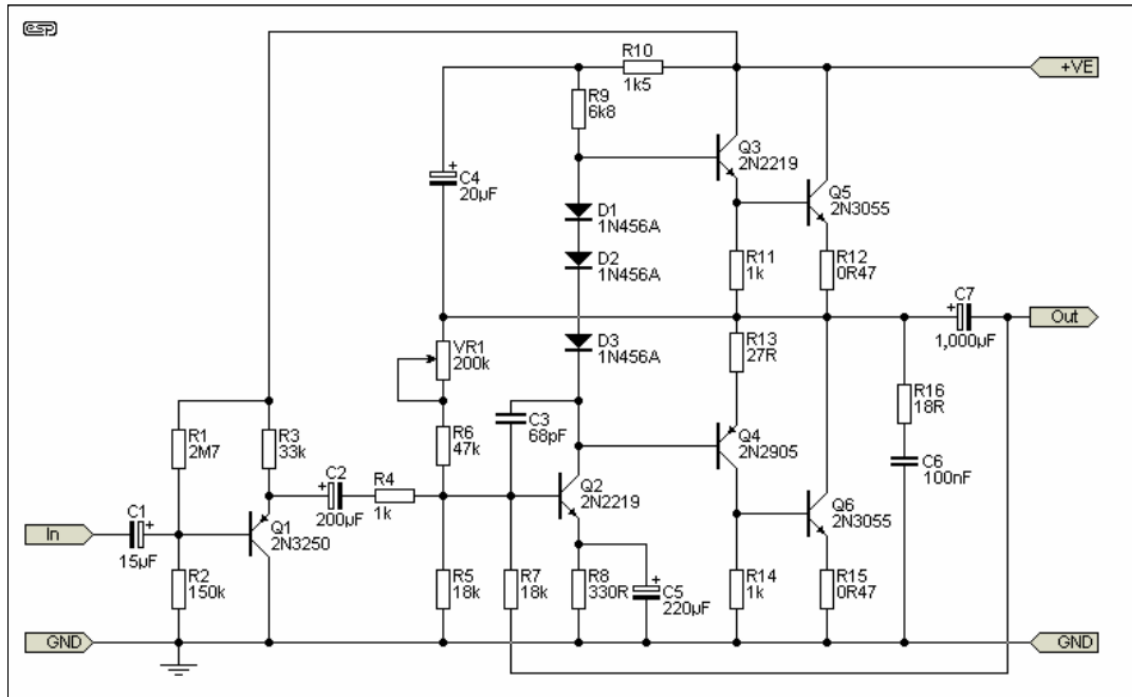


Figura 6: Esquemático *El Cheapo* do circuito amplificador [1].

Dos componentes da Tabela 2, extraídos do esquemático da Figura 6, ainda são possíveis mudanças para o aprimoramento dos mecanismo do circuito. O capacitor $C7^*$ por exemplo poderia ter aumento de capacitância para $4700\mu F$, com o intuito de suprir o amortecimento insuficiente do arranjo de capacitores. Ademais, é importante ressaltar que os diodos (D1, D2 e D3) devem estar em contato com o dissipador, uma vez que da simulação se terá uma tensão em torno de 4 vezes a tensão de pico da fonte.

Tabela 2: Componentes e orçamento do circuito amplificador.

| Componente | Especificação | Quantidade | Preço | Descrição | Observações |
|---------------|-----------------|------------|-----------|--------------|-------------------------------|
| Capacitores | $15\mu F$ | 1 | | C1 | |
| | $200\mu F$ | 1 | 5,00 | C2 | |
| | $68pF$ | 1 | 0,50 | C3 | 50V cerâmico |
| | $20\mu F$ | 1 | 0,76 | C4 | 22UF 100V |
| | $220\mu F$ | 1 | 6,20 | C5 | 220MF 100V (6,20) 220V (5,00) |
| | $100nF$ | 1 | 0,42 | C6 | 100k 50V cerâmico |
| | $1000\mu F$ | 1 | 1,20 | C7* | 4700MF 63V(15,50)/1000MF 25V |
| Resistores | $2M7\Omega$ | 1 | | R1 | |
| | $150k\Omega$ | 1 | 0,10 | R2 | 1/8W |
| | $33k\Omega$ | 1 | 0,10 | R3 | 1/8W |
| | $1k\Omega$ | 3 | 0,15 | R4, R11, R14 | |
| | $18k\Omega$ | 2 | 0,16 | R5, R7 | 1/8W |
| | $47k\Omega$ | 1 | 0,10 | R6 | 1/8W |
| | $330R\Omega$ | 1 | 0,10 | R8 | 1/8W |
| | $6k8\Omega$ | 1 | 0,10 | R9 | 1/8W |
| | $1k5\Omega$ | 1 | 0,10 | R10 | 1/8W |
| | $0R47\Omega$ | 2 | 0,20 | R12, R15 | 1/8W |
| | $27R\Omega$ | 1 | 0,10 | R13 | 1/8W |
| | $18R\Omega$ | 1 | 0,05 | R16 | 1/8W |
| Diodos | 1N456A | 3 | 0,30 | D1, D2, D3. | |
| Transistores | BC559 | 1 | 0,93 | Q1 | |
| | BD139 | 2 | 5,40 | Q2, Q3 | |
| | BD140 | 1 | 1,68 | Q4 | |
| | 2N3055 (TIP35C) | 2 | 11,82 | Q5, Q6 | |
| Potenciômetro | 200k | 1 | 2,75 | VR1 | |
| Total: | | | R\$ 35,17 | | |

4 Finalização do projeto: Fonte + Circuito amplificador

5 Conclusões

Referências

- [1] Rod Elliott, “El Cheapo - A Really Simple Power Amplifier”, ESP, Elliott Sound Products, 2005. Disponível em: <https://sound-au.com/project12a.htm>. Acesso em: out. 2019.
- [2] Brooks Doug, Graves Dave, ”Current Carrying Capacity of Vias” Disponível em: <https://www.ultracad.com/articles/viacurrents.pdf>. Acesso em: out. 2019.
- [3] Soares Camila, ”Dedução das equações de carga e descarga dos capacitores utilizando equações diferenciais de primeira ordem”. Disponível em: <https://camilasoares.wordpress.com/2009/04/07/dedacao-das-equacoes-de-carga-e-descarga-dos-capacitores-utilizando-equacoes-diferenciais-de-primeira-ordem/> Acesso em: out. 2019.
- [4] Petry Clovis Antonio, ”D. PROJETO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO - BÁSICO ”Disponível em: http://www.professorpetry.com.br/Bases_Dados/Apostilas_Tutoriais/Projeto_PCI_Charles.pdf. Acesso em: out. 2019.
- [5] “6.0A GLASS PASSIVATED BRIDGE RECTIFIER”, DIODES INCORPORATED. Disponível em: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds21216.pdf>. Acesso em: out. 2019.
- [6] “BD135/137/139”, FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. Disponível em: http://www.redrok.com/NPN_BD135_45V_1.5A_12.5W_Hfe40_T0-126.pdf. Acesso em: out. 2019.
- [7] “Silicon NPN Power Transistors TIP35/35A/35B/35C ”, SavantIC Semiconductor. Disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/269985/SAVANTIC/TIP35.html>. Acesso em: out. 2019.