

# PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO PARA O ENSINO DE AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

**André Victorette ; Eduardo de Oliveira ; Felipe Kalil Mendonça; Valdir Noll, Gislene Salim Rodrigues**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Gerência Educacional de Metal-Mecânica  
Av Mauro Ramos, 950  
88020-300 – Florianópolis – SC  
vnoll@cefetsc.edu.br

***Resumo:** Este artigo, além de permitir o entendimento do funcionamento de um amplificador operacional, contém a metodologia utilizada nos processos de desenvolvimento e montagem das placas dos circuitos, serigrafia e estrutura necessárias para a confecção de um kit didático capaz de simular diversas aplicações de circuitos com amplificadores operacionais.*

***Palavras-chave:** Kit didático, Amplificador operacional, Simulação.*

## 1. INTRODUÇÃO

As instituições de ensino técnico e superior estão cada vez mais interessados em aulas práticas, de modo a aumentar a produtividade da aula e facilitar a assimilação do conteúdo por parte dos alunos. Um dos métodos utilizados é a simulação do circuito na matriz de contato, porém esta, apesar de versátil, traz alguns problemas, tais como baixa durabilidade, requer muito tempo para a montagem do circuito e está sempre sujeita a mal-contato e curto-circuito. Com base nesta afirmação desenvolveu-se um kit didático que permite simular facilmente circuitos básicos que utilizam amplificadores operacionais.

## 2. REVISÃO DO FUNCIONAMENTO DOS AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

O Amplificador operacional (amp op) é um componente eletrônico construído da junção de resistores, capacitores e transistores. É um amplificador com um ganho muito alto, possui uma entrada inversora (-) e outra não inversora (+). O ganho de tensão em malha aberta pode ser definido pela seguinte equação:

$$V_{out} = (V_{+} - V_{-}) \cdot G_{malhaaberta} \quad (1)$$

### 2.1 Representação

Para que não fosse necessário desenhar todo o circuito interno do amplificador operacional quando for usar em alguma aplicação, criou-se, então um símbolo para representar este circuito (figura 6):

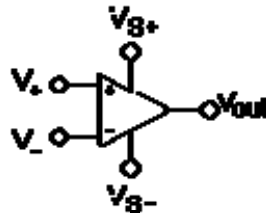


FIGURA 6 - Simbologia de um amplificador operacional

Onde:

V+: entrada não-inversora

V-: entrada inversora

Vout: saída

VS+: alimentação positiva

VS-: alimentação negativa

A alimentação do amplificador operacional é feita de forma simétrica, podendo em alguns casos utilizar uma monoalimentação.

Existe três formas de polarização: sem realimentação, realimentação positiva e realimentação negativa.

Um amplificador ideal apresenta as seguintes características:

- Em um amp op ideal a corrente na entrada inversora e não-inversora é nula, em outras palavras, a impedância de entrada é infinita;
- A impedância de saída é nula;
- Um amp op ideal possui uma razão de rejeição em modo comum infinita;
- O ganho de um amp op ideal é infinito.

Já um amplificador real apresenta:

- Um ganho de tensão que pode chegar a 200000;
- Uma impedância de entrada que pode chegar a 10MΩ;
- Uma impedância de saída que se aproxima a 75Ω;
- Sempre apresenta uma saída, mesmo quando as entradas são iguais;
- Todos os amplificadores possuem uma largura de banda finita.

## 2.2 Circuitos lineares com Amp op

A saída amplificada de um circuito linear com amp op conserva a forma do sinal de entrada. Por exemplo, se o sinal de entrada for triangular, o sinal de saída também será triangular. Segue abaixo a lista dos principais circuitos lineares possíveis de serem simulados no kit:

- Amplificador inversor;
- Amplificador não-inversor;
- Amplificador somador;
- Filtro passa-baixo de um pólo;
- Filtro passa-alto de um pólo;
- Seguidor unitário.

## **2.3 Circuitos não-lineares com amp op**

Ao contrário dos circuitos lineares, o sinal de saída de um amp op pode ter forma diferente do sinal de entrada. Segue abaixo a lista de alguns circuitos não-lineares possíveis de serem simulados no kit:

- Retificador de meia-onda;
- Limitador positivo ativo;
- Grampeador positivo ativo;
- Amplificador integrador;
- Integrador somador;
- Comparador;
- Schmitt trigger;
- Schmitt trigger não-inversor;
- Conversor de forma de onda;
- Oscilador de relaxação;
- Diferenciador;
- Amplificador subtrator.

## **3. DESENVOLVIMENTO DO KIT EDUCACIONAL**

Esta seção aborda a metodologia aplicada na confecção do kit didático cujo nome fantasia é “Kit Importa AMPOPular”, contendo detalhes de todas as etapas do seu desenvolvimento.

### **3.1 Funcionamento do kit**

Para tornar mais claro funcionamento do Kit, dividiu-se em três grandes blocos todo o processo de simulação, já que cada uma das duas placas de circuito impresso possui um circuito eletrônico com uma função específica.

O primeiro bloco contém o circuito corresponde à fonte simétrica de tensão variável responsável pela alimentação do circuito principal. Este bloco foi subdividido em outros quatro blocos: rebaixador de tensão, retificador do sinal de entrada, filtragem do sinal, regulador da tensão (figura 16).

O segundo é composto pelo circuito principal, onde serão feitas as simulações desejadas, por meio de conexões. Este bloco foi dividido em três partes correspondentes ao funcionamento do amplificador operacional. Junto a este é representado o circuito que permitirá a visualização do sinal de saída em cada simulação.

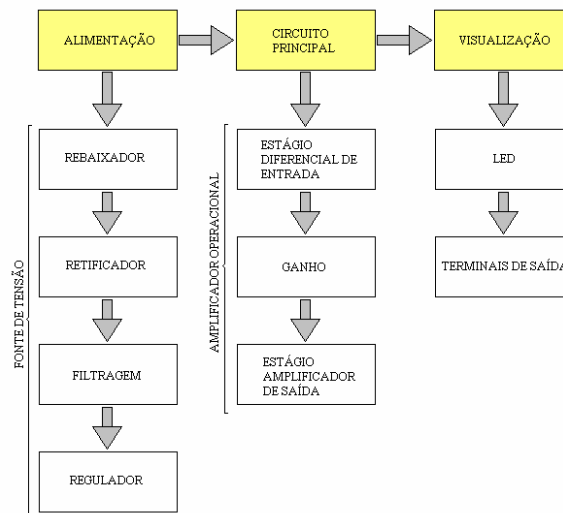


FIGURA 16 – Diagrama de blocos do funcionamento

Cada configuração simulada apresentará um ganho de saída específico. Este ganho pode ser observado precisamente com o auxílio de um multímetro ou de um osciloscópio. Podendo também ser notado pela variação no volume do buzzer e pelo acendimento do LED.

### 3.2 Projeto e confecção da placa de circuito impresso

Cada configuração dos circuitos mencionados anteriormente teve seus componentes dimensionados por meio de cálculos específicos de forma a permitir ao máximo a redução do seu número, sendo assim, vários circuitos seriam simulados com os mesmos componentes.

Com os valores dos componentes já definidos, iniciou-se o processo de modelagem do circuito. Durante esta etapa algumas alterações foram realizadas no mesmo: redução no número de bornes de entrada e componentes e a reorganização das trilhas, permitindo uma melhor visualização das configurações. Depois de realizadas as alterações, obteve-se o esquema elétrico definitivo do circuito principal, com destaque do circuito de visualização, projetado para facilitar o entendimento dos resultados obtidos nas simulações (figura 7).

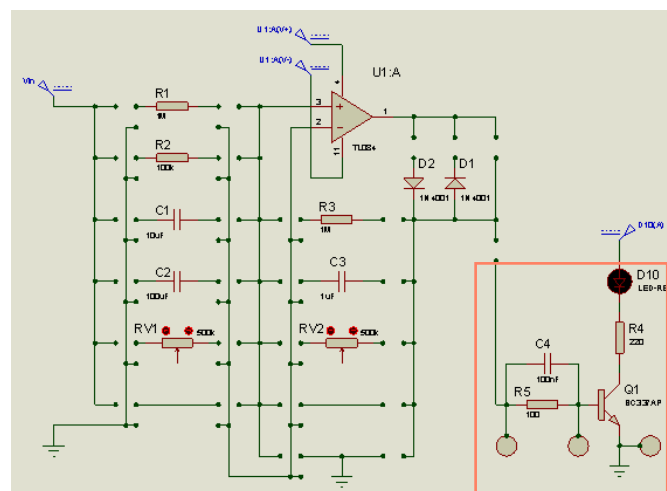


FIGURA 7 – Esquema elétrico do circuito principal

Para que o circuito acima pudesse ser executado em um kit didático, o mesmo necessitaria de uma tensão simétrica para alimentar o amplificador operacional, e ao mesmo tempo uma tensão com uma variação entre 0V e 12V, fornecida como sinal de entrada do circuito.

Pensando nesta questão decidiu-se construir uma fonte simétrica que posteriormente seria alocada junto ao circuito principal, dentro de uma caixa de polietileno com as seguintes dimensões: 80 mm de altura, 180 mm de largura e 280 mm de comprimento. O esquema elétrico da fonte foi obtido com o mesmo software mencionado anteriormente, o resultado pode ser conferido na figura 8.

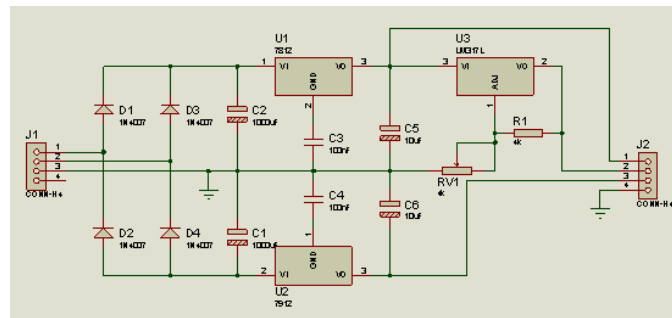


FIGURA 8 – Diagrama elétrico da fonte

Com os dois circuitos definidos realizou-se o layout da placa de circuito impresso para posterior fabricação.

Os resultados dos desenhos de cada placa podem ser observados nas figuras 9 e 10.

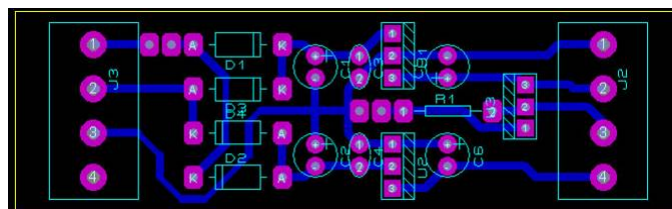


FIGURA 9 – Desenho da placa de circuito da Fonte

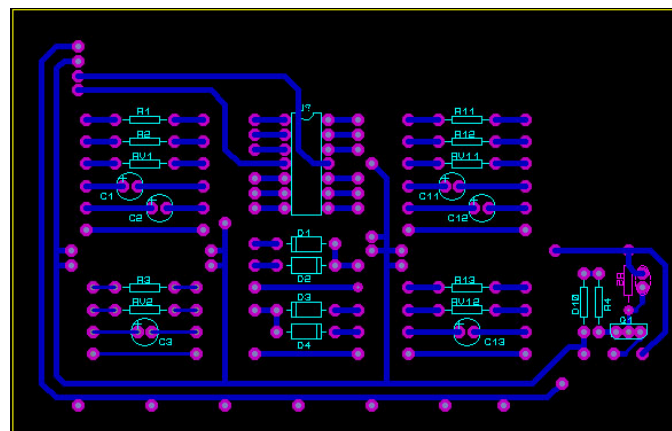


FIGURA 10 – Desenho da placa de circuito principal

### 3.3 Montagem das Placas de Circuito Impresso

Os componentes da fonte foram colocados e estanhados na placa de circuito impresso já corroída. Tanto na entrada quanto na saída do circuito foi acrescentado dois terminais para facilitar o processo de montagem e testes.

O resultado deste processo de montagem da placa da fonte pode ser observado na figura 11.

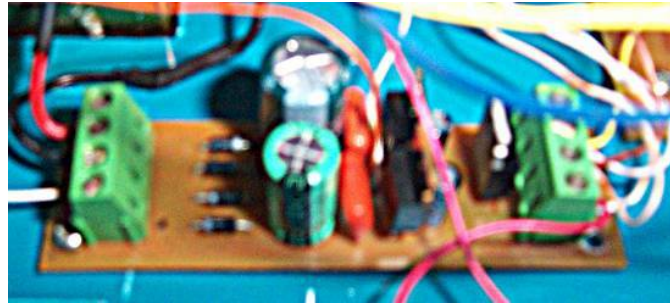


FIGURA 11 – Placa de circuito da fonte montada

Inicialmente a placa do circuito principal foi projetada para acomodar os componentes de dois projetos iguais, em que, um poderia ser ligado em cascata com o outro. Mas como as dimensões da caixa são muito limitadas, não seria viável que uma distância mínima entre cada borne do acrílico fosse mantida. Com isso o ideal do kit didático foi alterado, e o acrílico passaria a comportar bornes para apenas um projeto, mantendo porém a forma original da placa do circuito principal.

### 3.4 Serigrafia

Por se tratar de um kit didático, seria necessário confeccionar uma serigrafia contendo o nome do projeto, o tema, o nome da instituição de ensino, o esquema elétrico, o nome e os valores de cada componente e as informações sobre a tensão de entrada e de saída.

O resultado do layout pode ser conferido na figura 12.

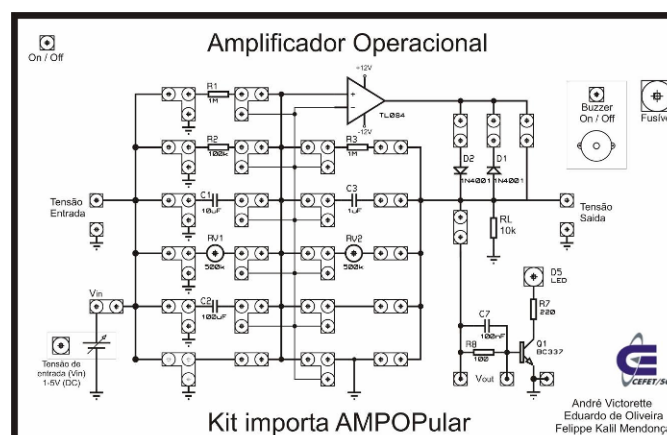


FIGURA 12 – Serigrafia

### 3.5 Estrutura do kit didático

A caixa de polipropileno utilizada para acomodar os sistemas teve que ser furada em sua base para fixar as placas de circuito impresso, para a colocação dos “pezinhos” e para a passagem dos fios do secundário do transformador; no canto de uma das laterais para sustentar o transformador e no canto de uma das laterais maiores para passagem do cabo do transformador.

Devido ao fato de o transformador possuir uma altura muito superior à altura da caixa, o mesmo teria que ser posicionado horizontalmente, sendo necessário fazer uma abertura na base da caixa com dimensões correspondentes à sua altura e comprimento.

Depois de ser parafusado na lateral da caixa o transformador necessitava de uma proteção. A solução encontrada foi envolver a parte exposta do transformador com uma pequena caixa também de polipropileno. Para facilitar entendimento veja a figura 13.



FIGURA 13 – Caixa com detalhe do transformador protegido

### 3.6 Ligações elétricas

Não foi previsto que os capacitores eletrolíticos teriam que receber tensão ora em um sentido, ora em outro, assim sendo, foi necessário acrescentar um diodo em série com o capacitor, impedindo assim a passagem da tensão no sentido inverso, outra malha foi acrescentada em paralelo aos dois, contendo os mesmos componentes, porem com sentido contrário. Para facilitar a compreensão veja figura 14.

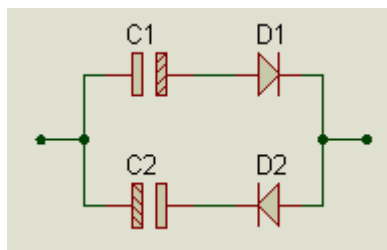


FIGURA 14 – Diodos para evitar corrente reversa

Foi acrescentado um buzzer em um dos bornes de saída do amplificador operacional, com o objetivo de analisar a variação na tensão de saída do circuito. Foi ligada em série com buzzer uma chave que permitisse seu acionamento somente quando necessário.

Para proteger os circuitos, foi utilizado um fusível de 1A ligado em série com uma chave na entrada do transformador.

### 3.7 Montagem final

As placas foram parafusadas na base da caixa, a saída do transformador foi ligada aos conectores de entrada da fonte, que teve suas saídas ligadas às entradas do circuito principal, alimentando o amplificador operacional.

O primário do transformador, os potenciômetros, as chaves de acionamento e o porta fusível foram isolado com cola quente com o objetivo de melhorar a proteção. O resultado da montagem pode ser conferido na figura 15.



FIGURA 15 – Kit Importa AMPOPular

### 3.8 Etapas de operação

1. Ligar o kit na tomada;
2. Selecionar o sinal de entrada, se o mesmo for contínuo basta ligar o “Vin”, se o sinal for alternado, inserir um gerador de funções na “tensão de entrada”;
3. Após escolher configuração a ser simulada, deve-se fazer as conexões sempre na direção horizontal ou vertical, mantendo-as dentro das linhas limites conforme mostrado na figura 17 e 18;

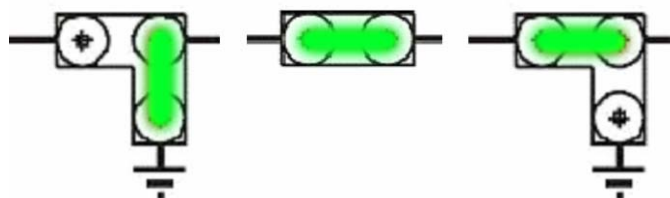


FIGURA 17 – Ligações corretas



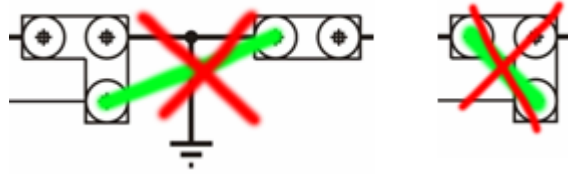


FIGURA 18 – Ligações incorretas

4. Depois de selecionar a configuração deve-se ligar o botão de acionamento;
5. Com o multímetro ou osciloscópio, verificar resultado na saída do circuito.

Para facilitar o entendimento verifique a figura 19.

## Amplificador somador

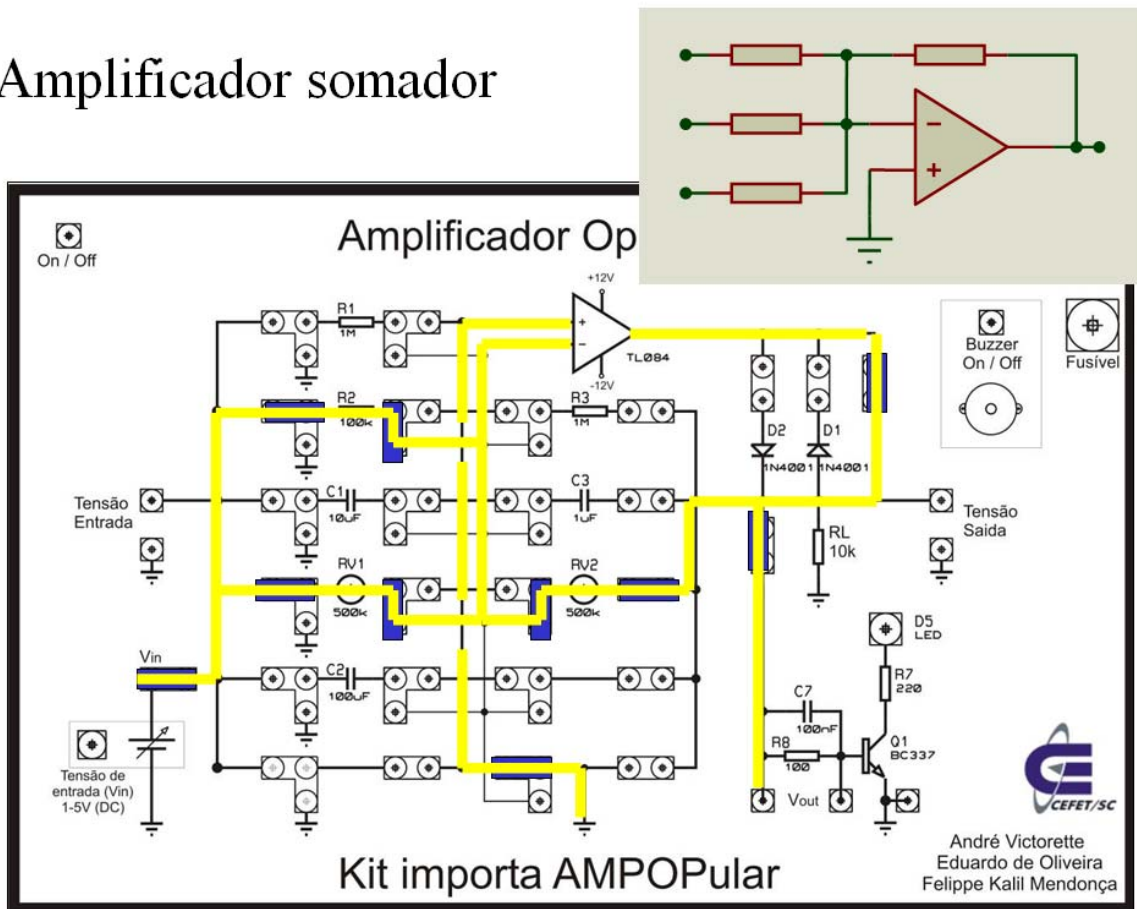


FIGURA 19 – Exemplo de simulação de um amplificador somador

## 4. CONCLUSÃO

A utilização de um kit didático nos laboratórios aumenta consideravelmente o rendimento e a produtividade da aula, facilitando a assimilação do conteúdo por parte dos alunos. Isso porque os kits didáticos, além de serem novidades, tornam a aula mais dinâmica, deixando os alunos mais envolvidos com o objeto em estudo.

Com o desenvolvimento deste projeto pôde-se confirmar a grande versatilidade dos amplificadores operacionais, levando-se a crer que os mesmos podem ser considerados os circuitos integrados mais importantes no que diz respeito à eletrônica analógica. Devido às

suas inúmeras configurações, os amplificadores operacionais, apesar de estarem no mercado a mais de trinta anos, continuam tendo seu leque de aplicações expandido cada vez mais pelos projetistas.

Ao final deste projeto pôde-se verificar que para qualquer configuração de circuitos que contenham amplificadores operacionais é possível obter um ganho específico que depende do sinal de entrada, podendo ser contínuo ou alternado, e dos componentes utilizados na realimentação.

O resultado alcançado ao final do projeto, deu-se principalmente pelo ótimo trabalho em equipe, juntamente com o apoio dos professores.

### ***Agradecimentos***

Agradecemos a todos que de uma alguma forma nos ajudaram na conclusão deste projeto, aos colegas de curso, aos professores, e em especial ao professor Valdir Noll pelo apoio.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

***Amplificador Operacional.*** Disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Amplificador\\_operacional](http://pt.wikipedia.org/wiki/Amplificador_operacional) . Acesso em 28/09/2007.

BOYLESTAD, Robert; NASHHELSKY, Louis. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos.** 5.ed. Rio de Janeiro: PHB, 1994.

MALVINO, Albert. **Eletrônica.** 4.ed. São Paulo: Makron Bookon, 1997.

PERTENCE, Antonio. **Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos.** 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2003

## **RESEARCHES AND DEVELOPMENT OF A DIDACTIC MODULE FOR THE TEACHING OF OPERATIONAL AMPLIFIERS**

***Abstract:*** *This article, besides to allow understanding of the functioning of an operational amplifier, contains the methodology used in the processes of development and assembly of the circuit boards, serigrafia and structure necessary for the manufacture of a teaching kit able to simulate various applications of circuits with operational amplifiers.*

***Keywords:*** *Teaching kit, Operational amplifiers, Simulation.*