



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Centro de Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica

INSTRUMENTAÇÃO COM TINKERCAD - CAPÍTULO 4: AMPLIFICADORES



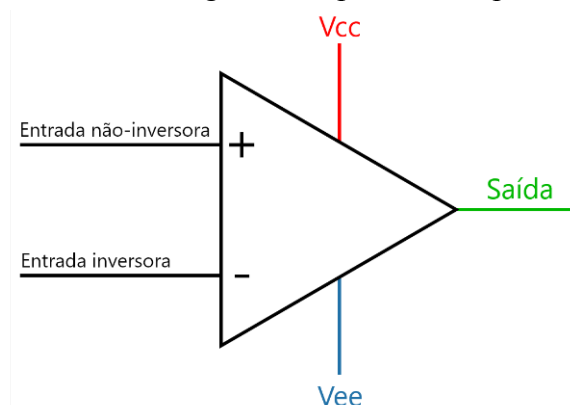
AUTODESK®
TINKERCAD®

Amplificadores Operacionais

Introdução:

Os amplificadores eletrônicos são dispositivos de circuito integrado que aumentam a amplitude de sinais sem alterar a frequência da onda, isso ocorre pois eles amplificam a tensão do sinal de entrada multiplicando por um determinado valor. Eles são muito utilizados em circuitos de áudio ou para transmissão de áudio, além de controle e instrumentação industrial e processamento de dados. A simbologia do amplificador operacional é mostrada na Fig. 1.

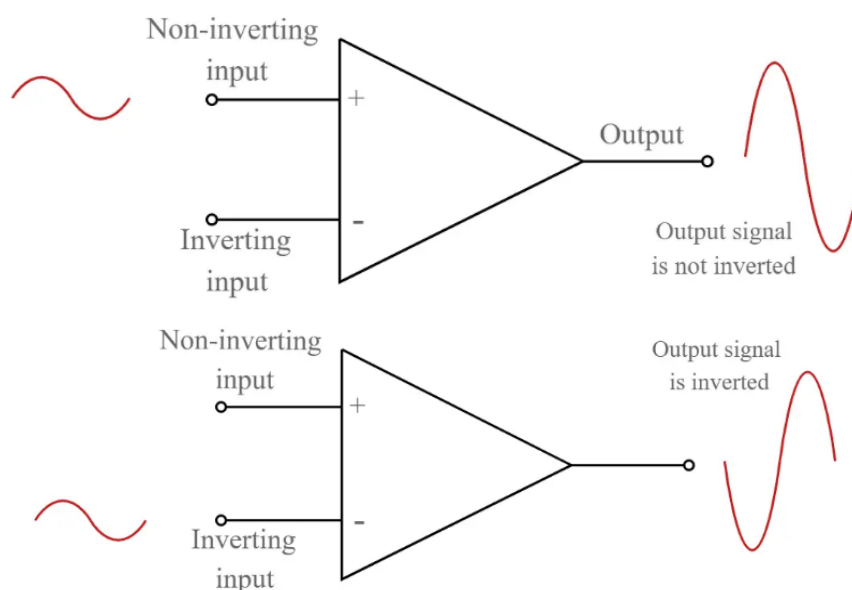
Figura 1 - Simbologia do Amplificador Operacional.



Fonte: Mundo Projetado.

A parte de alimentação é representada pelo Vcc e o Vee, sendo este último a tensão negativa. Esses dois definem a tensão de saída, pois esta deve estar entre Vee e Vcc. Com base nisso, o sinal que é aplicado à entrada não inversora (+) é apenas amplificado, ou seja, multiplicado por um número que é chamado de ganho. De forma análoga, quando o sinal é aplicado na entrada inversora (-), o sinal tanto é invertido como amplificado, como pode ser visto na Fig. 2.

Figura 2 - Sinais aplicados às entradas não inversoras e inversoras.

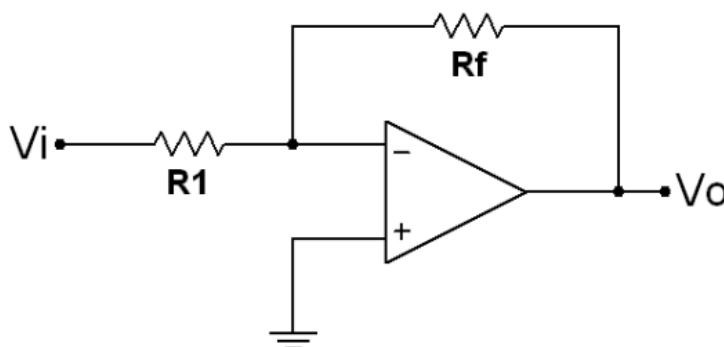


Fonte: Raisia Produtos Eletrônicos.

O amplificador comumente utilizado em projetos é o LM741, o qual também está presente no simulador do Tinkercad. Esse dispositivo sozinho é utilizado como um comparador de tensão, pois se houver uma diferença mínima entre as entradas inversora e não inversora, ele amplifica esse valor de tensão, levando a tensão de saída ser próximo da V_{cc} ou da V_{ee} .

Para o LM741 funcionar como um amplificador operacional controlável, é necessário que o circuito tenha realimentação da função de entrada a partir da função de saída, o que tende a reduzir as flutuações de sinal na saída. O circuito de realimentação é exemplificado na Fig. 3.

Figura 3 - Simbologia do amplificador operacional com realimentação negativa.



Fonte: Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Essa realimentação faz o ganho do sinal ser menos sensível às variações dos valores dos componentes do sistema, reduzindo o efeito do ruído. Por fim, o sinal de saída fica proporcional a um valor que depende dos resistores utilizados e independe do sinal de entrada.

É importante ressaltar que este capítulo irá apresentar como criar circuitos de amplificadores operacionais e no final será apresentado uma aplicação desses amplificadores para fazer a mediação de nível de um reservatório contendo líquido. Com base nisso, segue alguns trabalhos em que são utilizados os amplificadores para enfatizar a importância desses dispositivos:

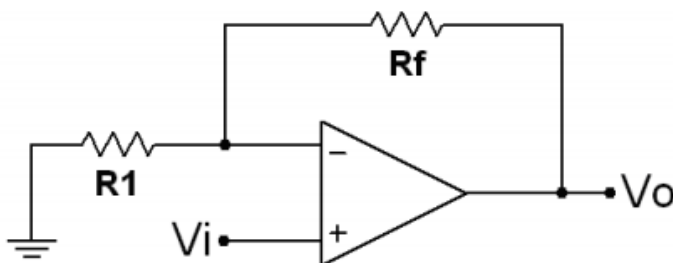
- [Utilização de software online para desenvolvimento de circuitos eletrônicos de amplificadores](#)
- [Amplificador de instrumentação aplicado na medicina: aquisição e tratamento de sinais](#)

Projeto Amplificador Não Inversor de Sinal

Descrição:

O presente projeto irá simular a amplificação não inversora de um sinal senoidal de 500 Hz, 0 V de deslocamento CC e 1 V de amplitude a partir do dispositivo eletrônico LM741 com realimentação negativa. O sinal será amplificado em 5 vezes, logo será utilizado um resistor de 25 kΩ e outro de 100 kΩ. É importante destacar que esse circuito é descrito na [Wikipedia](https://pt.wikipedia.org/wiki/Amplificador_n%C3%A3o_inversor). Por fim, a simbologia do circuito está mostrada na Fig. 4, que também é possível visualizar a fórmula utilizada para a tensão de saída.

Figura 4 - Representação simbólica do circuito amplificador não inversor de sinal com realimentação negativa.



$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) V_i$$

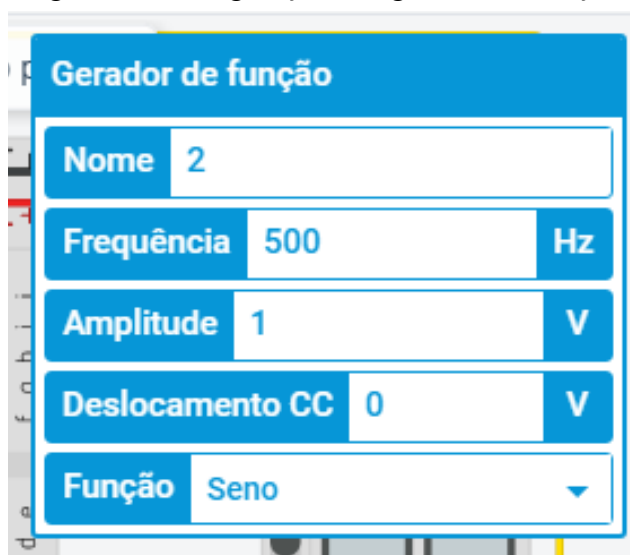
Fonte: Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Circuito:

- O circuito é composto:
 - 2 Osciloscópio;
 - 1 Gerador de função;
 - 1 Protoboard;
 - 2 Fonte de energia de 12 V;
 - 1 Amplificador operacional 741;
 - 1 Resistor de 100 kΩ;
 - 1 Resistor de 25 kΩ;
- Montagem do circuito

Etapas 1: Adicione o gerador de sinal buscando “Gerador de Função” nos componentes e, após isso, é necessário configurar o gerador de função para gerar um sinal com frequência de 500 Hz, amplitude de 1 V, deslocamento de 0 V e função senoidal, conforme mostrado na Fig. 5.

Figura 5 - Configurações do gerador de função.

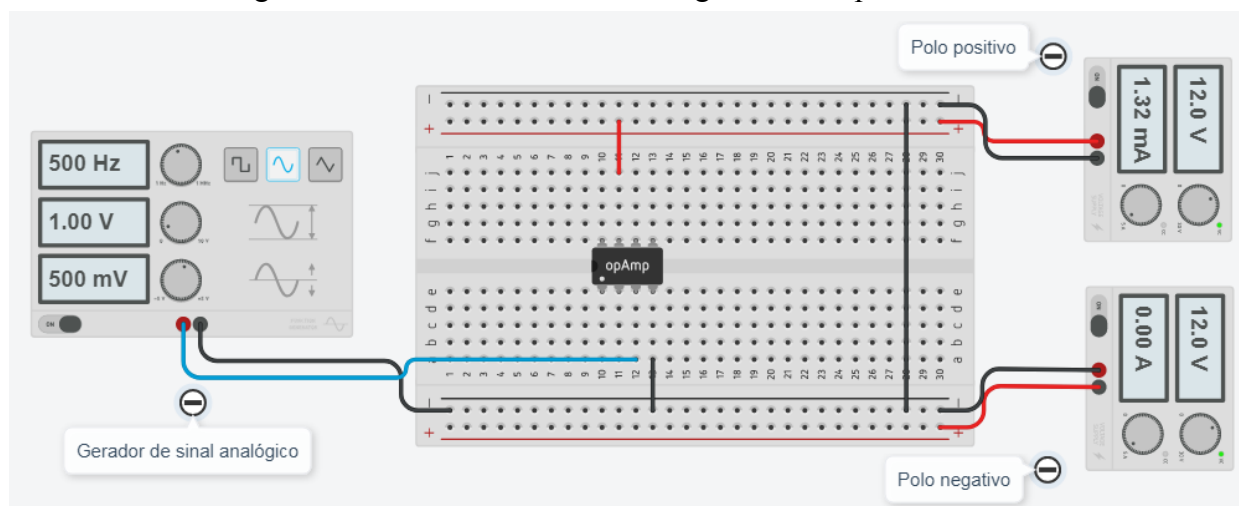


Fonte: Autor.

Etapa 2: Adicione o amplificador operacional buscando “Amplificador Operacional 741” nos componentes.

Etapa 3: Faça as ligações no amplificador da fonte (Pinos: Potência - e +) e do gerador de sinal no amplificador (Pino: Ent +), conforme mostrado na Fig. 6. É importante ressaltar que cada pino do amplificador tem uma função e basta deixar o cursor do mouse em cima de um nome para sabê-lá. Além disso, é necessário utilizar duas fontes em série, uma será o polo positivo e, a outra, o polo negativo. Dessa forma, a ligação da última fonte deve ser feita invertendo os polos, conforme a Fig. 6.

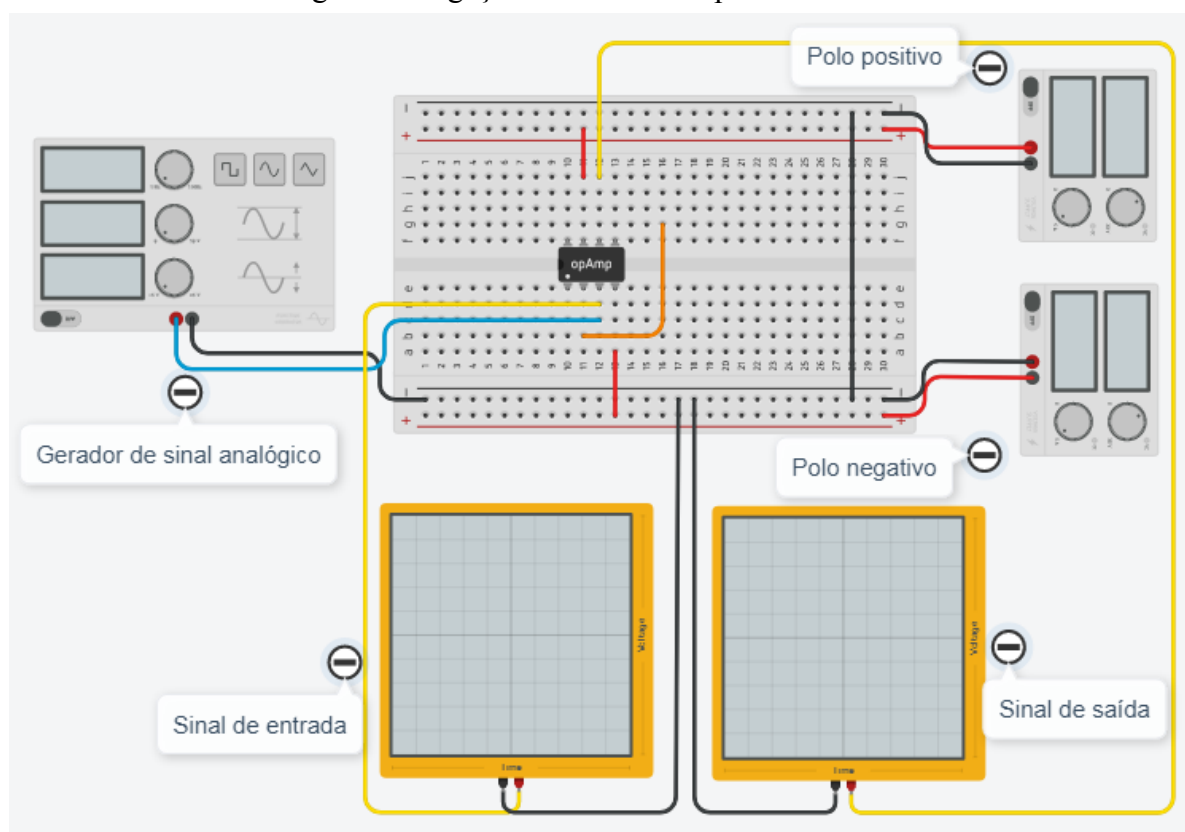
Figura 6 - Gerador de sinal e fonte ligados ao amplificador.



Fonte: Autor.

Etapa 4: É necessário ligar dois osciloscópios ao sistema, um para receber o sinal de entrada e o outro para ler o sinal de saída, conforme a Fig. 7. Cabe ressaltar que o negativo dos osciloscópios devem ser ligados no positivo da fonte negativa, isso é necessário pois as fontes estão ligadas em série.

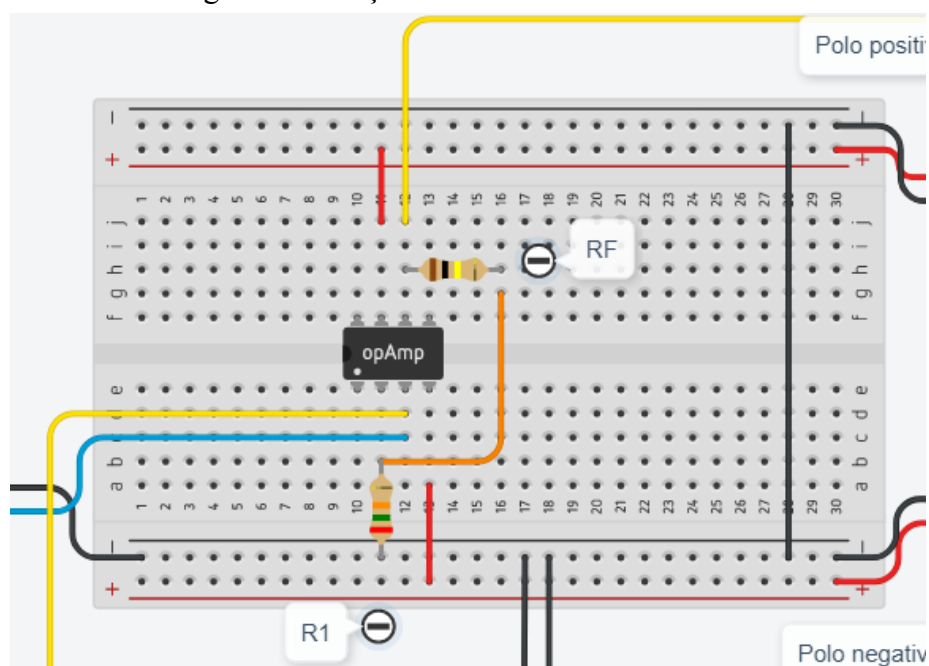
Figura 7 - Ligações dos osciloscópios no circuito.



Fonte: Autor.

Etapa 5: Por fim, acrescenta-se o resistor de $25\text{ k}\Omega$ ao terra da protoboard e a entrada inversora do amplificador (Pino: Ent -). Já o resistor de $100\text{ k}\Omega$ é adicionado à saída do amplificador e na entrada inversora, conforme pode ser visualizado na Fig. 8.

Figura 8 - Posições dos resistores no circuito.



Fonte: Autor.

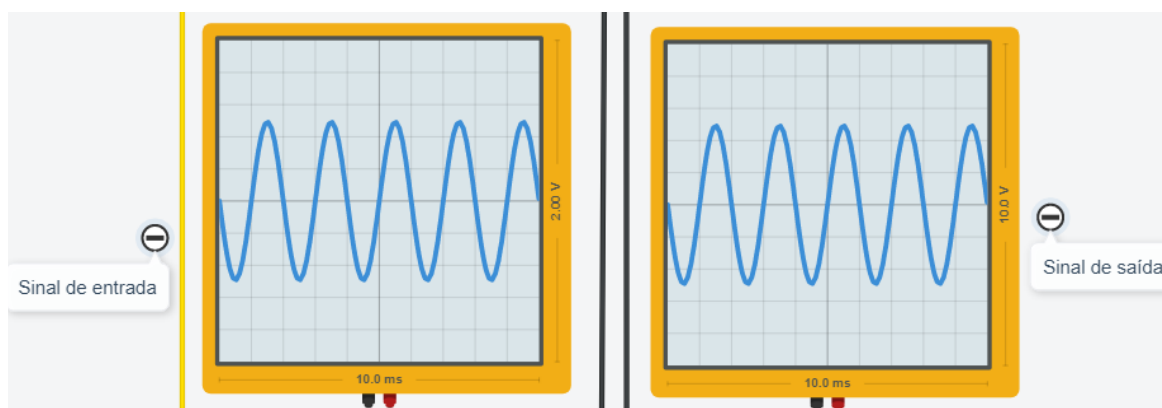
Comentários:

Ao iniciar a simulação, o sinal de entrada é amplificado em 5 vezes, pois, conforme a equação da Fig. 4, temos que:

$$V_o = (1 + R_f/R_1)V_i = (1 + 100/25)V_i = 5V_i$$

E isso é facilmente visualizado nos osciloscópios mostrados na Fig. 9, o qual, o da esquerda mostra tensões de até 1 V, já o da direita, mostra tensões de até 5 V.

Figura 9 - Osciloscópios lendo os sinais de entrada e saída do amplificador operacional não inversor.

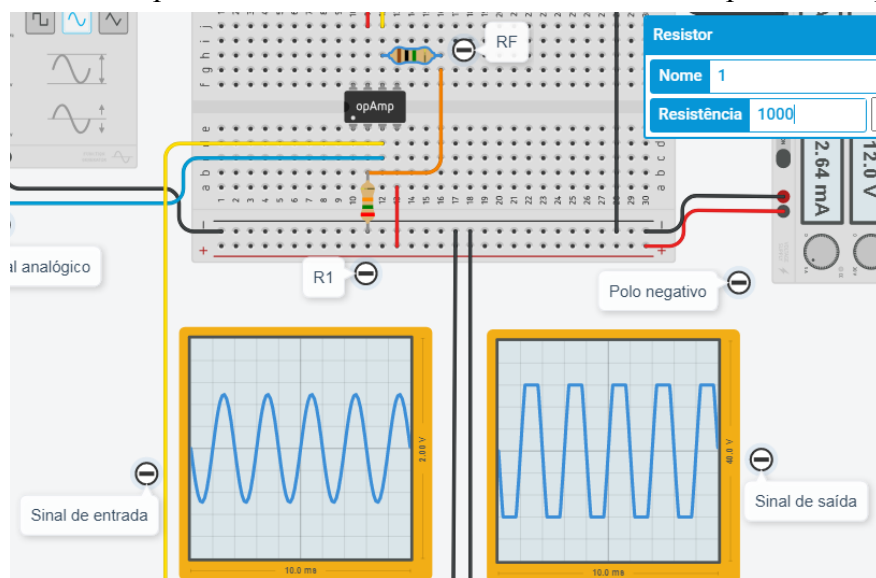


Fonte: Autor.

Também cabe ressaltar que é possível modificar diversas partes desse circuito. Por exemplo, se você quiser entender como funciona a fórmula que amplifica o sinal a partir dos resistores, basta modificar a resistência deles.

Outro exemplo bem legal é entender que o sinal de saída está condicionado às tensões de alimentação do amplificador, conforme os Vcc e o Vee explicados anteriormente. A Fig. 10 mostra que o circuito amplifica mais do que o possível, dessa forma o sinal sai “cortado”. Isso foi feito aumentando a resistência do RF para o valor de 1000 kΩ.

Figura 10 - Osciloscópios lendo os sinais de entrada e saída do amplificador operacional.



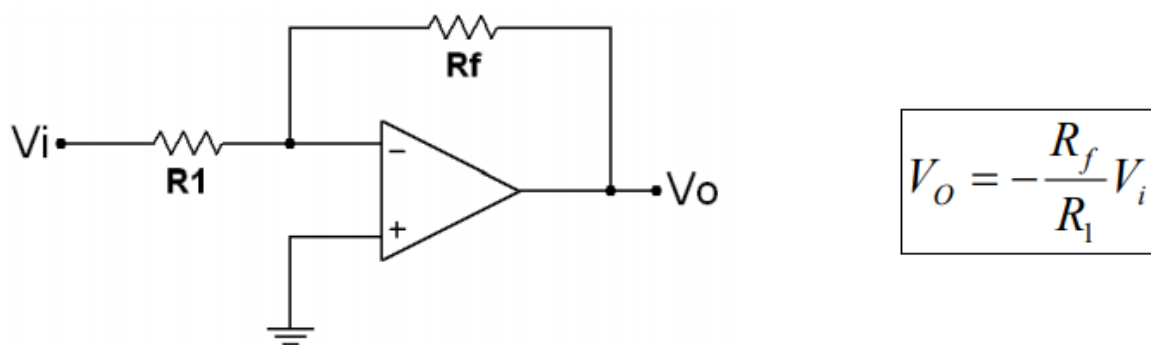
Fonte: Autor.

Projeto Amplificador Inversor de Sinal

Descrição:

O presente projeto irá simular a amplificação inversora de um sinal senoidal de 500 Hz, 0.5 V de deslocamento CC e 1 V de amplitude a partir do dispositivo eletrônico LM741 com realimentação negativa. O sinal será amplificado em 4 vezes, logo será utilizado um resistor de 25 kΩ e outro de 100 kΩ. Por fim, a simbologia do circuito é mostrada na Fig. 11, que também é possível visualizar a fórmula utilizada para a tensão de saída.

Figura 11 - Representação simbólica do circuito amplificador inversor de sinal com realimentação negativa.



Fonte: Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Circuito:

- O circuito é composto:
 - 2 Osciloscópio;
 - 1 Gerador de função;
 - 1 Protoboard;
 - 1 Fonte de energia de 10 V;
 - 1 Amplificador operacional 741;
 - 1 Resistor de 100 kΩ;
 - 1 Resistor de 25 kΩ;
- Montagem do circuito:

Etapa 1: Adicione o gerador de sinal buscando “Gerador de Função” nos componentes e, após isso, é necessário configurar o gerador de função para gerar um sinal com frequência de 500 Hz, amplitude de 1 V, deslocamento de 0,25 V e função senoidal, conforme mostrado na Fig. 12. Essa configuração de deslocamento é necessária para deslocar a onda para o sentido positivo do eixo vertical e isso é necessário para facilitar a visualização da inversão da função.

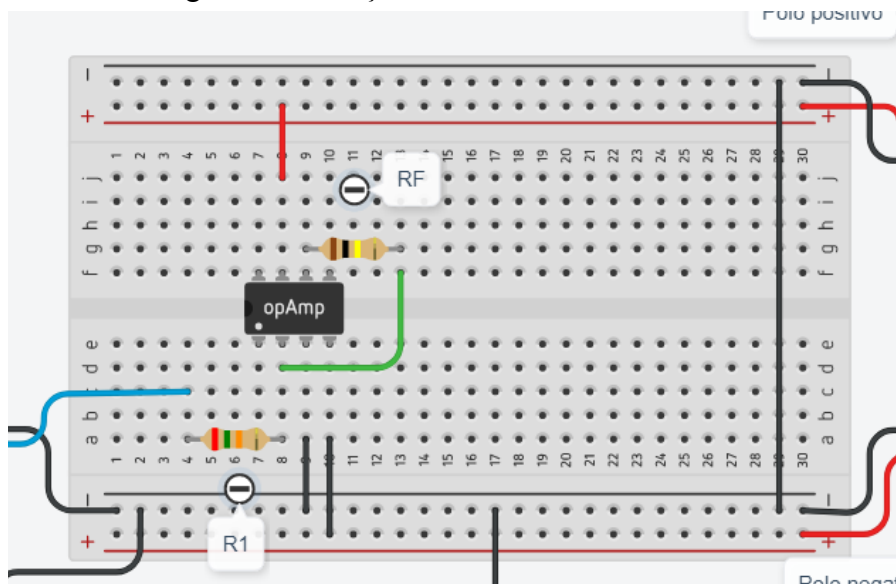
Figura 12 - Configurações do gerador de função com o deslocamento.



Fonte: Autor.

Etapa 2: Agora é necessário repetir os mesmos passos do projeto passado até a etapa 4 que liga os giroscópios. Nesse caso, é necessário primeiro colocar os resistores. Com base nisso, acrescenta-se o resistor de 25 k Ω **ao final do fio de entrada de sinal** e a entrada inversora do amplificador. Já o resistor de 100 k Ω é adicionado à saída do amplificador e na entrada inversora, conforme pode ser visualizado na Fig. 13. Além disso, também é importante citar que a entrada não inversora do amplificador deve ser ligada ao terra na protoboard.

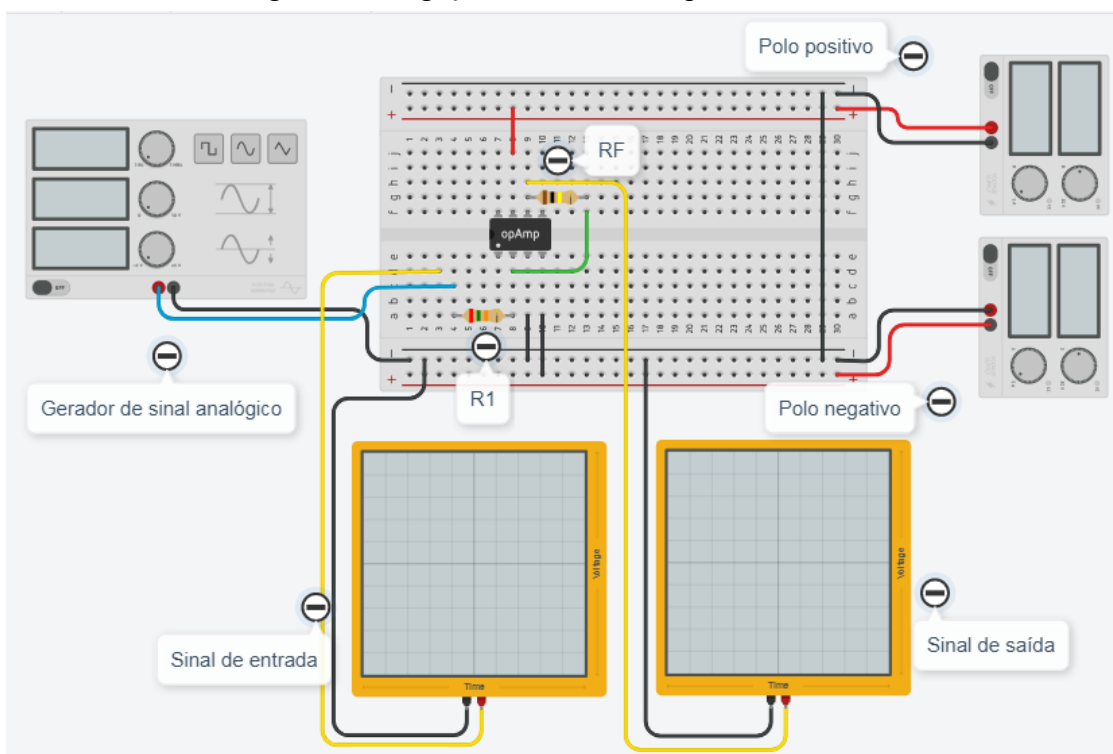
Figura 13 - Posições dos resistores no circuito.



Fonte: Autor.

Etapa 3: Por fim, acrescenta-se os dois osciloscópios ao sistema, um para receber o sinal de entrada e o outro para ler o sinal de saída, conforme a Fig. 14. É importante ressaltar que o negativo dos osciloscópios devem ser ligados no positivo da fonte negativa, isso é necessário pois as fontes estão ligadas em série.

Figura 14 - Ligações dos osciloscópios no circuito.



Fonte: Autor.

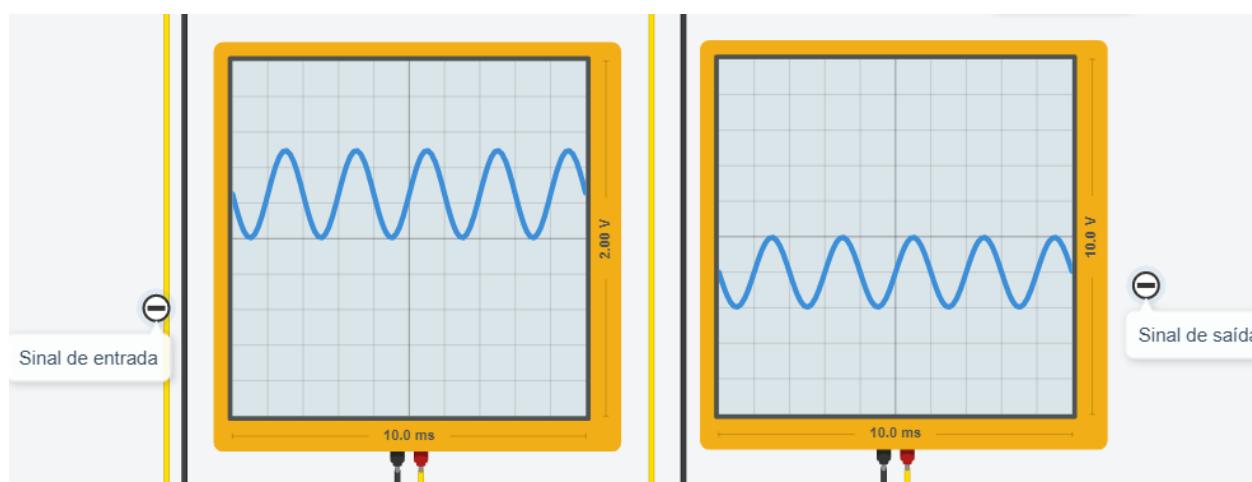
Comentários:

Ao iniciar a simulação, o sinal de entrada é amplificado em -4 vezes, pois, conforme a equação da Fig. 11, temos que:

$$V_o = (-R_f/R_1)V_i = (-100/25)V_i = -4V_i$$

E isso é facilmente visualizado nos osciloscópios mostrados na Fig. 15, o qual, o da esquerda mostra tensões de até 1 V, já o da direita, mostra tensões de até 4 V.

Figura 15 - Osciloscópios lendo os sinais de entrada e saída do amplificador operacional inversor.



Fonte: Autor.

Projeto Nível de um Reservatório

Descrição:

O seguinte circuito irá simular a medição de nível em um reservatório. Sabe-se que um determinado sensor emite 1,2 e 4,4 V quando, respectivamente, o nível da água está baixo em 48,3 mm e alto em 760 mm. Como o arduino deve ler sinal de 0 a 5 V, será utilizado um circuito com amplificador operacional para ajustar esse sinal de entrada e, assim, mostrar em um Display LCD o nível do reservatório. Por fim, cabe ressaltar que o circuito foi baseado no vídeo [CONDICIONAMENTO DE SINAL | AMPLIFICADOR OPERACIONAL | PSIM & TINKERCAD](#) do canal Engenhando.

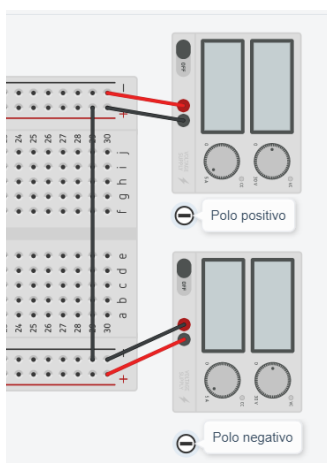
Circuito:

- O circuito é composto:
 - 2 Protoboard;
 - 1 Fonte de energia de variável;
 - 2 Fonte de energia de 12 V;
 - 1 Amplificador operacional 741;
 - 1 Resistor de 100 k Ω ;
 - 1 Resistor de 38.50 k Ω ;
 - 1 Resistor de 15,60 k Ω ;
 - 2 Multímetro;
 - 1 Display LCD 16x2;
 - 1 Arduino;
 - 1 Potenciômetro;
- Montagem do circuito:

Etapas 1: Adicione a protoboard e 2 fontes ao circuito buscando "Breadboard", "Power supply", respectivamente, nos componentes. É importante destacar que as duas fontes devem ser configuradas para transmitir 12 V.

Etapas 2: Conecte as duas fontes em série com uma sendo o polo positivo e, a outra, o polo negativo. Dessa forma, a ligação da última fonte deve ser feita invertendo os polos, conforme a Fig. 16.

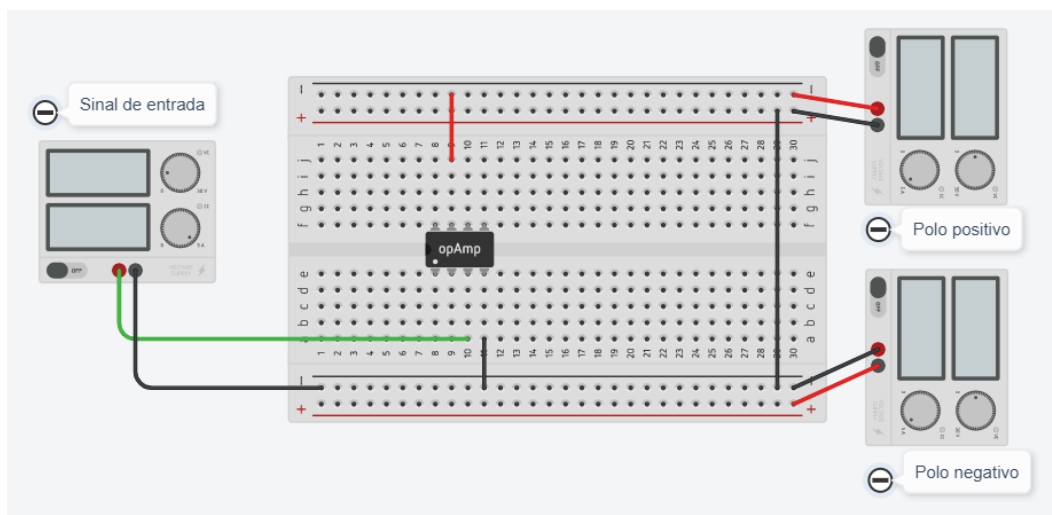
Figura 16 - Definição dos polos positivo e negativo na protoboard.



Fonte: Autor.

Etapa 3: Adicione o Amplificador e outra fonte ao circuito buscando “741 Operacional Amplifier” e “Power supply”, respectivamente, nos componentes. Essa nova fonte irá simular o sinal do sensor, pois este irá transmitir 2,3 ou 4 V ao circuito, o que corresponde a um determinado nível no reservatório. Dessa forma, o polo positivo da fonte deve ser conectado no “In+” do amplificador e o polo negativo no terra da protoboard. Além disso, alimente o amplificador conectando o polo positivo no “Power+” e o polo negativo no “Power-” da protoboard, como é visualizado na Fig. 17

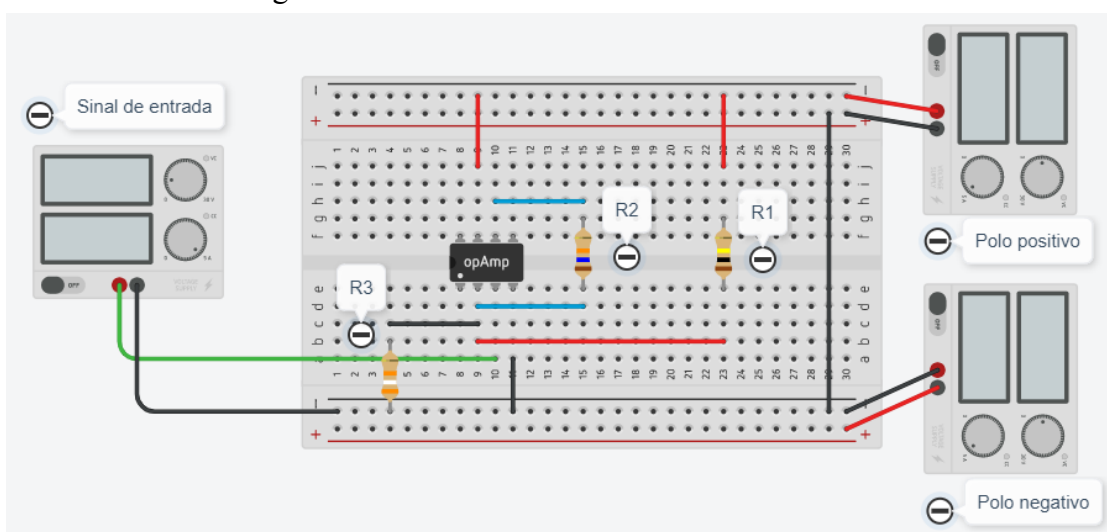
Figura 17 - Alimentação e entrada de sinal do amplificador.



Fonte: Autor.

Etapa 4: Essa etapa consiste em conectar 3 resistores no amplificador, dois são entradas normais do amplificador e o terceiro servirá para diminuir a tensão de saída em 1,2 V, pois, assim, o intervalo de saída irá iniciar do 0 V. A princípio, adicione o resistor de 38,5 k Ω no terra e no “In-” do amplificador. Depois conecte o resistor de 15,60 k Ω também no “In-” e no “Out” do amplificador. Para finalizar, também conecte o resistor de 100 k Ω no “In-” e seu outro pino no polo positivo da fonte de 12 V, conforme mostrado na Fig. 18.

Figura 18 - Conexões dos 3 resistores no circuito.

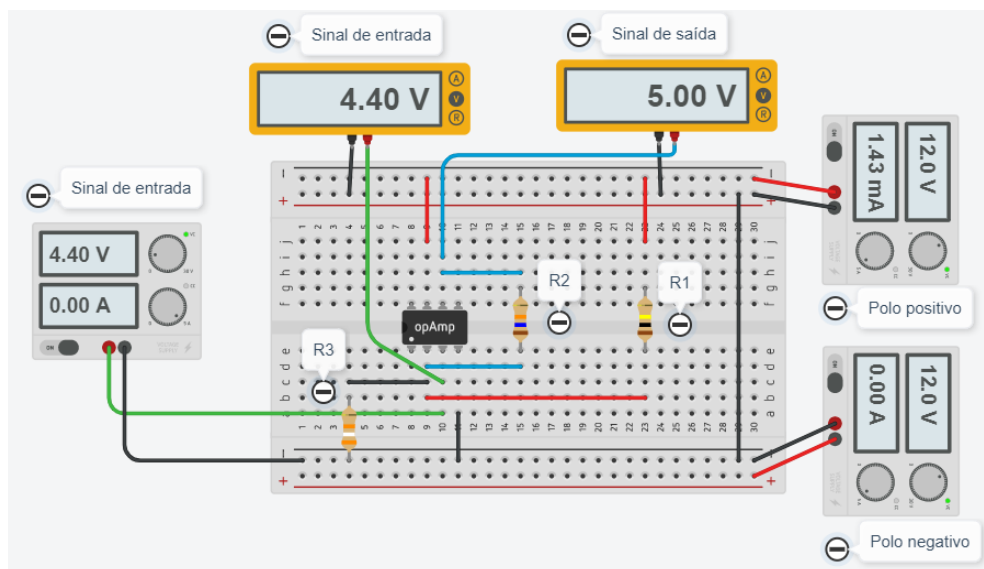


Fonte: Autor.

Etapa 5: Adicione 2 multímetros pesquisando buscando “Multimeter” nos componentes. Dessa forma, conecte um multímetro no sinal de entrada e outro multímetro no

signal de saída, como mostrado na Fig. 19. Aqui é importante destacar que os pinos negativo devem ser ligados no terra da protoboard.

Figura 19 - Conexões dos multímetros.

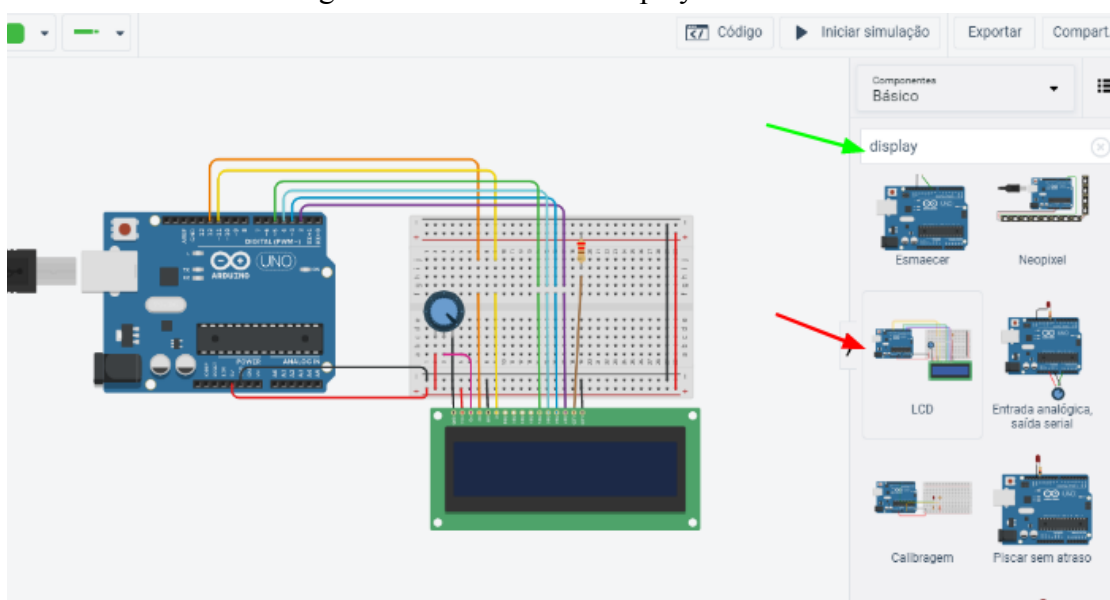


Fonte: Autor.

Antes da próxima etapa, cabe ressaltar que o amplificador já está funcionando perfeitamente, já que, como é possível visualizar na Fig. 19, o sinal de entrada de 4,40 V é amplificado para 5,0 V.

Etapa 6: Para finalizar a montagem do circuito, falta apenas adicionar o Arduino e o LCD. Ao digitar “display” ou “LCD” na busca dos componentes, irá aparecer o circuito com todas as ligações já feitas com o LCD 16x2, assim clique nele e arraste para a tela de circuitos, como mostrado na Fig. 20, o qual a seta verde sinaliza a opção de busca e, a seta vermelha, o circuito que deve ser escolhido.

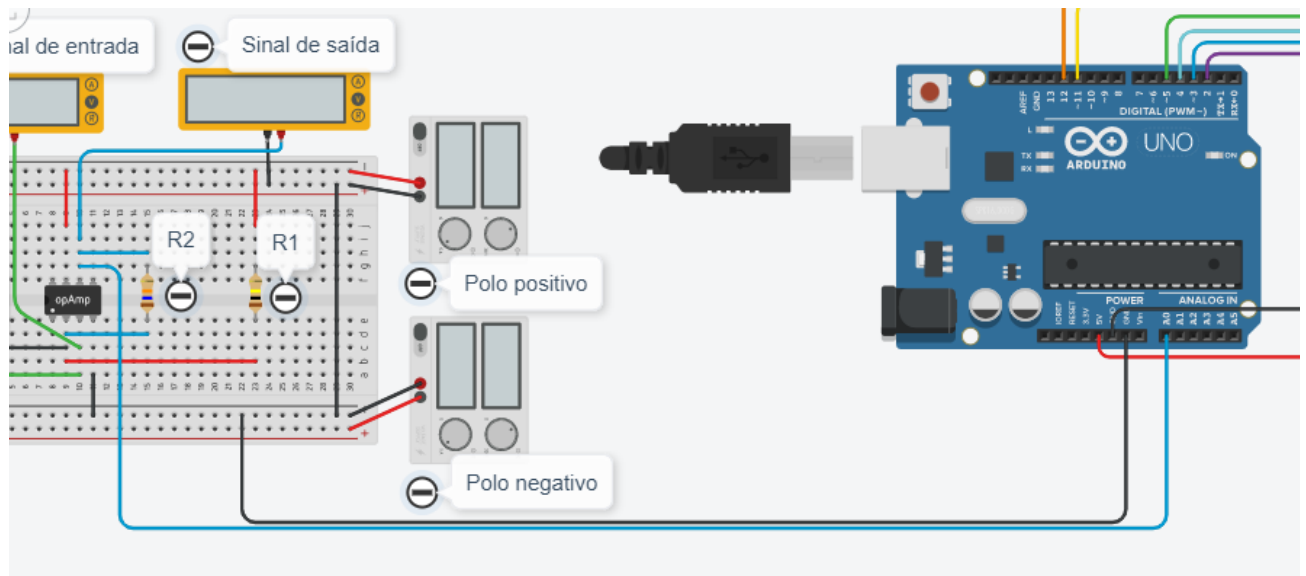
Figura 20 - Circuito do Display LCD16x2.



Fonte: Autor.

Etapa 7: Conecta o “Out” do amplificador na entrada A0 do arduino, como é mostrado na Fig. 21, pois, assim, o Arduino irá receber o sinal de saída do amplificador que veio do sensor. Também é necessário conectar o terra da protoboard no GND do Arduino.

Figura 21 - Conexão do amplificador ao arduino.



Fonte: Autor.

Programação:

Para converter o sinal de saída do amplificador, utiliza-se a seguinte interpolação com base nos valores máximo e mínimos do reservatório e o intervalo de valores que o Arduino fornece na leitura de uma porta analógica:

$$\frac{VAR_{nível}}{VAR_{leitura}} = \frac{760-48,3}{1022-0} = \frac{N-48,3}{L-0} \rightarrow N = 0,7L + 48,3$$

Sendo o $VAR_{nível}$ a variação do nível do reservatório, $VAR_{nível}$ a variação da leitura no pino do Arduino, N o nível do reservatório e L a leitura no pino A0 do Arduino.

Dessa forma, o código consiste em apenas configurar o display, calibrar o valor lido no pino e mostrar o resultado no LCD, conforme é apresentado na Fig. 22.

Figura 22 - Código para o arduino calibrar e mostrar no display o nível do reservatório.

```

1 //Autor: Thiago Victor A. de Freitas - Estudante de Engenharia Mecânica (UFC)
2
3 #include <LiquidCrystal.h> //incluindo a biblioteca do display 7
4 //Criação objeto lcd da classe LiquidCrystal
5 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //lcd(RS,EN,D4,D5,D6,D7)
6 float Nivel; // Variável para receber o nível no reservatório
7
8 void setup() {
9   lcd.begin(16, 2); //Inicia o display
10   lcd.print("Nivel do reser."); //Escreve no display
11   Serial.begin(9600); //Inicia a comunicação serial
12   //A porta A0 irá receber o sinal do sensor, pois está conectada
13   //na saída do amplificador operacional
14   pinMode(A0, INPUT); //Estabelece a porta como INPUT
15 }
16
17 void loop() {
18   Serial.println(analogRead(A0)); //Escreve o valor lido no serial monitor
19   Nivel = 0.7*analogRead(A0)+48.3; //Calculo do nível
20   lcd.setCursor(4, 1); //Posiciona o cursor na coluna 4 e linha 1
21   lcd.print(Nivel); //Escreve o nível do reservatorio no display
22   lcd.print("mm"); //Escreve no display
23 }

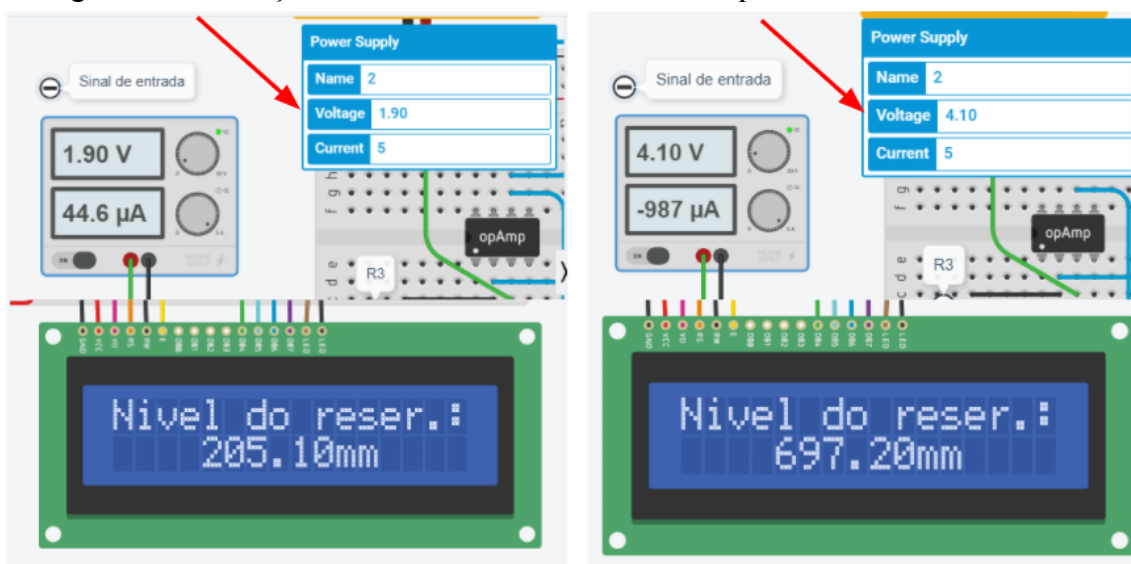
```

Fonte: Autor.

Comentários:

Com base no que foi criado, o valor de tensão de saída do sensor simulado varia conforme o nível do reservatório é alterado. Cabe citar que é possível modificar a tensão de saída clicando na fonte que simula o sensor nível, conforme é exemplificado pela Fig. 23, a qual mostra dois valores de nível na parte inferior a partir das tensões da fonte.

Figura 23 - Alterações dos valores de tensão da fonte que simula o sensor de nível.



Fonte: Autor.

Para o cálculo das resistências dos conjunto de resistores, utiliza-se as seguintes fórmulas, conforme o vídeo do canal Engenhando:

$$G = \frac{V_{out}}{V_{max} - V_{min}}$$

$$V_{min} \times G = \frac{R3}{R1} \times V_{cc}$$

$$G = 1 + \frac{R3}{R1 \times R2} \times (R1 + R2)$$

Sendo G o ganho do amplificador, V_{out} o sinal de saída do amplificador, V_{max} a tensão máxima de entrada, V_{min} a tensão mínima de entrada e Ri as resistências dos i resistores do circuito.

É importante citar que foi criado um [código em python](#) que reúne todas essas fórmulas para auxiliar na determinação das resistências R2 e R3 tendo escolhido o valor de R1. A Fig. 23, apresenta a tela de saída considerando os dados do circuito acima. Além disso, cabe ressaltar que o código segue em anexo no final deste capítulo.

Figura 23 - Saída do código em python para o auxílio da determinação das resistências.

```
Digite a maxima tensao de saída do amplificador:5
Digite a minima tensao de entrada no amplificador:1.2
Digite a maxima tensao de entrada no amplificador:4.4
Digite a resistencia R1:100
Digite a tensao de alimentacao do amplificador:12
O ganho do amplificador deve ser 1.5625
A resistencia R3 deve ser 15.62 ohm
A resistencia R2 deve ser 38.46 ohm
```

Fonte: Autor.

Por fim, para melhorar o circuito, seria necessário aplicar um filtro antes do sinal entrar no arduino para que este não receba uma tensão maior que 5V. Isso é necessário mais por uma questão de segurança do circuito bem como para manter a vida útil deste.

Referências

Sites:

- [Site Mundo Projetado explicado sobre Amplificadores](#)
- [Vídeo do professor Roberto Rodrigues explicando amplificadores na instrumentação](#)
- [Explicação de Amplificador Operacional na Wikipedia](#)
- [Apostila sobre Amplificador Operacional da UNESP](#)
- [Circuito do projeto Amplificador Não Inversor](#)
- [Circuito do projeto Amplificador Inversor](#)
- [Vídeo do canal Engenhando explicando o medidor de nível](#)
- [Circuito do projeto Medindo nível fsfs](#)
- [Link código em python na plataforma Colab](#)

Anexos

Código em python:

```
###Resistências R1,R2 e R3###
##Variáveis
#G = ganho
#Tensão de saída máxima = Tsmáx
#Tensão máxima de entrada = Temáx
#Tensão mínima de saída = Temín
#Resistencia 1 = R1
#Resistencia 2 = R2
#Resistencia 3 = R3
#Tensão de alimentação do amplificador = Vcc
##Formulas
#G = Tsmáx/(Temáx-Temín)
#Temín*G = (R3*Vcc)/R1
#G = 1+(R3)/(Resistencia equivalente de R1 e R2)
##Recebendo inputs
Tsmáx = float(input("Digite a maxima tensao de saída do
amplificador:"))
Temín = float(input("Digite a minima tensao de entrada no
amplificador:"))
Temáx = float(input("Digite a maxima tensao de entrada no
amplificador:"))
R1 = float(input("Digite a resistencia R1:"))
Vcc = float(input("Digite a tensao de alimentacao do amplificador:"))
##Calculos
G = Tsmáx/(Temáx-Temín)
print("O ganho do amplificador deve ser",round(G,4))
R3 = Temín*G*R1/Vcc
print("A resistencia R3 deve ser",round(R3,2),"ohm")
R2 = (R3*R1)/((G-1)*R1-R3)
print("A resistencia R2 deve ser",round(R2,2),"ohm")
```