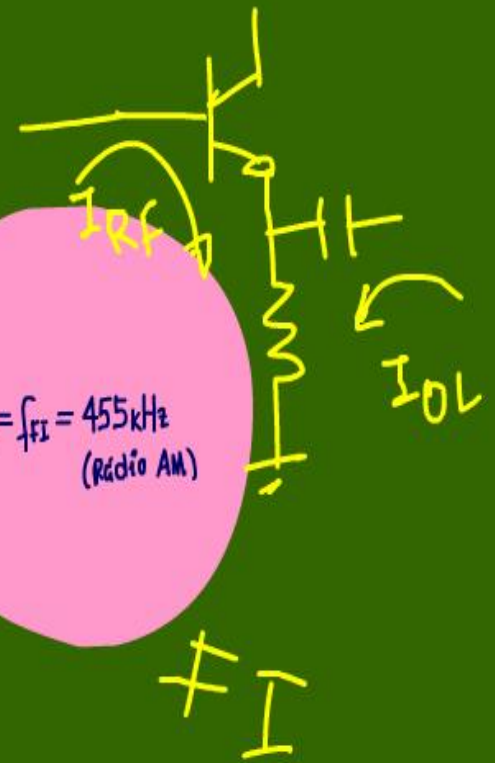
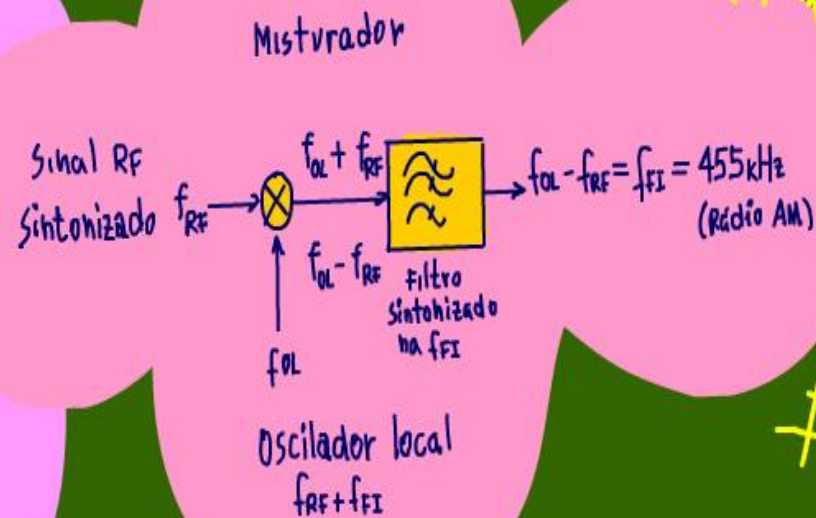
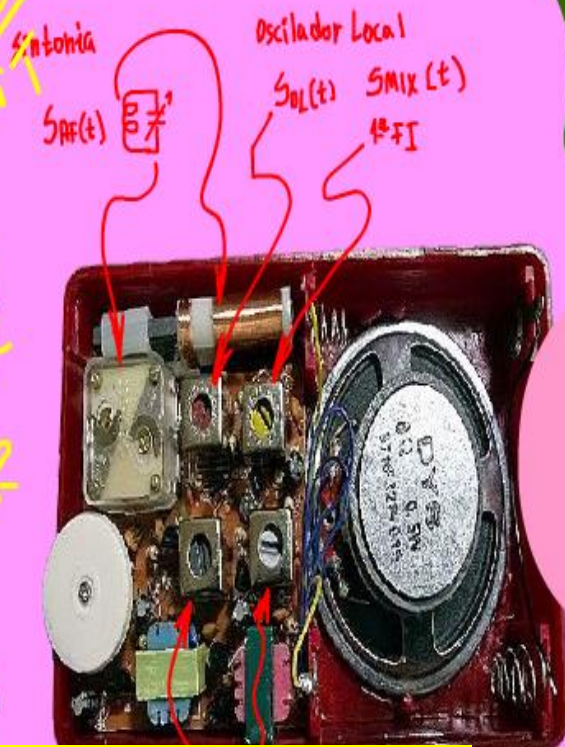


# Como funciona o misturador no rádio (Parte 2)

$I_c = I_s \cdot e^{-V_{BE}/V_T}$   
OSCILADOR LOCAL



Professor Bairros (31/10/2024)

# TÍTULO DO MODELO DE TUTORIAL



The screenshot shows the homepage of the website 'bairrospd'. The header includes the logo 'bairrospd' and the text 'BAIRROS PROJETOS DIDÁTICOS E ELETRÔNICOS'. Below the header, there is a green banner with the text 'ESTUDE ELETRÔNICA NO SITE WWW.BAIRROSPD.COM!'. The main content area features a navigation menu with options like 'HOME', 'CURSOS', 'BIBLIOTECA', 'TUTORIAIS', 'VOCÊ SABE?', and 'CONTATO'. A prominent article titled 'APRENDA A LER RESISTORES' is displayed, accompanied by an illustration of a person working with electronic components. Below the article, there is a blue button that reads 'AULAS OU ASSESSORIA COM O ENGENHEIRO E PROFESSOR ROBERTO BAIROS?' and a 'CLIQUE AQUI!' link.

**VISITE  
O NOSSO  
SITE e  
CANAL  
YOUTUBE**

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)  
Professor Bairos

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ EM O PDF E MUITO MAIS.  
PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE.

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

<https://www.youtube.com/@professorbairros>

## Título do modelo de tutorial

### Sumário

1. Introdução. ....	4
2. O modelo linear .....	5
3. O modelo em AC .....	6
4. A corrente de coletor real.....	7
5. A corrente reversa.....	8
6. O termo $V_T$ . ....	9
7. Exemplo. ....	10
8. Solução. ....	11
9. A tensão $V_{BE}$ no misturador.....	12
10. A corrente no circuito misturador. ....	13
11. A multiplicação de potências.....	14
12. O produto das correntes no transistor. ....	15
13. O produto dos cossenos. ....	16
14. Sintetizando. ....	17
15. Conclusão. ....	18
16. Créditos.....	19

Título do modelo de tutorial

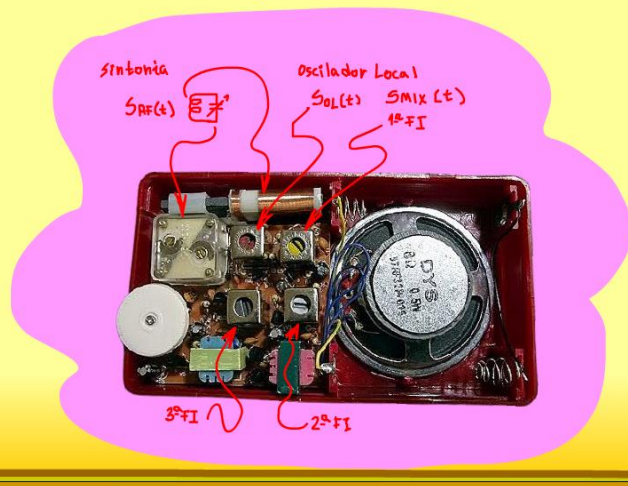
Título do modelo de tutorial

## Como funciona o misturador no rádio (Parte 2)

YOUTUBE: <https://youtu.be/U0EPGJJnF00>

## 1. Introdução.

## Como funciona o misturador no rádio (Parte 2)



Como funciona o misturador no rádio (Parte 2)

Na parte (1) dessa série eu mostrei como o produto de dois sinais do tipo cosseno de frequências diferentes geram outros dois sinais do tipo cosseno, mas um com a soma das frequências e outro com a subtração das frequências gerando o sinal de FI, a frequência intermediária.

Esse produto é feito no transistor do misturador, mas como esse produto se transforma em somas de frequências, como explicar isso usando a análise de circuitos e o modelo do transistor?

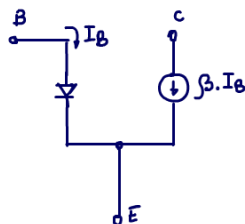
É isso que nós vamos ver nesse tutorial.

Vamos lá.

## Título do modelo de tutorial

## 2.0 modelo linear

2.0 modelo linear



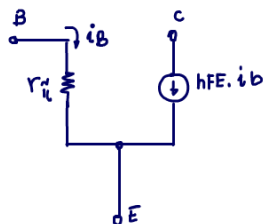
$$I_c = \beta \cdot I_B$$

Tudo depende do modelo, e existe um modelo do transistor que explica isso, um modelo pouco usado porque o transistor é modelado como um componente linear como estamos acostumados a ver, o modelo mais usado para polarizar um transistor é o da figura, a gente imagina que entre a base e o emissor tem um diodo e a tensão nesse diodo é de 0,7V, alguns professores preferem 0,6V, outros 0,65V, e a corrente de coletor é simplesmente a corrente de base multiplicada pelo beta do transistor.

## Título do modelo de tutorial

## 3. O modelo em AC

3.0 modelo em AC.



$$i_c = hFE \cdot i_b$$

$$r_{\pi} = hFE \cdot r_e$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25\text{mV}}{I_E} \quad (I_E = I_C \text{ se } hFE \gg 100)$$

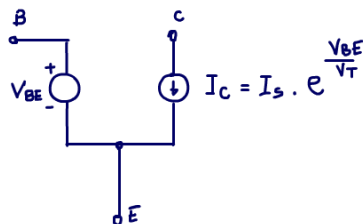
Um dos modelos mais usados para a análise em AC é o modelo PI-híbrido que segue o mesmo raciocínio, agora entre a base e o emissor é colocada a resistência intrínseca da base do transistor, a resistência  $r_{\pi}$  que depende da corrente de emissor do transistor que igual a corrente de coletor se o  $hFE$  for igual ou maior do que 100, aqui na análise AC, a corrente de coletor é igual a corrente de base multiplicada pelo  $hFE$ .

Se você tentar descrever o misturador usando esse modelo, você terá problemas!

## Título do modelo de tutorial

### 4. A corrente de coletor real.

4.A corrente de coletor real.



Você sabe que na prática os valores reais das correntes e tensões ficam só próximos dos valores calculados usando esses modelos, isso porque o transistor não é tão bem-comportado assim, existe uma forma mais precisa de modelar o transistor, aquela que diz que a corrente de coletor é uma função exponencial e vai depender da tensão entre a base e o emissor e da temperatura e mais alguns detalhes de construção do próprio transistor, veja como fica a equação da corrente de coletor em função da tensão base emissor.

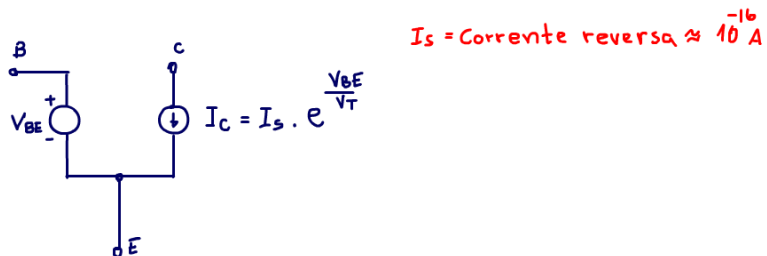
Essa equação apesar de bem mais completa ainda é uma simplificação, ela funciona bem quando o tensão de polarização do transistor, a tensão base emissor, é maior do 0,1V, se estiver ao redor de 0,6V ela funciona muito bem, por isso é amplamente usada.

Nesse modelo eu penso na corrente de coletor em função da tensão base emissor, essa é uma equação bem mais realística do transistor, muito diferente do que se pensa normalmente, quando a gente diz que o transistor trabalha com correntes, a corrente de coletor depende da corrente de base, agora você já sabe que na verdade a corrente de coletor depende da tensão base emissor!



## 5. A corrente reversa.

5.A corrente reversa.



Aquela corrente  $I_S$  é a corrente reversa do transistor, o valor dessa corrente vem em todo o datasheet dos transistores e o valor típico fica ao redor de 10 na menos 16 Ampère, isso mesmo um valor muito, mas muito pequeno, da ordem de pico Ampère, tão pequeno que a corrente reversa raramente é usado na análise de circuitos com transistores.

## Título do modelo de tutorial

## 6. O termo VT.

6.O termo VT.

$I_s = \text{Corrente reversa} \approx 10^{-16} \text{ A}$   
 $V_T = \text{Tensão térmica} = 25 \text{ mV}$   
 $(0,025 \text{ V})$   
 $r_{\pi} = r_e \cdot h_{FE}$   
 $r_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_E}$

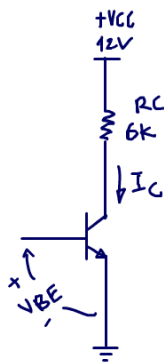
O termo  $V_T$  já é mais conhecido, é a tensão térmica, na prática à temperatura ambiente, temperatura de 27 graus centígrados, o valor da tensão térmica fica ao redor de 25 mV ou 0,025V e como você já deve ter percebido, varia com a temperatura.

Você já usou esse valor para determinar a resistência intrínseca de emissor no modelo PI-híbrido, a resistência PI é a resistência intrínseca do emissor multiplicado pelo ganho  $h_{FE}$  e a resistência intrínseca de emissor é igual a tensão térmica de 25 mV dividido pela corrente de polarização do emissor que é igual a corrente de coletor se o ganho  $h_{FE}$  for maior do que 100.

## Título do modelo de tutorial

## 7. Exemplo.

7.Exemplo.

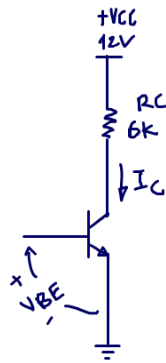
Para  $V_{BE} = 0,75 \text{ V}$  $I_S = 10^{-16} \text{ A}$  $I_C = ?$ 

Para tentar deixar mais claro a equação exponencial de um transistor real vou mostrar num exemplo, suponha que você queira a tensão base emissor de um transistor seja igual a 0,75V na temperatura ambiente, e esse transistor tem uma corrente reversa de 10 na menos 16 Ampère, qual a corrente de coletor desse transistor?

## Título do modelo de tutorial

## 8. Solução.

8. Solução.

Para  $V_{BE} = 0,75 \text{ V}$ 

$$I_S = 10^{-16} \text{ A}$$

$$I_C = ?$$

$$I_C = I_S \cdot e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$V_T = 0,025 \text{ V}$$

$$I_C = 10^{-16} \text{ A} \cdot e^{\frac{0,75 \text{ V}}{0,025 \text{ V}}} = 0,00107 \text{ A}$$

$$I_C \approx 1 \text{ mA}$$

A solução, é só aplicar a equação, veja que aqui eu vou determinar a corrente sem usar o beta, a tensão  $V_{BE}$  é que vai determinar a corrente de coletor, a gente não tá acostumado com esse pensamento!

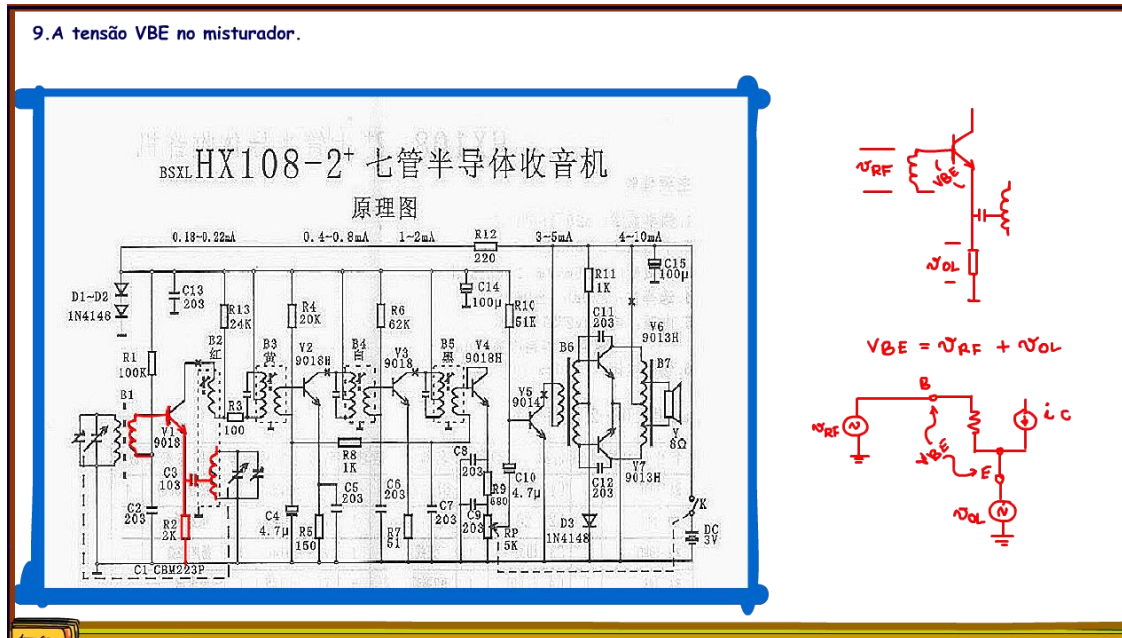
Na temperatura ambiente a tensão térmica é 25mV, então é só substituir na equação e usar uma calculadora, essa letrinha “e” é o número neperiano que gera o logaritmo neperiano, muito usado na física, no EXCEL é a função EXP().

Substituindo os valores e calculando dá, aproximadamente 1 mA!

Conta aí nos comentários se você já tinha visto isso antes?

## Título do modelo de tutorial

### 9. A tensão VBE no misturador.

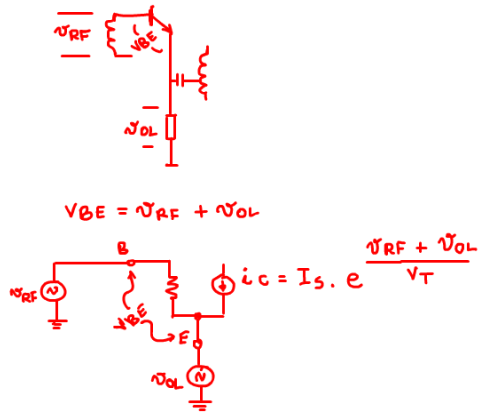


Agora veja o circuito do misturador, nesse circuito eu vou representar o sinal de RF como uma fonte AC, a tensão gerada no circuito de sintonia, ela é aplicada a base do transistor e no emissor em paralelo com a resistência de emissor temos a tensão AC gerada pelo oscilador local, a tensão entre a base e o emissor será soma da tensão de rádio frequência mais a tensão gerada no oscilador, viu de onde surge a soma.

## Título do modelo de tutorial

## 10. A corrente no circuito misturador.

10.A corrente no circuito misturador.



Vou escrever a corrente de coletor usando a equação exponencial e vou colocar no lugar da tensão  $v_{be}$ , a soma da tensão do sinal de RF sintonizado mais a tensão do oscilador local, aqui temos a soma.

## Título do modelo de tutorial

## 11. A multiplicação de potências.

11. A multiplicação de potências.

$$x^a \cdot x^b = x^{(a+b)}$$
$$x^{(a+b)} = x^a \cdot x^b$$

Agora vem a mágica da matemática novamente, agora nas operações de multiplicação da exponenciação ou potenciação, você lembra, foi vista lá no segundo grau.

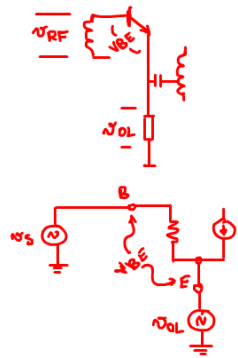
O produto de duas potências de mesma base é igual a soma das potências mantendo a mesma base, está duvidando?

Entra no google e coloca multiplicação de potência, novamente a matemática vai resolver a questão eletrônica do misturador, então a volta também é verdadeira, invertendo tudo veja que a soma se transforma em um produto.

## Título do modelo de tutorial

## 12. O produto das correntes no transistor.

12.O produto das correntes no transistor.



$$v_{BE} = v_{RF} + v_{oL}$$

$$i_C = I_S \cdot e^{\frac{v_{RF} + v_{oL}}{V_T}}$$

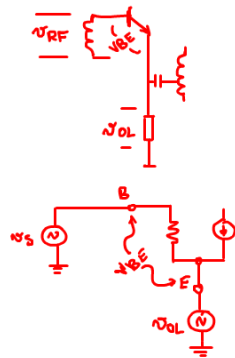
$$i_C = I_S \cdot e^{\frac{v_{RF}}{V_T}} \cdot e^{\frac{v_{oL}}{V_T}}$$

Agora é só aplicar na equação do misturador e pronto transformamos a água em vinho, bem quase, transformamos a soma em um produto de correntes.



### 13. O produto dos cossenos.

13.O produto dos cossenos.



$$\omega_{OL} = \omega_{RF} + \omega_{IF}$$

$$V_{BE} = V_{RF} + V_{OL}$$

$$i_C = I_S \cdot e^{\frac{V_{RF} + V_{OL}}{V_T}}$$

$$i_C = I_S \cdot e^{\frac{V_{RF}}{V_T}} \cdot e^{\frac{V_{OL}}{V_T}}$$

$$i_C = i_{RF} \cdot i_{OL}$$

$$i_C = \cos(\omega_{RF} \cdot t) \cdot \cos(\omega_{OL} \cdot t)$$

$$i_C = \frac{\cos(\omega_{OL} \cdot t + \omega_{RF} \cdot t) + \cos(\omega_{OL} \cdot t - \omega_{RF} \cdot t)}{2}$$

$$i_C = \frac{\cos(\omega_{OL} \cdot t + \omega_{RF} \cdot t) + \cos(\omega_{FI} \cdot t)}{2}$$

Agora a corrente de coletor depende do produto dos dois sinais aplicados a base, e como os sinais de tensão senoidais estão defasados em relação a correntes, as correntes serão do tipo cossenoides e pronto temos o produto de cosseno.

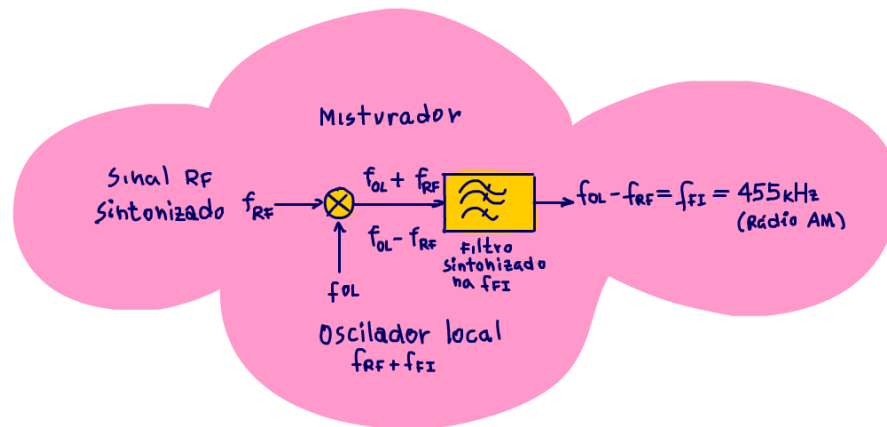
Esse produto de cossenos pode ser resolvido usando a trigonometria como vimos no tutorial passado, se você não viu, sugiro que você dê uma olhada.

Esse produto feito com os cossenos resulta em mais duas frequências, a última parcela é a frequências de FI, isso porque a frequência do oscilador local é igual a frequência de rádio frequência da estação recebida mais a frequência de FI, ao fazer a subtração fica somente a frequência de FI e a mágica aconteceu,

misturamos dois sinais, o sinal da estação sintonizado mais o sinal do oscilador local e geramos o sinal de FI, e não importa a frequência da estação sintonizada, esse processo todo é chamado simplesmente de batimento, mas para explicar o batimento tivemos que fazer duas mágicas matemáticas, a soma de cossenos da trigonometria, e a soma das potências da álgebra, esse eletrônica e essa matemática são fantásticas.

## 14. Sintetizando.

14. Sintetizando.



Sintetizando.

O misturador consiste de um transistor polarizado na região não linear de sua característica, e recebe na base o sinal de RF sintonizado na etapa de entrada e recebe no emissor um sinal proveniente do oscilador local, um sinal com a frequência igual a frequência da estação sintonizada mais a frequência de FI que nos rádios AM é de 455 kHz. O misturador faz o batimento dessas duas frequências, gerando no coletor o sinal de FI e mais outro sinal que a soma das frequências, um circuito sintonizado separa só o sinal de FI que segue para os amplificadores de rádio frequência seguintes, os amplificadores de FI!

## Título do modelo de tutorial

## 15. Conclusão.

15. Conclusão.



Você viu nessa série como podemos explicar o circuito misturador dos rádios super-heteródinos que gera a frequência de FI, bom proveito!

## Título do modelo de tutorial

### 16. Créditos

E por favor, se você não é inscrito, se inscreva e marque o sininho para receber as notificações do canal e não esqueça de deixar aquele like e compartilhar para dar uma força ao canal do professor bairros.

**Arthurzinho: E não tem site.**

Tem sim é [www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com) lá você encontra o PDF e tutoriais sobre esse e outros assuntos da eletrônica

E fique atento ao canal do professor bairros para mais tutoriais sobre eletrônica, até lá!

INSCRIÇÃO YOUTUBE: <https://www.youtube.com/@professorbairros>

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ TEM O PDF E MUITO MAIS

PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

SOM: pop alegre Mysteries -30 (fonte YOUTUBE)

## Título do modelo de tutorial

20241029 Como funciona o misturador no rádio parte 2

Como funciona o misturador no rádio (Parte 2)

Na parte (1) dessa série eu mostrei como o produto de dois sinais do tipo cosseno de frequências diferentes geram outros dois sinais do tipo cosseno, mas um com a soma das frequências e outro com a subtração das frequências gerando o sinal de FI, a frequência intermediária.

Esse produto é feito no transistor do misturador, mas como esse produto se transforma em somas de frequências, como explicar isso usando a análise de circuitos e o modelo do transistor?

É isso que nós vamos ver nesse tutorial.

Vamos lá.

Assuntos relacionados.

Quanta teoria eu preciso para trabalhar com eletrônica?: <https://youtu.be/-5T6T3sljDo>

YOUTUBE: <https://youtu.be/U0EPGJJnF00>

Rádio, rádio super-heteródino, o circuito misturador, o circuito misturador no rádio, frequência intermediária, como é gerada a FI,