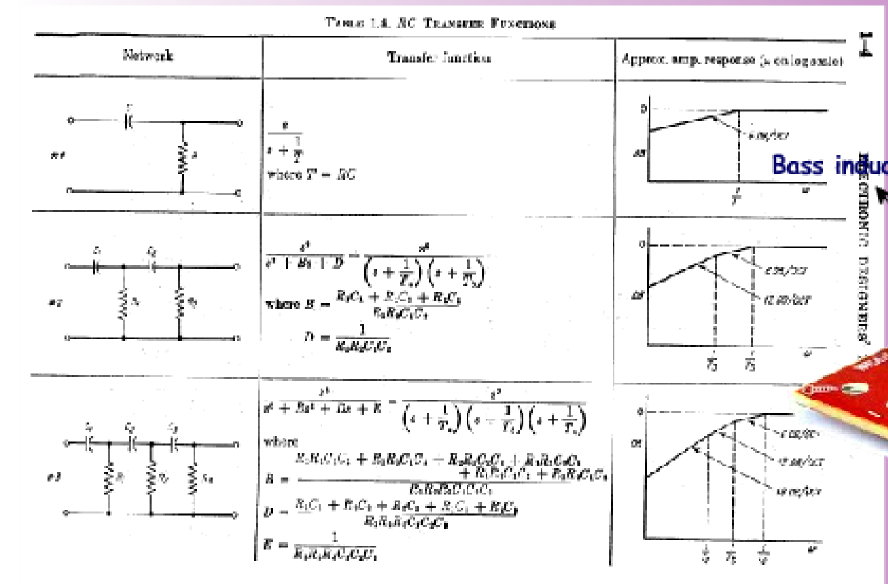
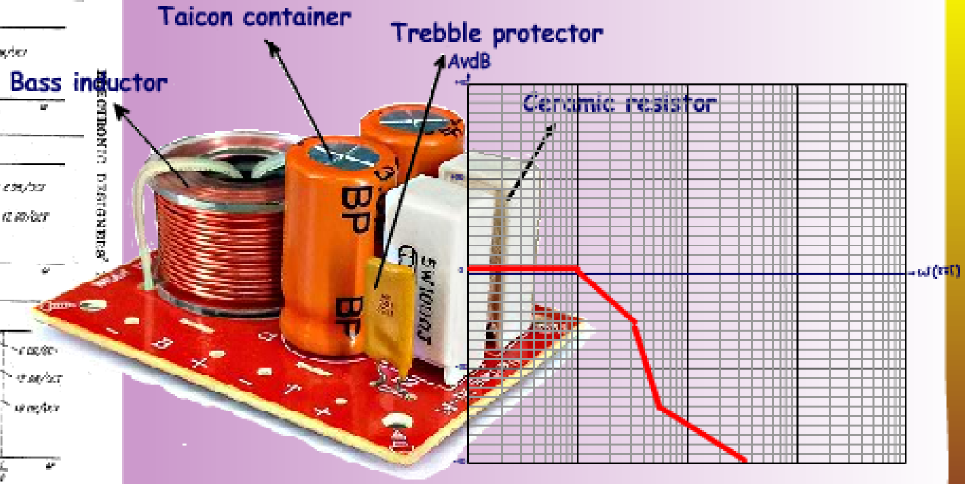
BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)





www.bairrospd.com
https://www.youtube.com/channel/UC_ttfxnYdBh4IbiR9twtpPA

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIRROS LÁ EM O PDF E MUITO MAIS.
PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE.
www.bairrospd.com

Sumário

1 BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Simmmm, eu sou o professor Bairros e no tutorial de hoje nós vamos ver....

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

YOUTUBE: https://youtu.be/11c-YPe6SO0

Vamos lá!

Figura 1

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Assuntos relacionados.

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIRROS LÁ TEM O PDF E MUITO MAIS
PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE
www.bairrospd.com

curva de BODE, gráfico de BODE, como levantar as curvas de BODE, como desenhar as curvas de BODE, como analisar um circuito usando as curvas de BODE, filtros eletrônicos, como calcular um filtro eletrônico, analisando circuitos de filtros eletrônicos,

1.1 INTRODUÇÃO.

Um dos grandes desafios para o professor de eletrônica e para os alunos é analisar circuitos usando as curvas de BODE, principalmente os filtros, como aqueles do controle de tom, filtros na saída dos amplificadores classe D, filtros nas caixas de som, nos transformadores dos inversores, filtros como o da figura, enviado pelo seguidor José Tavares.

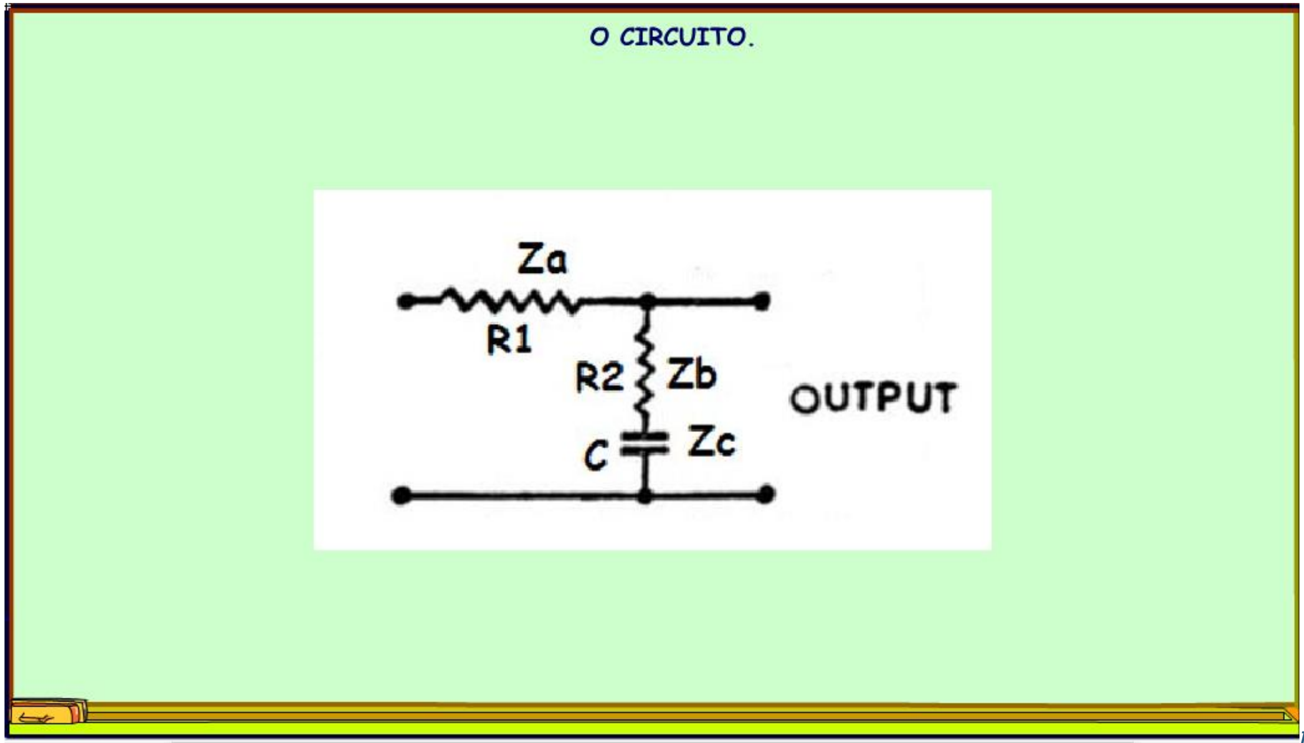


Figura 2

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

As curvas de BODE mostram de forma clara a relação entre o ganho de um circuito em função da frequência, como na figura, onde fica bem claro que esse circuito é um passa baixo e a frequência de corte está sintonizada em 1 KHz.

Como construir esse tipo de gráfico, é o que eu vou mostrar nesse tutorial.

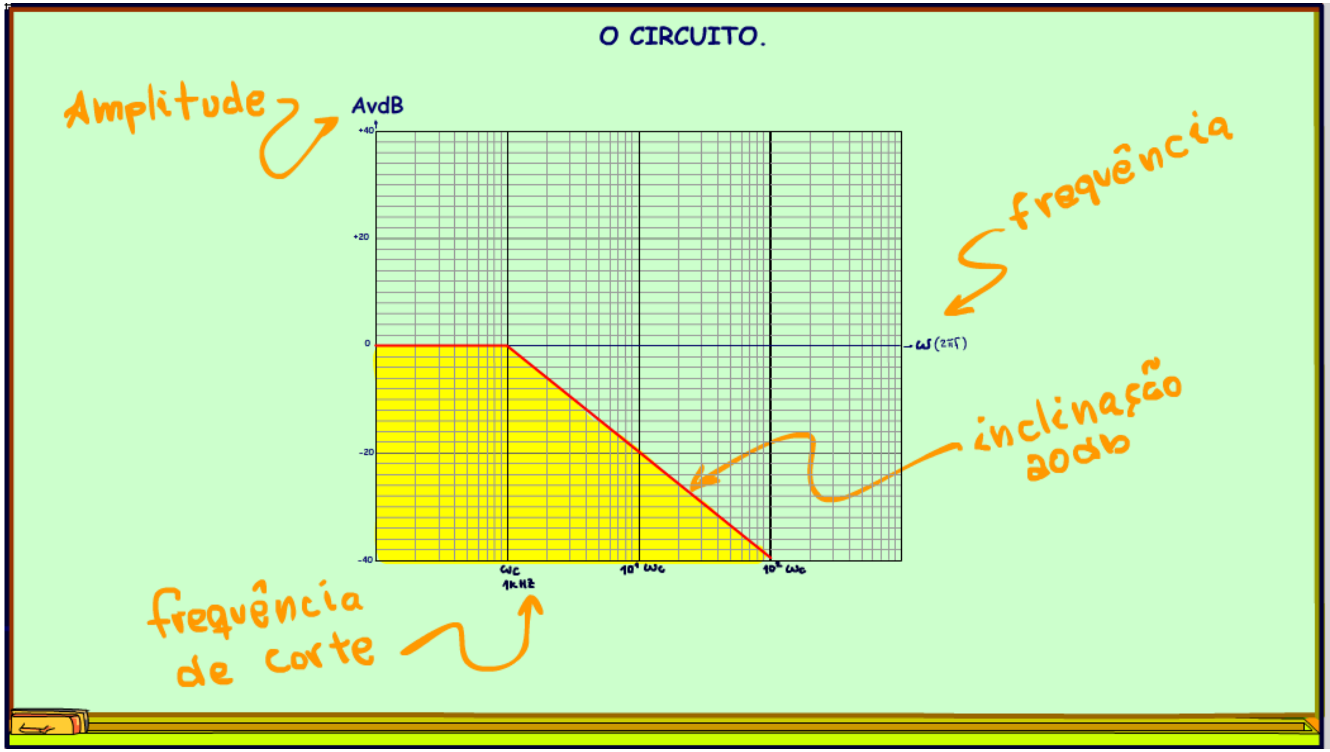


Figura 3

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E se você já tentou aprender e teve dificuldade, eu entendo, é realmente um tópico difícil, mas depois de muitas tentativas cheguei no método que eu vou mostrar nesse tutorial, um método diferente que eu vou chamar de:

O método do Professor Bairros para levantar as curvas de BODE!

Um método rápido lépido e rasteiro e que começa pelo fim.

Figura 4

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Isso mesmo, eu vou começar mostrando os modelos dos polos e zeros sem falar muito da teoria do gráfico de BODE, mas claro que a essência eu tenho que mostrar, apesar do essencial ser invisível aos olho!

Figura 5

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

O primeiro detalhe é que o gráfico mostra o ganho de tensão em decibel.

O ganho de tensão é a relação entre a tensão de saída pela tensão de entrada, como você já está careca de saber.

No circuito da figura o ganho é de 100.

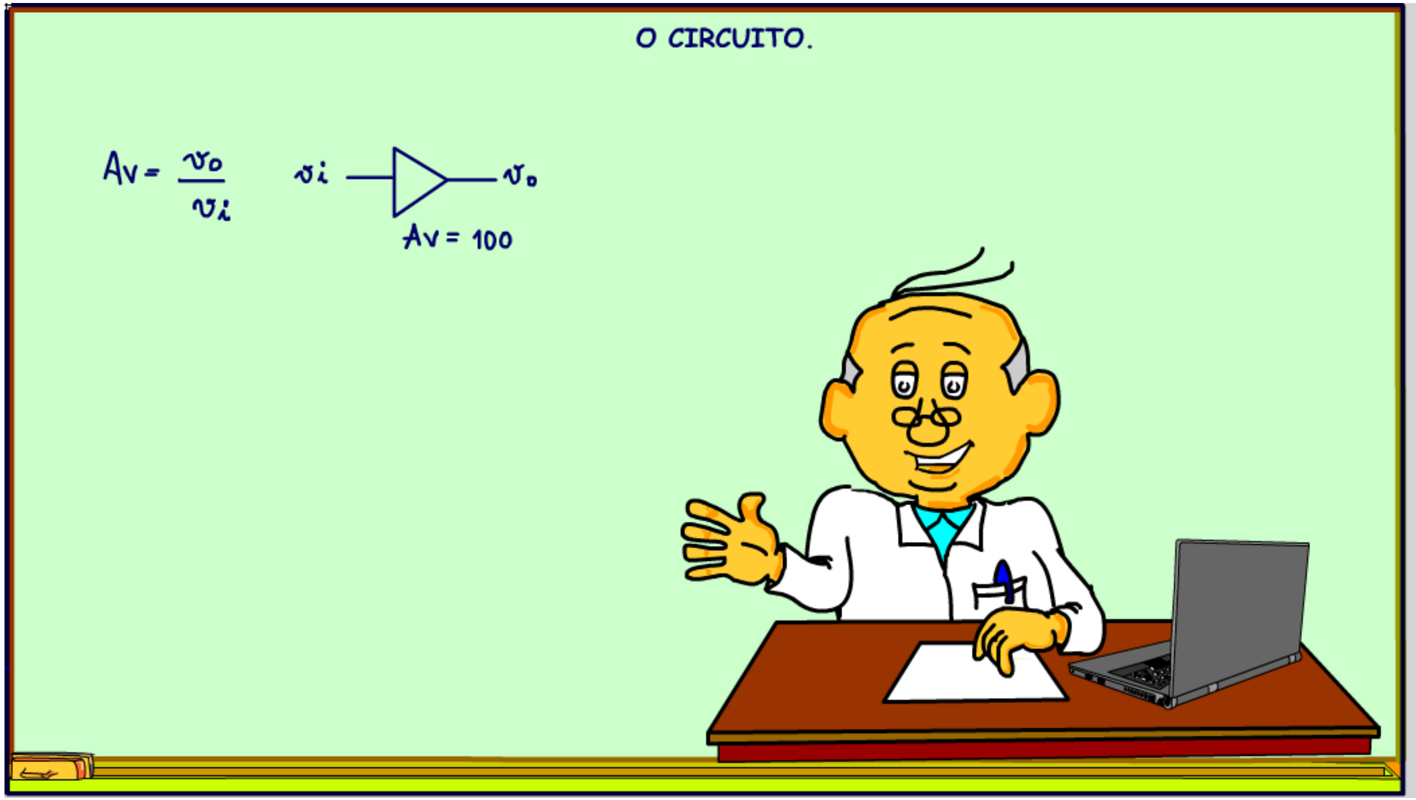


Figura 6

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

O que o senhor BODE fez foi escrever o ganho em decibel, como mostra a figura, e isso simplifica muito o desenho do gráfico, por incrível que pareça, você já vai ver.

No circuito da figura o ganho de 100 escrito em decibel é igual a 40db!

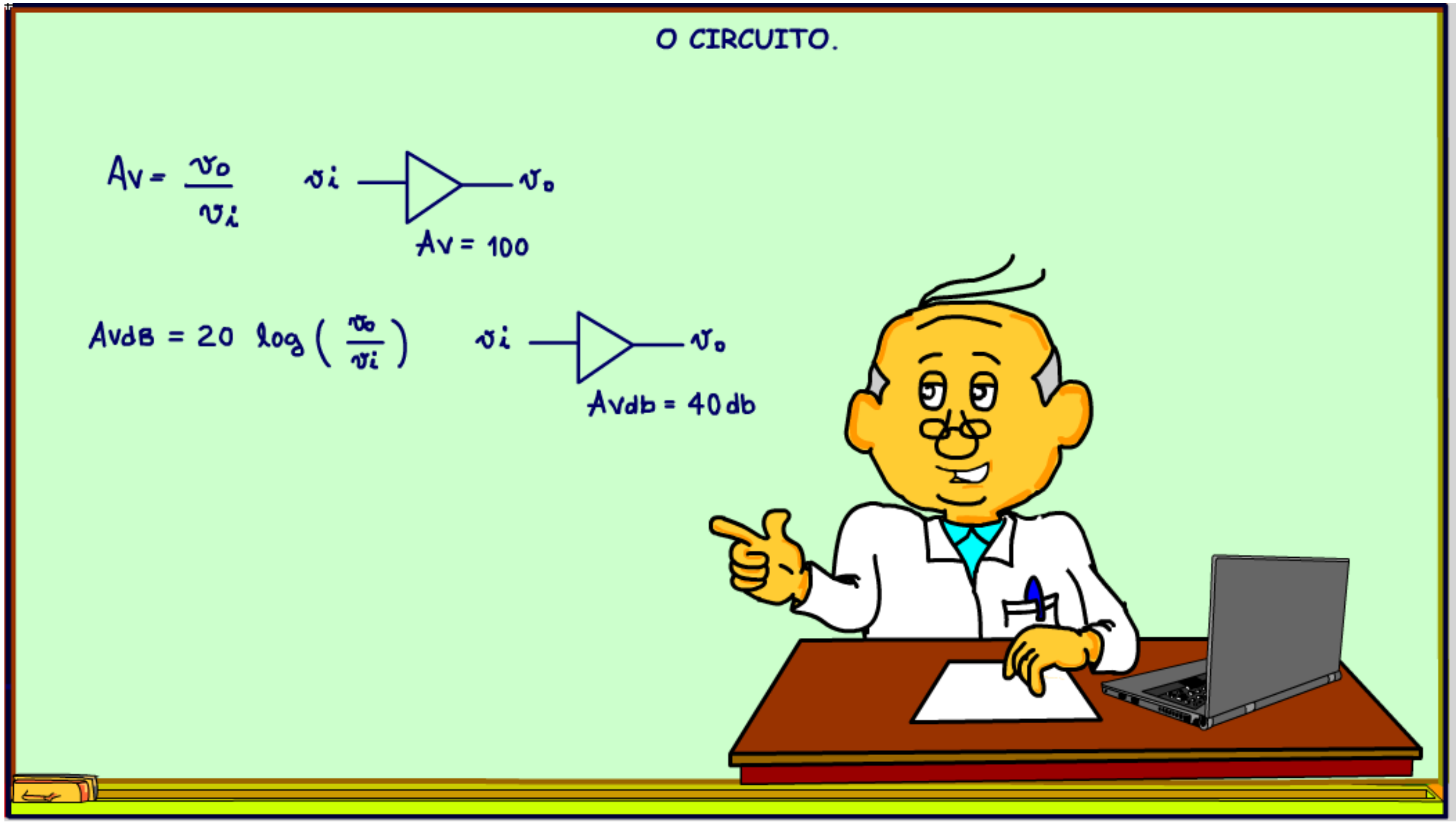


Figura 7

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Mas não se preocupe com o logaritmo por enquanto, conforme ele for aparecendo eu vou mostrando como calcular.

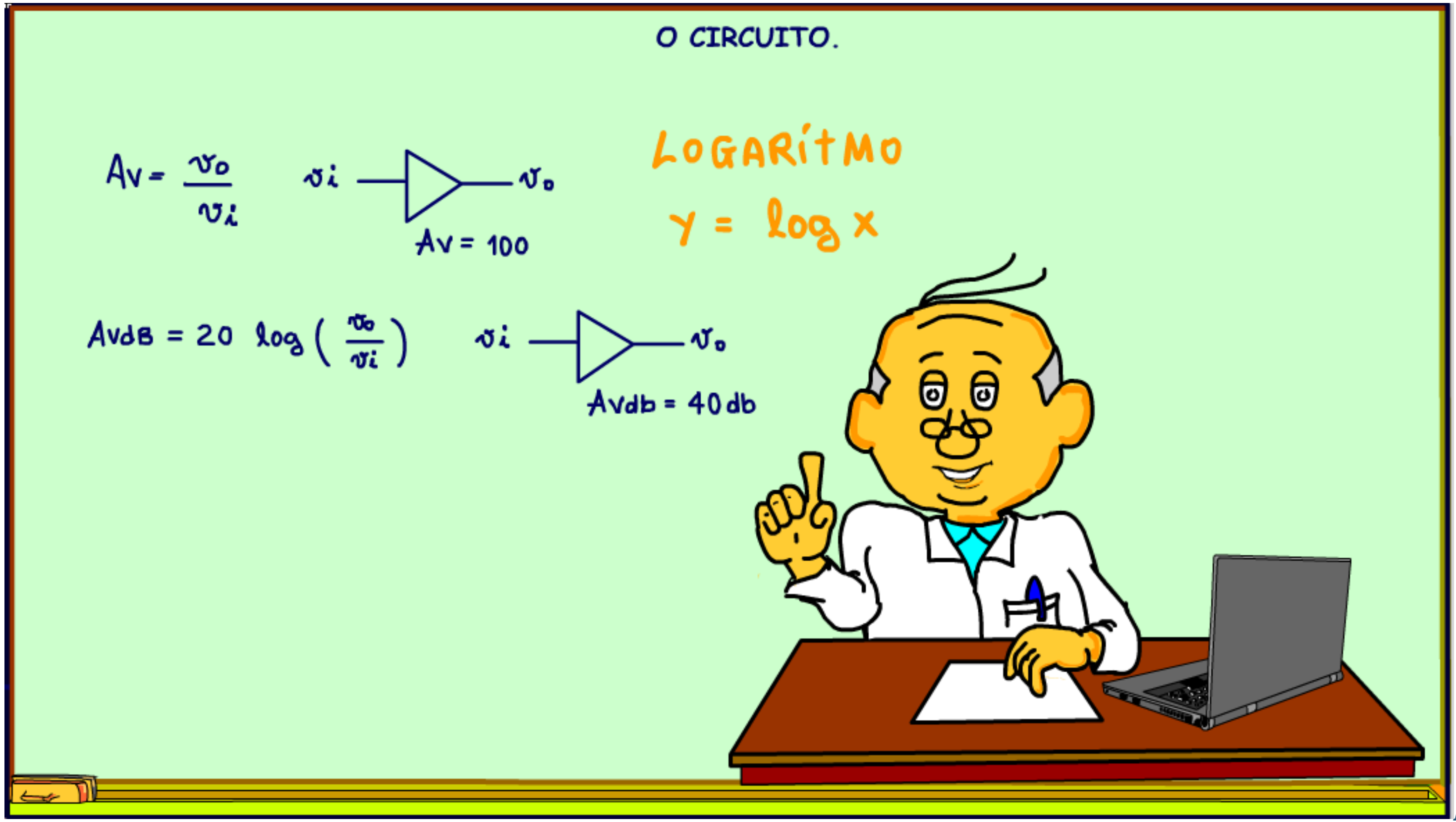


Figura 8

1.2 O POLO.

Como eu disse vou começar pelo fim, então vou mostrar o que é um polo.

Um polo é quando na equação do ganho aparecer no denominador a parcela entre parênteses como na figura, essa parcela é chamada de polo.

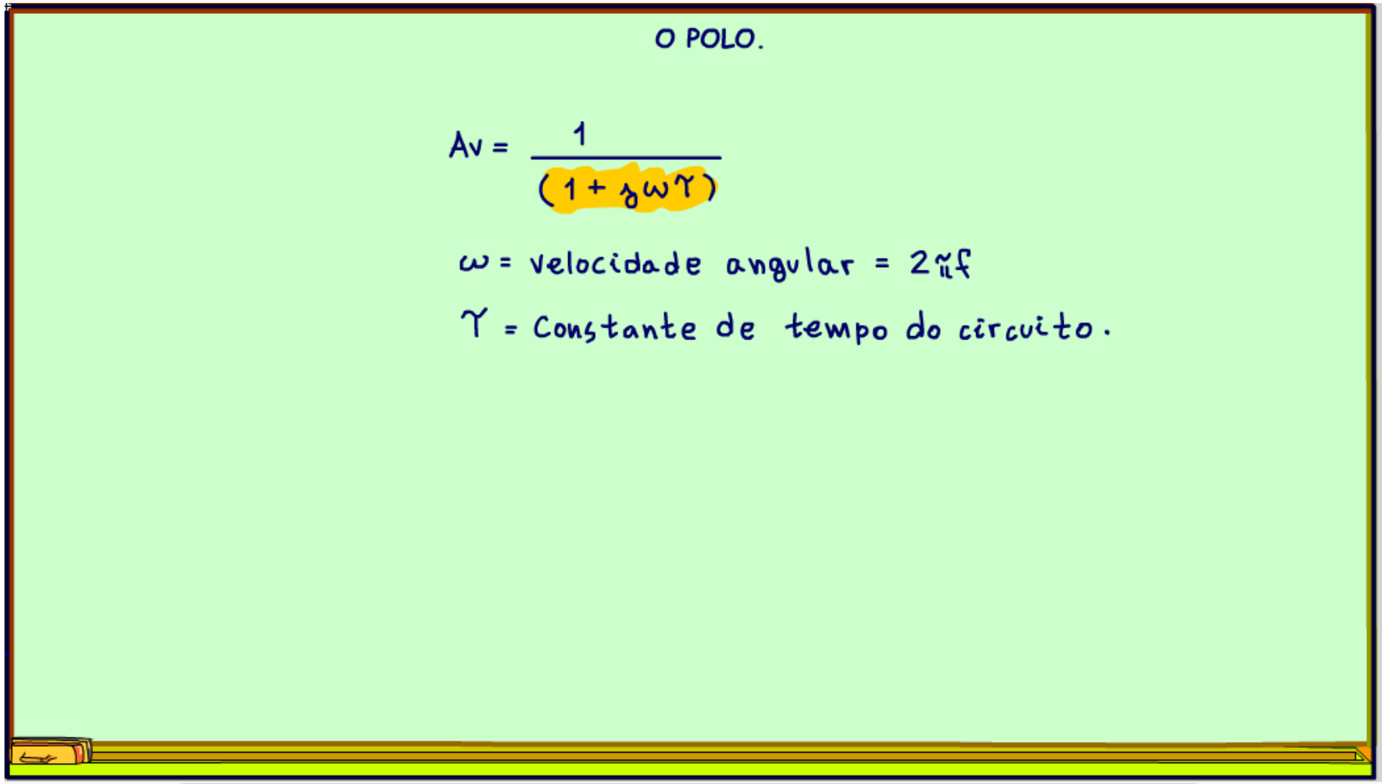


Figura 9

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Ao levantar a equação do circuito você terá que montar a equação final nesse padrão, deverá aparecer o um, mais a parte imaginária jota, vezes a velocidade angular dábliu, vezes a constate de tempo do circuito.

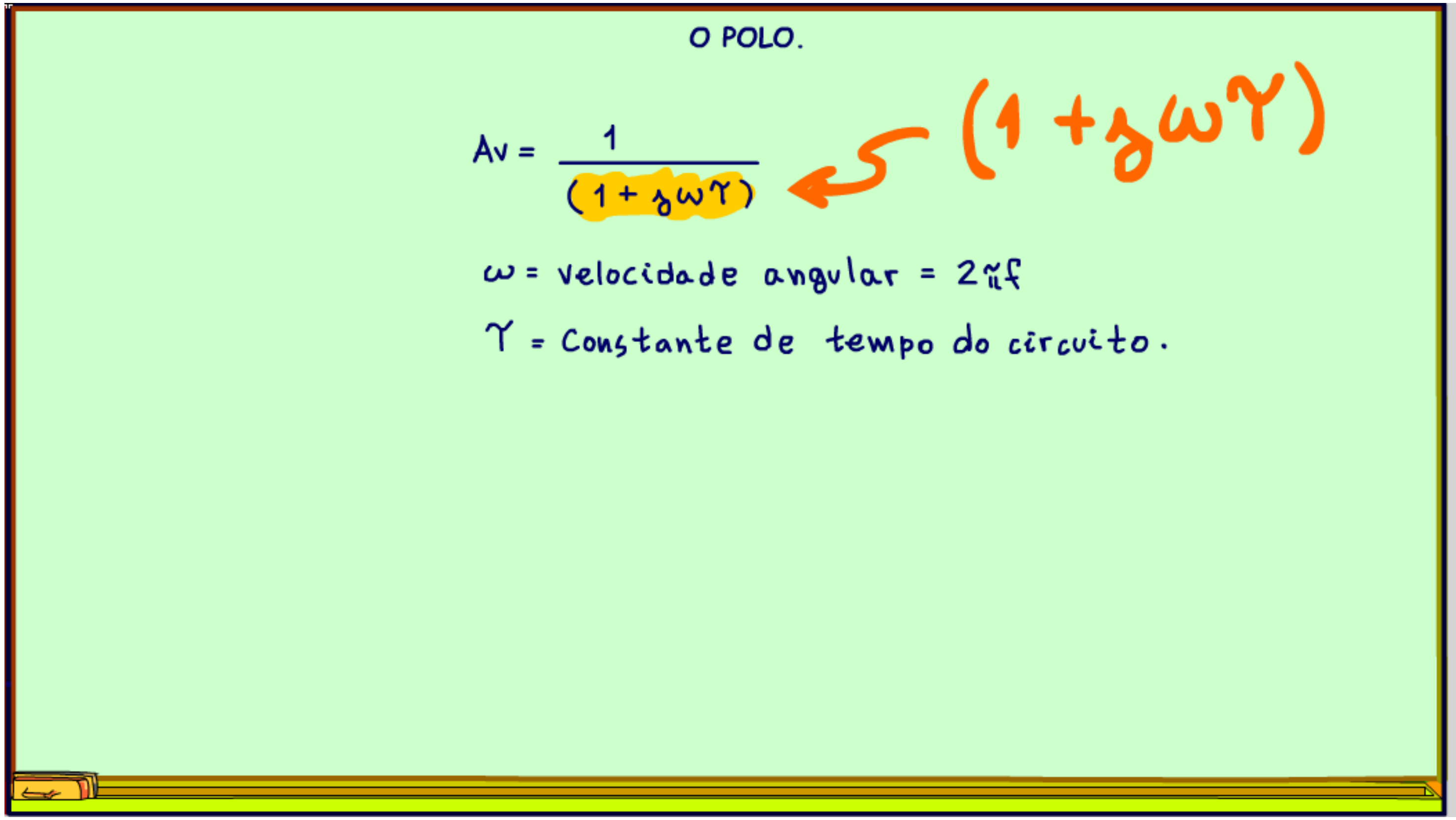


Figura 10

Aqui estou usando a velocidade angular para simplificar a equação, a velocidade angular é aquele 2pif que aparece nas equações das impedâncias dos capacitores e indutores.

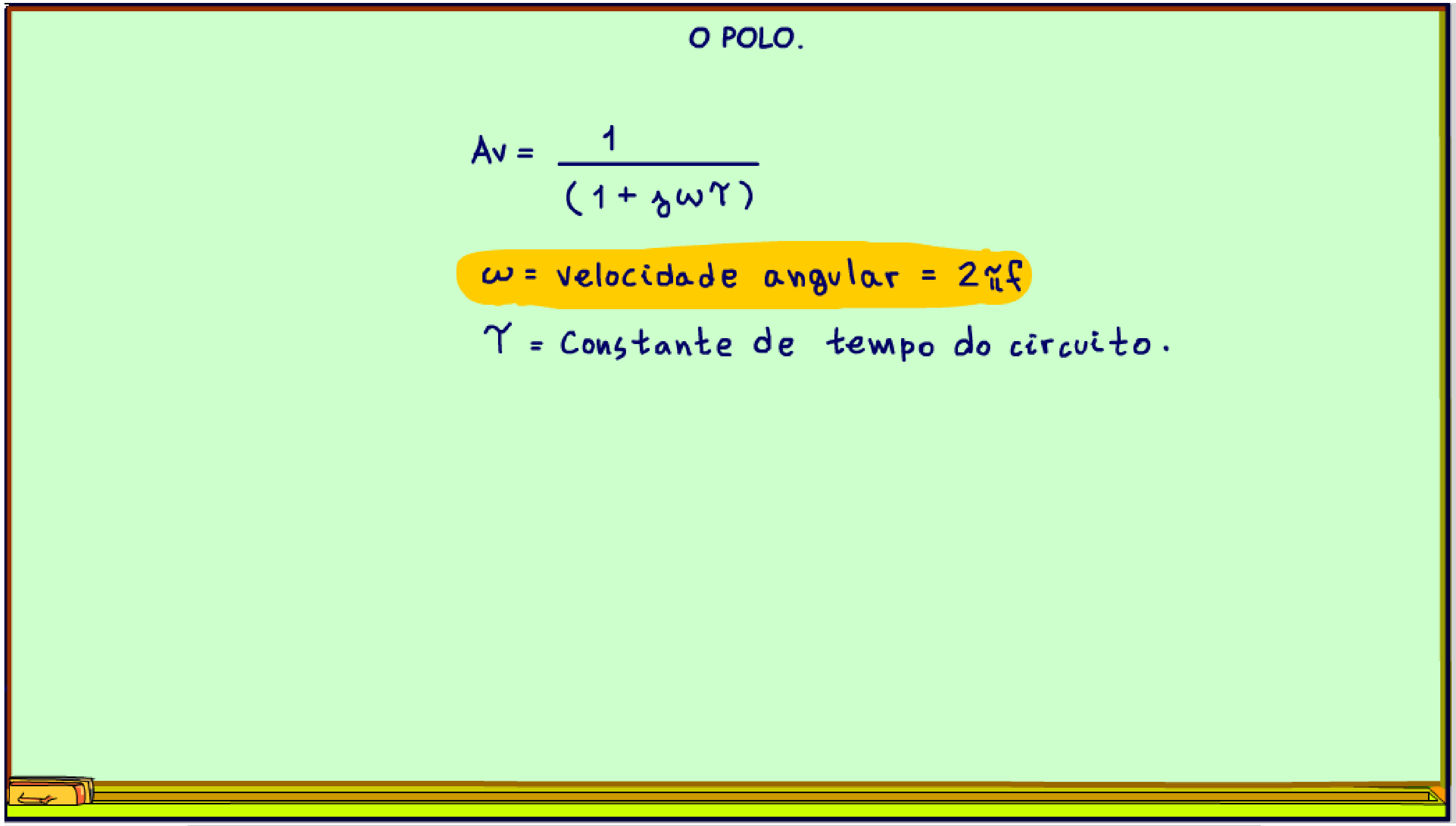


Figura 11

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

O “f” é a frequência, então usar a velocidade angular é uma forma diferente de escrever a frequência, economiza letras, eu não preciso escrever o 2pi na equação.

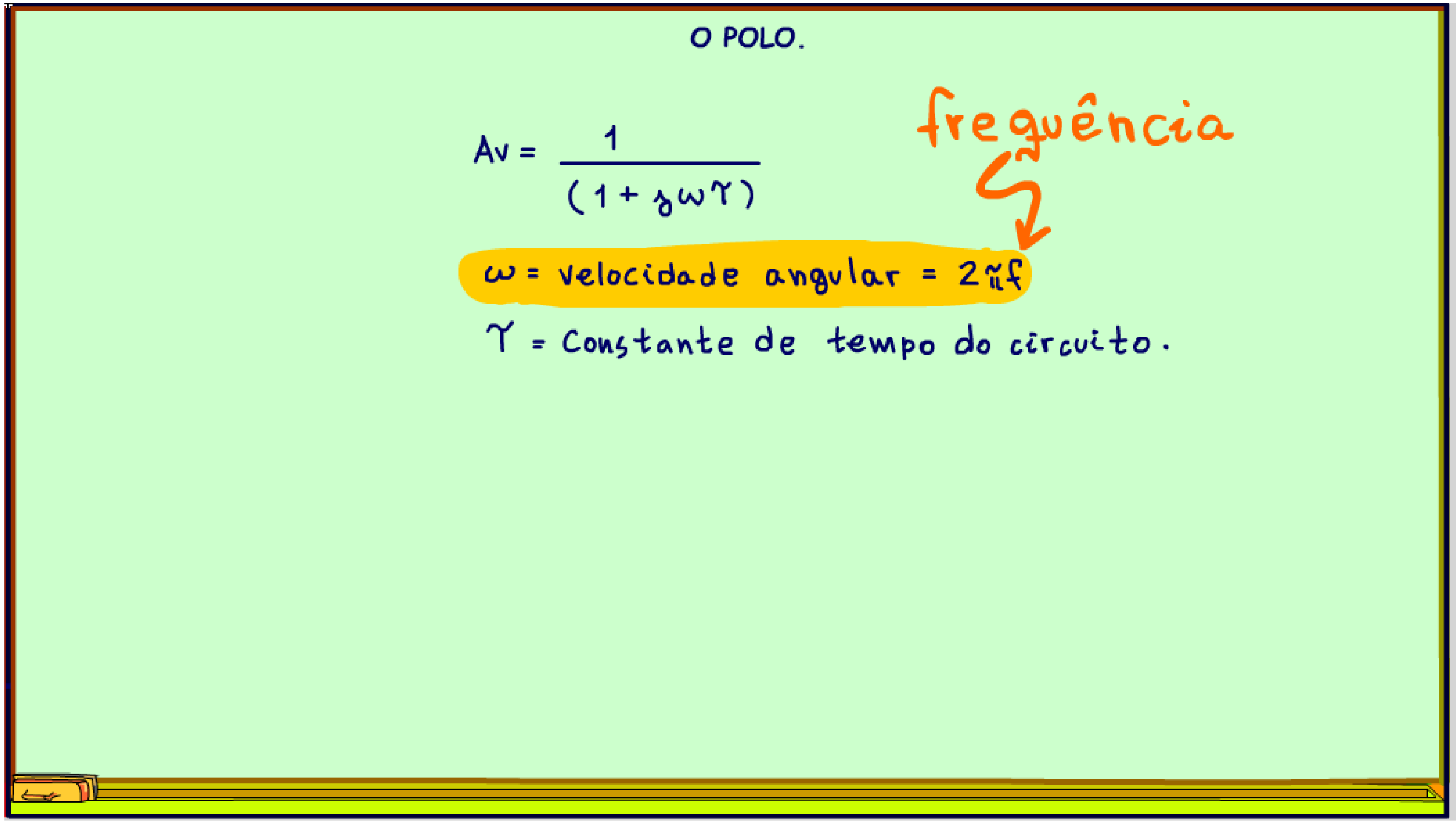


Figura 12

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

O termo que parece a letra "t" é a constante de tempo e depende do circuito, depende dos capacitores, indutores e resistências que estão sendo usadas no circuito.

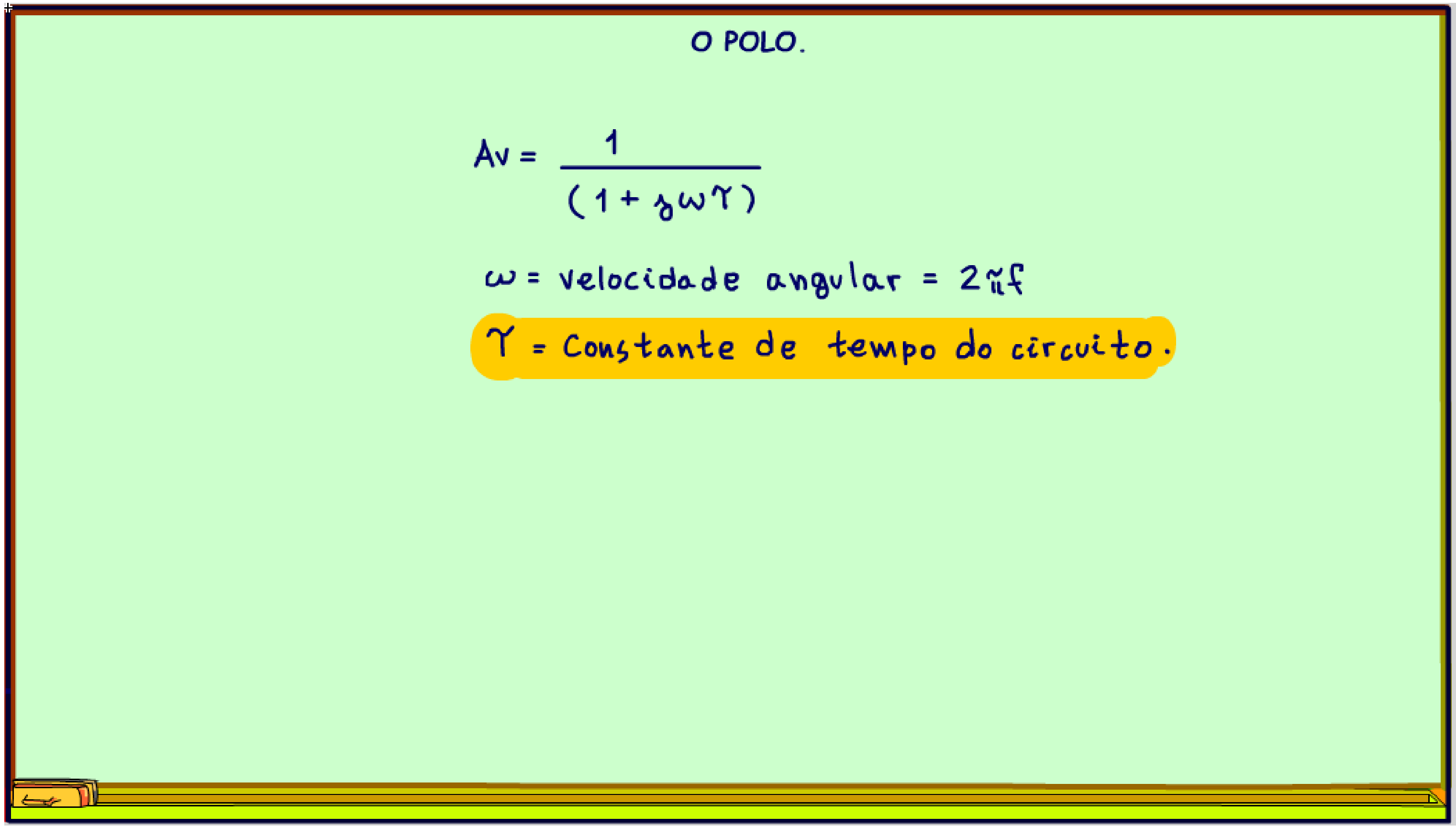


Figura 13

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Você já viu isso antes, no circuito RC da figura, você lembra o que determinar a constante de tempo desse circuito.

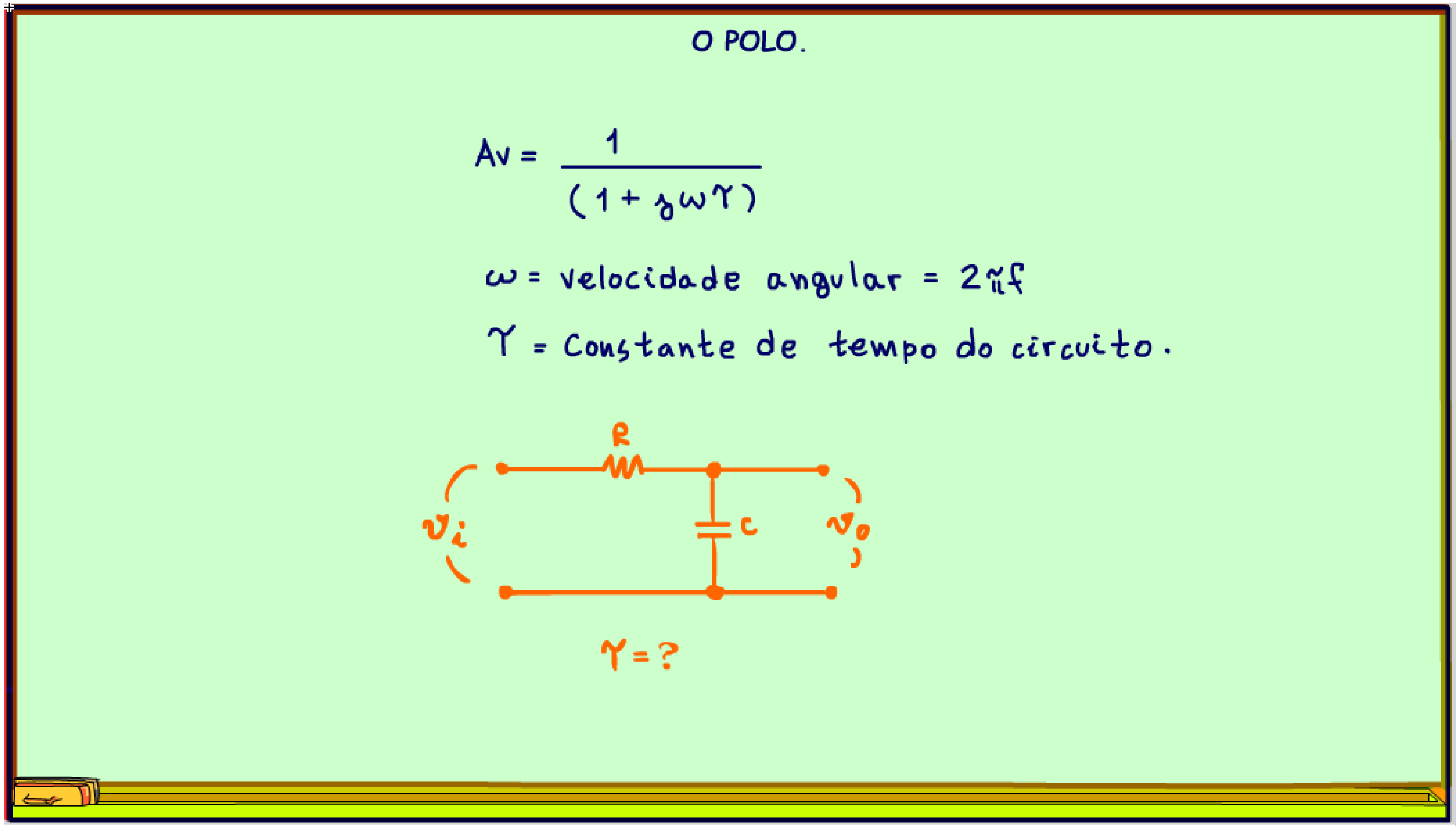


Figura 14

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Isso mesmo, a constante de tempo é RC.

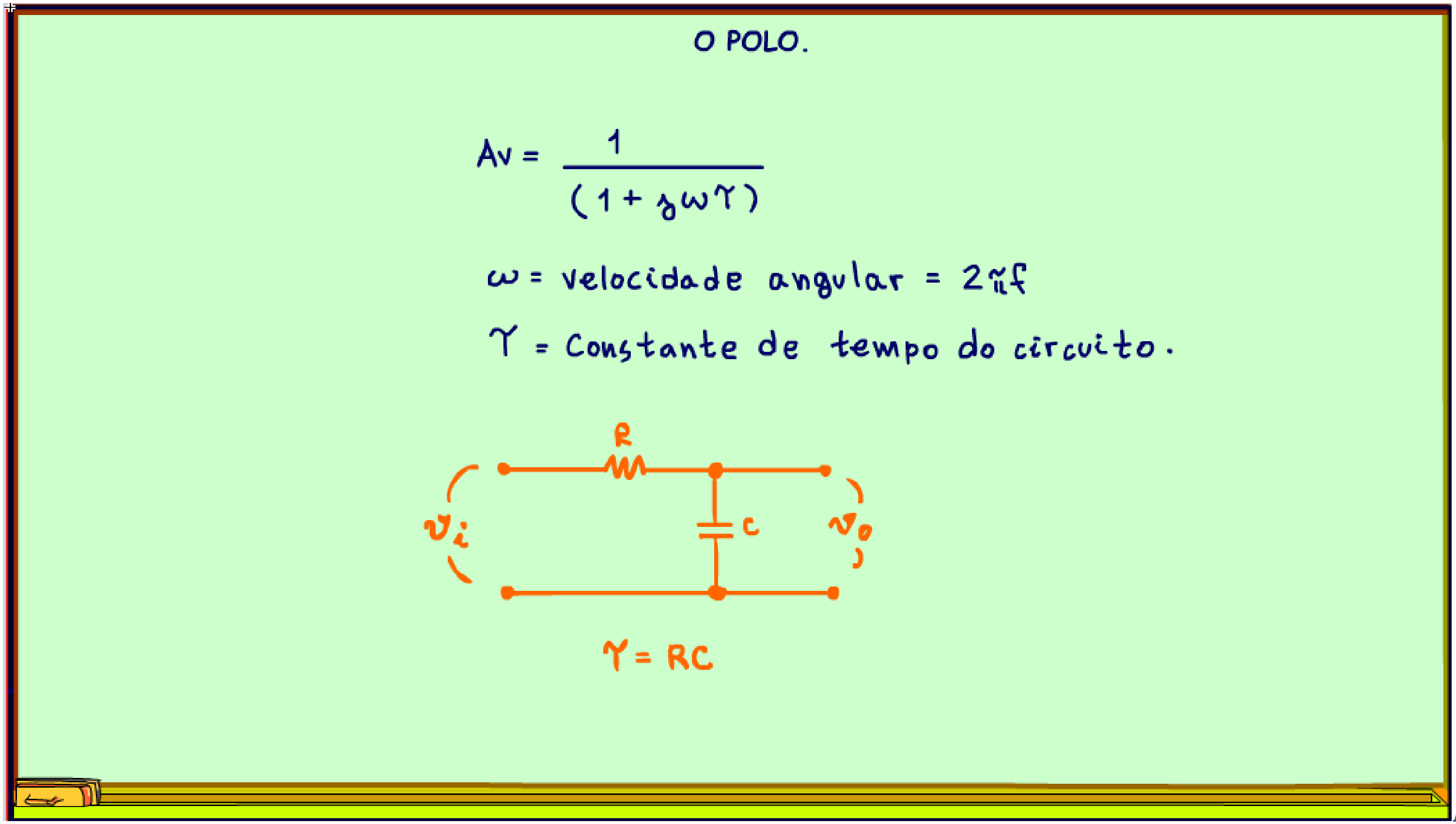


Figura 15

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora vou mostrar para você como desenhar o gráfico do polo, é muito simples.

A primeira novidade é que a escala do gráfico é logarítmica, claro, se o ganho é calculado em decibel, que tem o logaritmo na equação, então o gráfico é logarítmico, como mostra a figura.

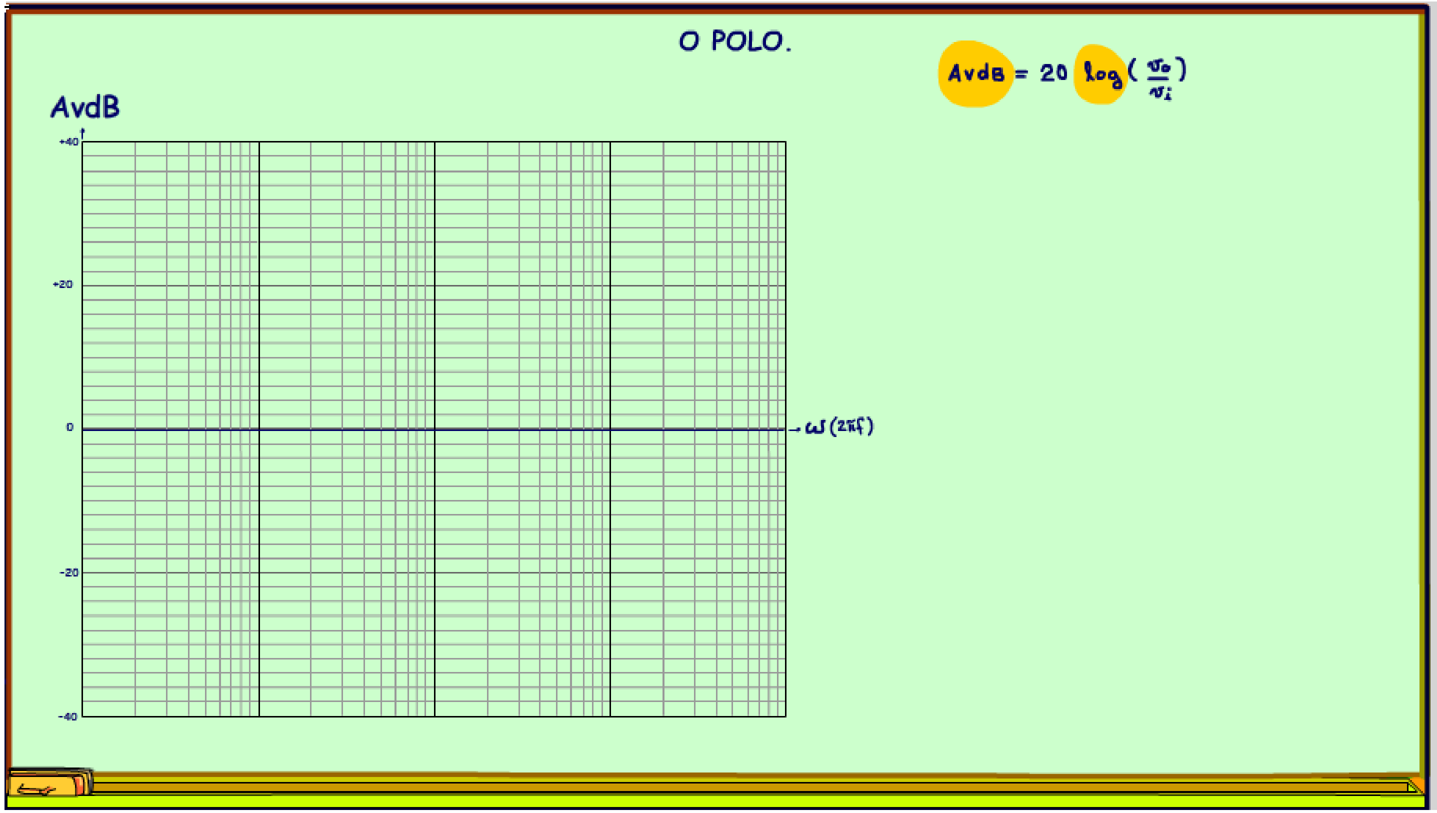


Figura 16

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E mais, o logaritmo na base dez, o mais fácil de todos, quando a base não é escrita no logaritmo, então ele é base dez, por exemplo, no logaritmo em laranja da figura a base é dois, olha o dois ali na base da palavrinha log.

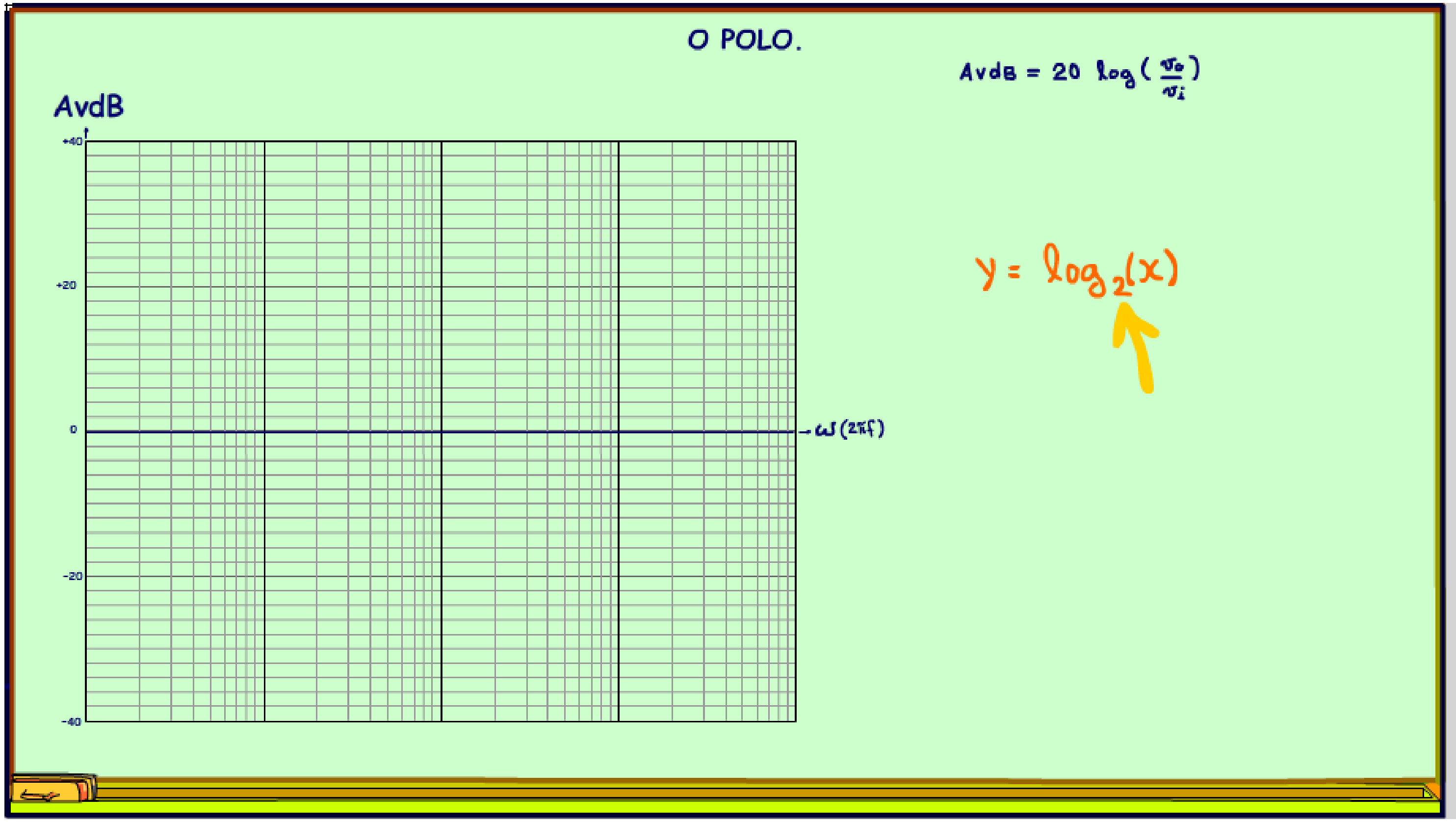


Figura 17

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

No caso do polo a equação fica como na figura, no lugar do ganho vo sobre vi escrevemos o termo do polo, muito simples!

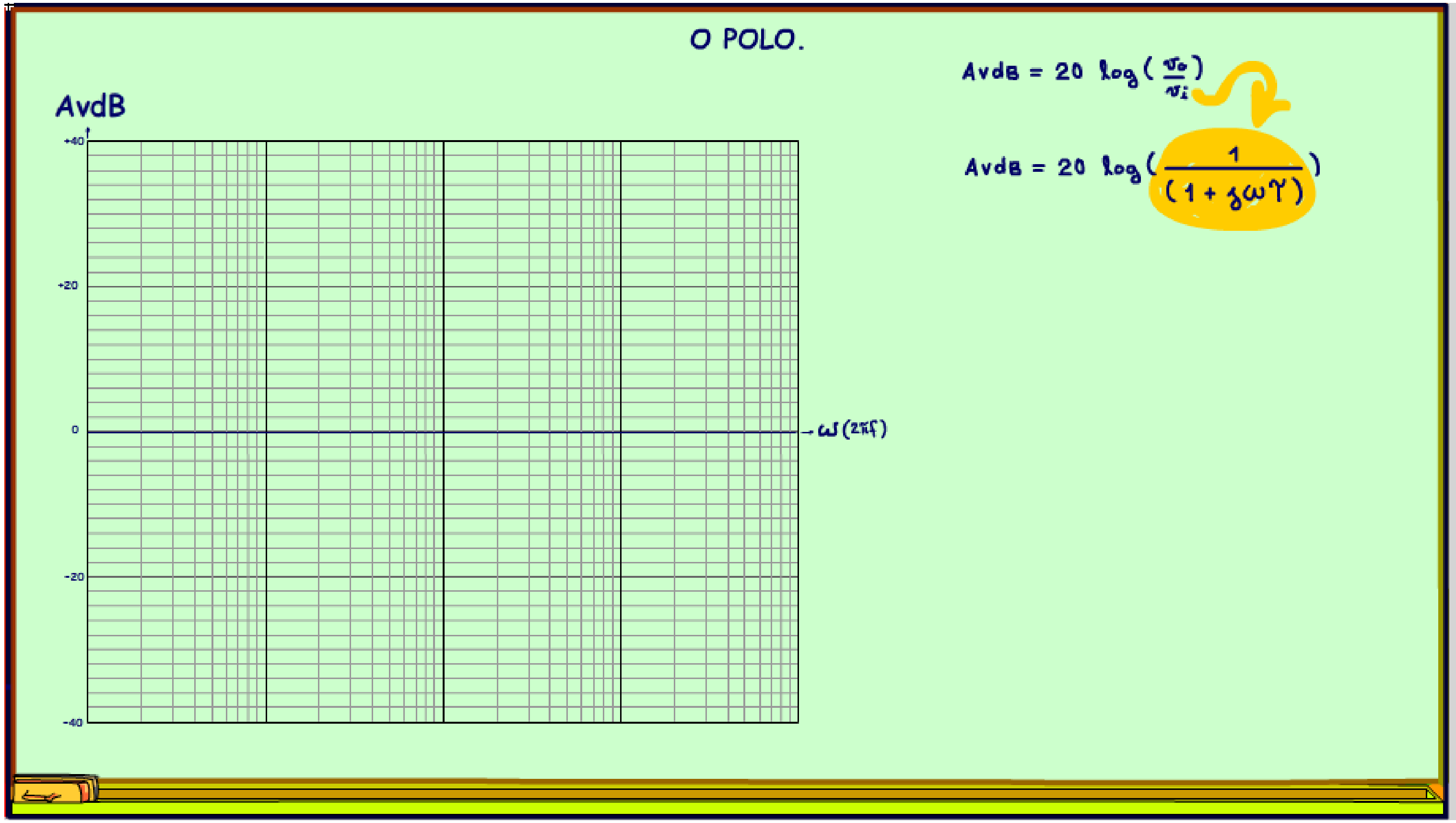


Figura 18

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E agora eu vou mostrar o padrão do gráfico do polo, é esse da figura.

Nessa primeira parte eu não vou mostrar como chegar nesse gráfico, mais tarde eu mostro, depois que você estiver usando o gráfico, depois que você ver como é simples usar o gráfico, afinal esse é o método de trás para frente.

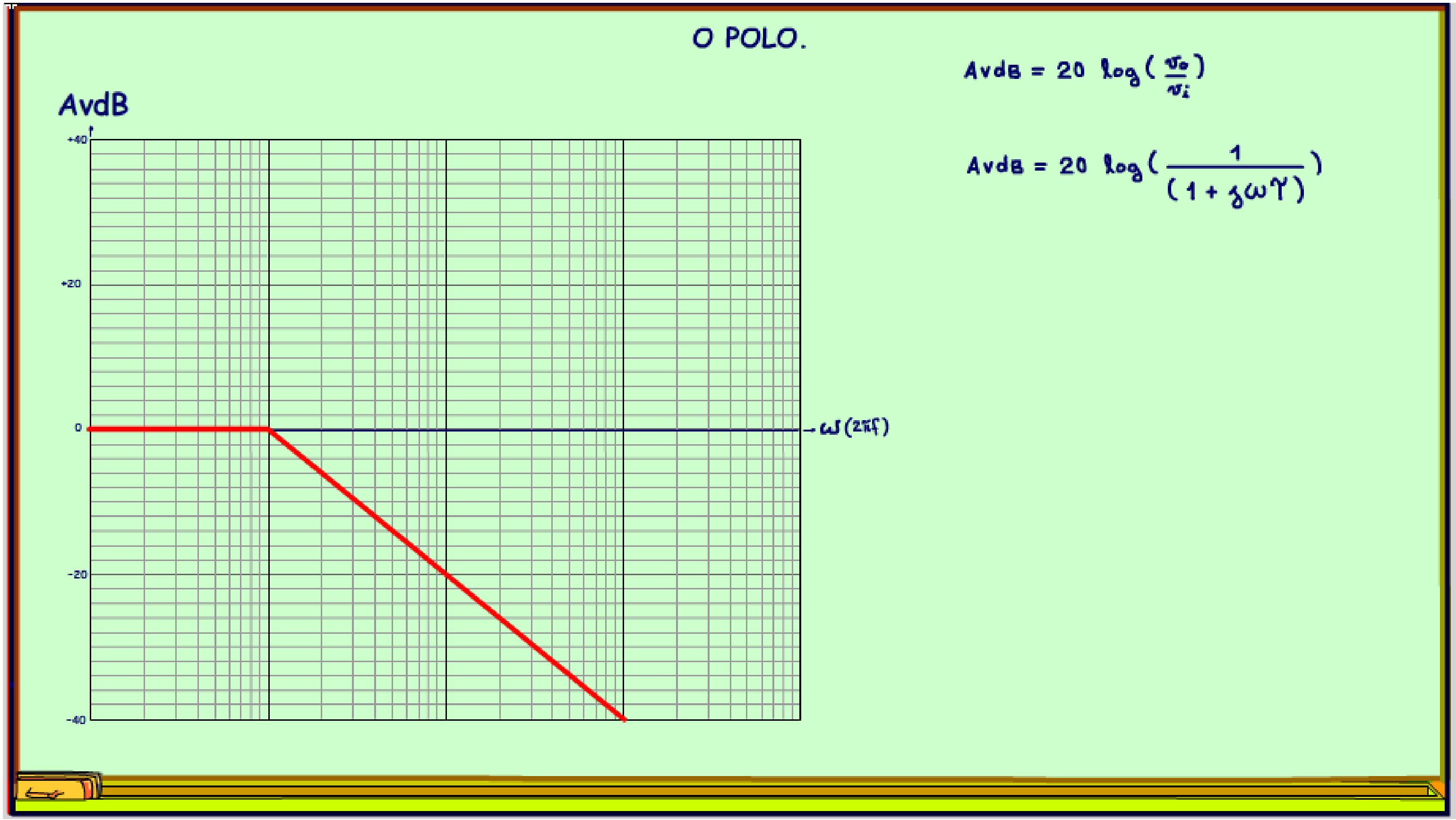


Figura 19

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Sim, é o nosso conhecido passa baixo, veja agora os detalhes do gráfico.

Primeiro esse ponto de quebra, essa quebra no gráfico vai ocorrer exatamente no ponto onde o valor da frequência angular wc é igual a frequência de corte.

Então vou escrever lá na base o wc, que você já sabe vale 2pif, esse "c" é de corte.

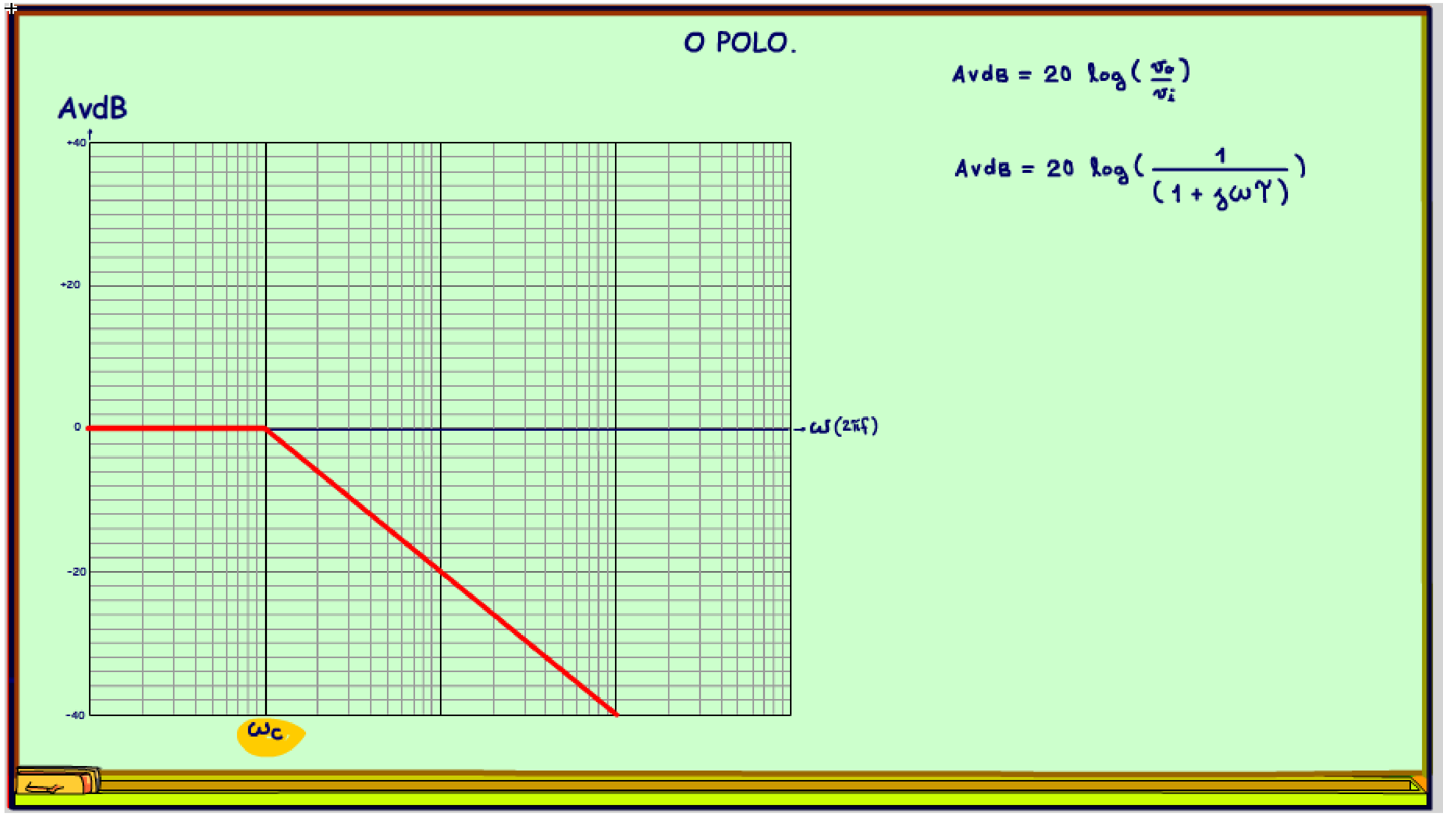


Figura 20

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Nas frequências abaixo da frequência de corte o ganho em db é zero, mas cuidado é ganho é em db, o ganho em db igual a zero significa que a tensão que entra é igual a tensão que saí, já veremos num exemplo.

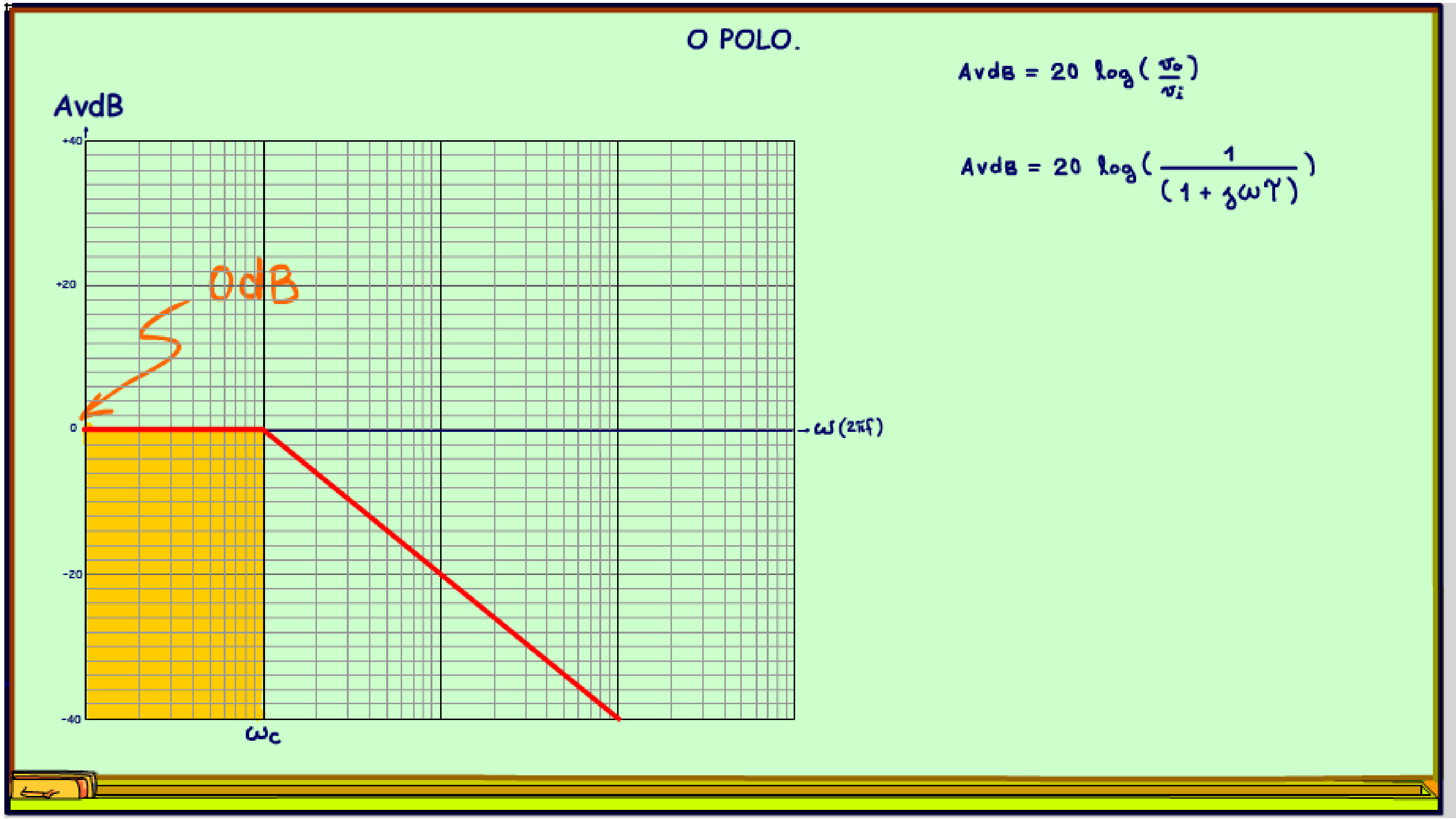


Figura 21

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Nas frequências acima da frequência de corte o ganho vai caindo, isso é o sinal vai sendo atenuado.

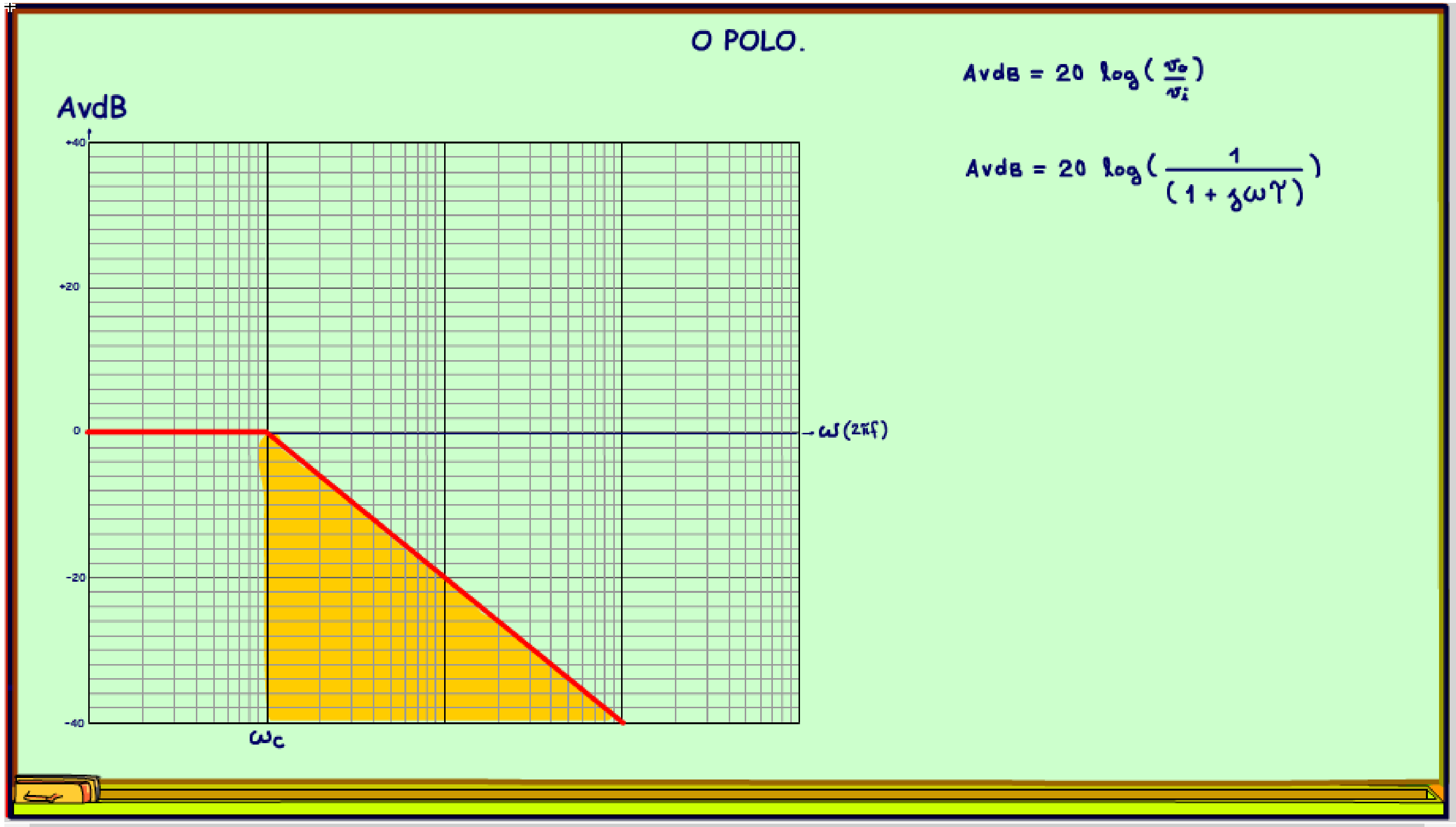


Figura 22

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E mais vai caindo num compasso preciso, 20 db por década, isso é, cada vez que a frequência for multiplicada por 10, o ganho cai 20 db, veja na figura o ponto em que a frequência do sinal de entrada vale 10 vezes a frequência de corte.

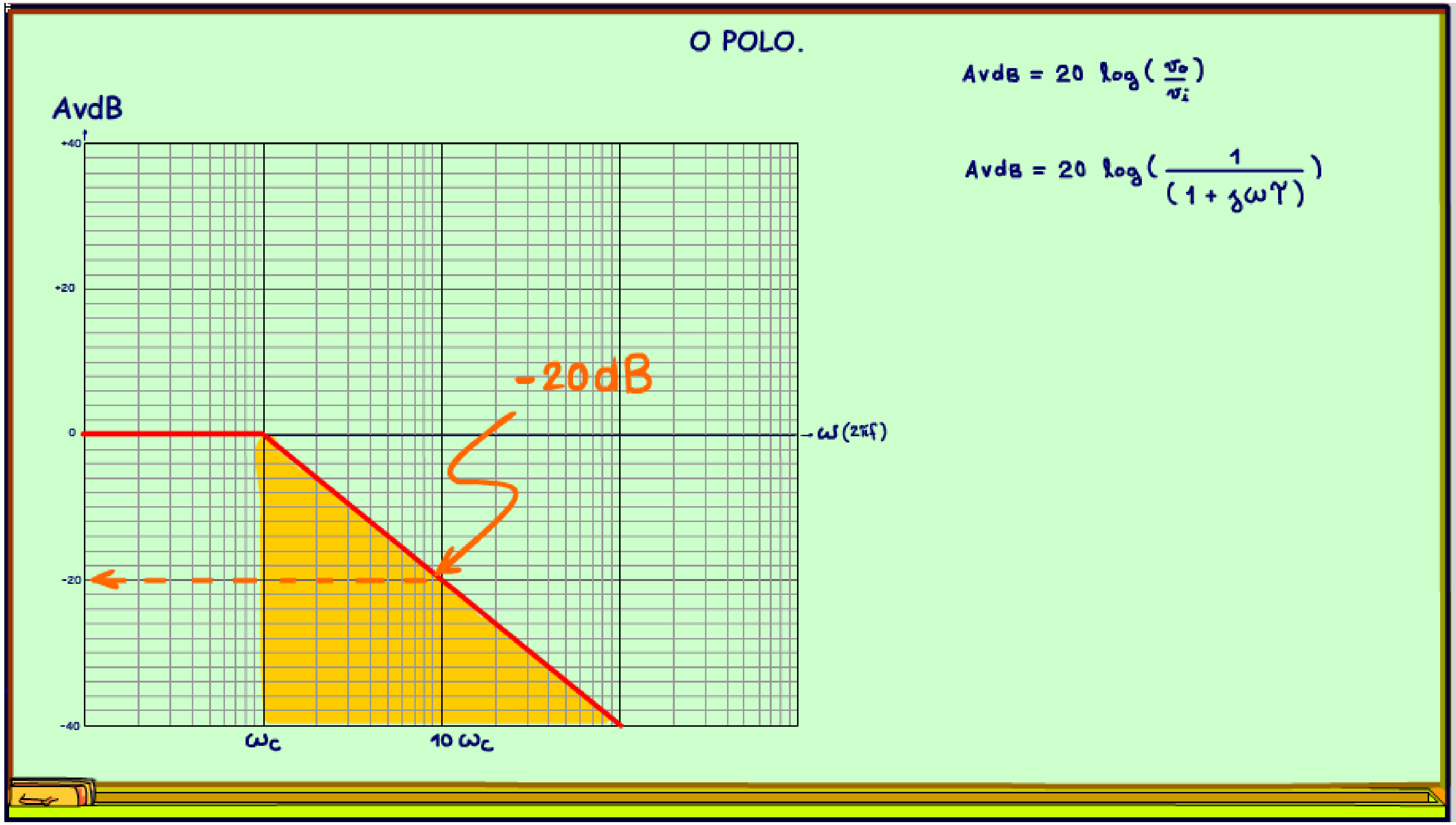


Figura 23

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Se olhar o ponto com a frequência 10 vezes acima, isso 100 vezes a frequência de corte, o ganho caiu para menos 40 dB, mantendo o ritmo de 20 db por década!

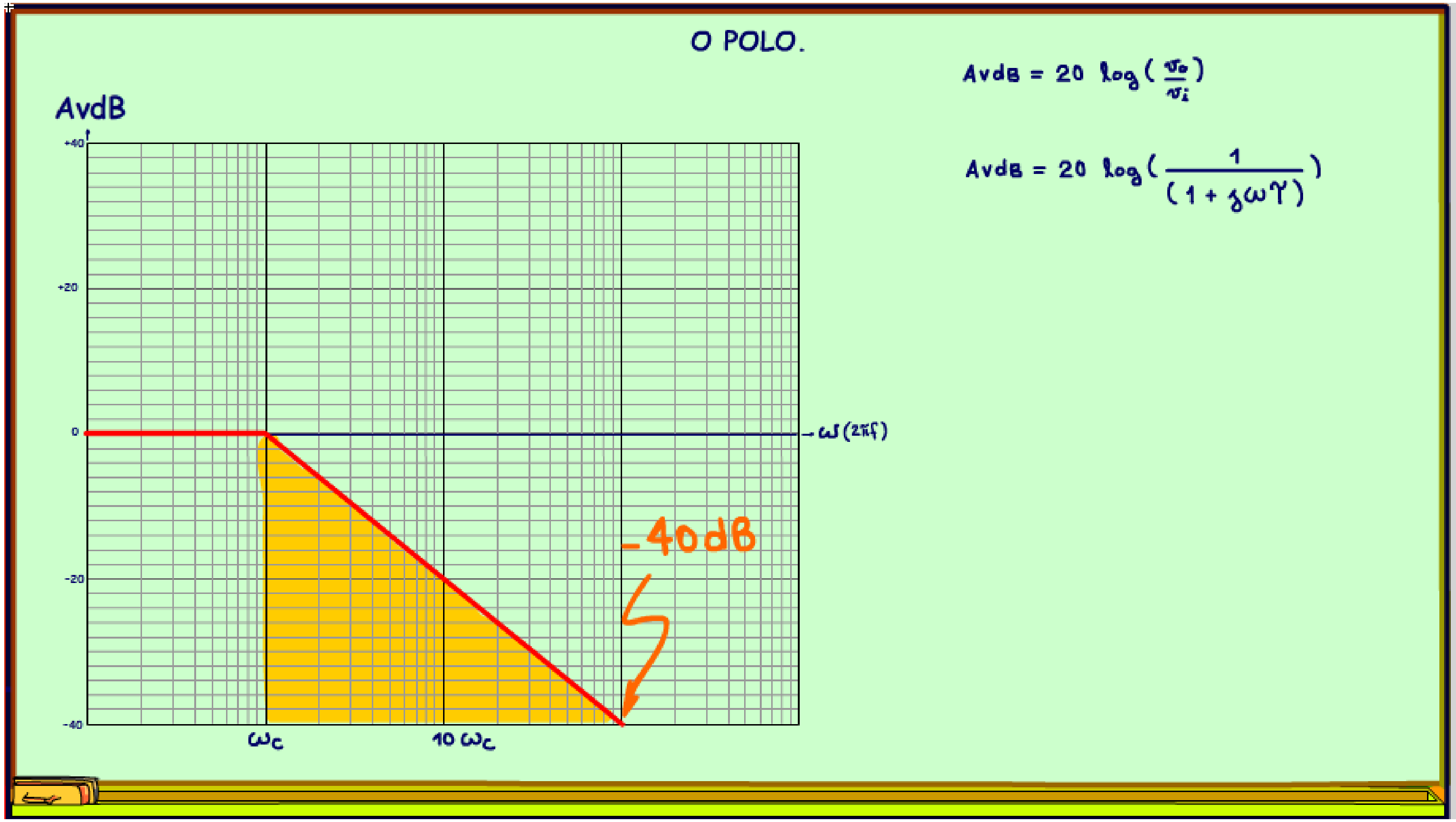


Figura 24

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Então, essa é uma das principais características desse tipo de gráfico, depois da frequência de corte é gerado uma reta com a inclinação de -20db por década, você vai ouvir falar muito isso nos filtros, agora você já sabe o porquê, é o padrão do polo.

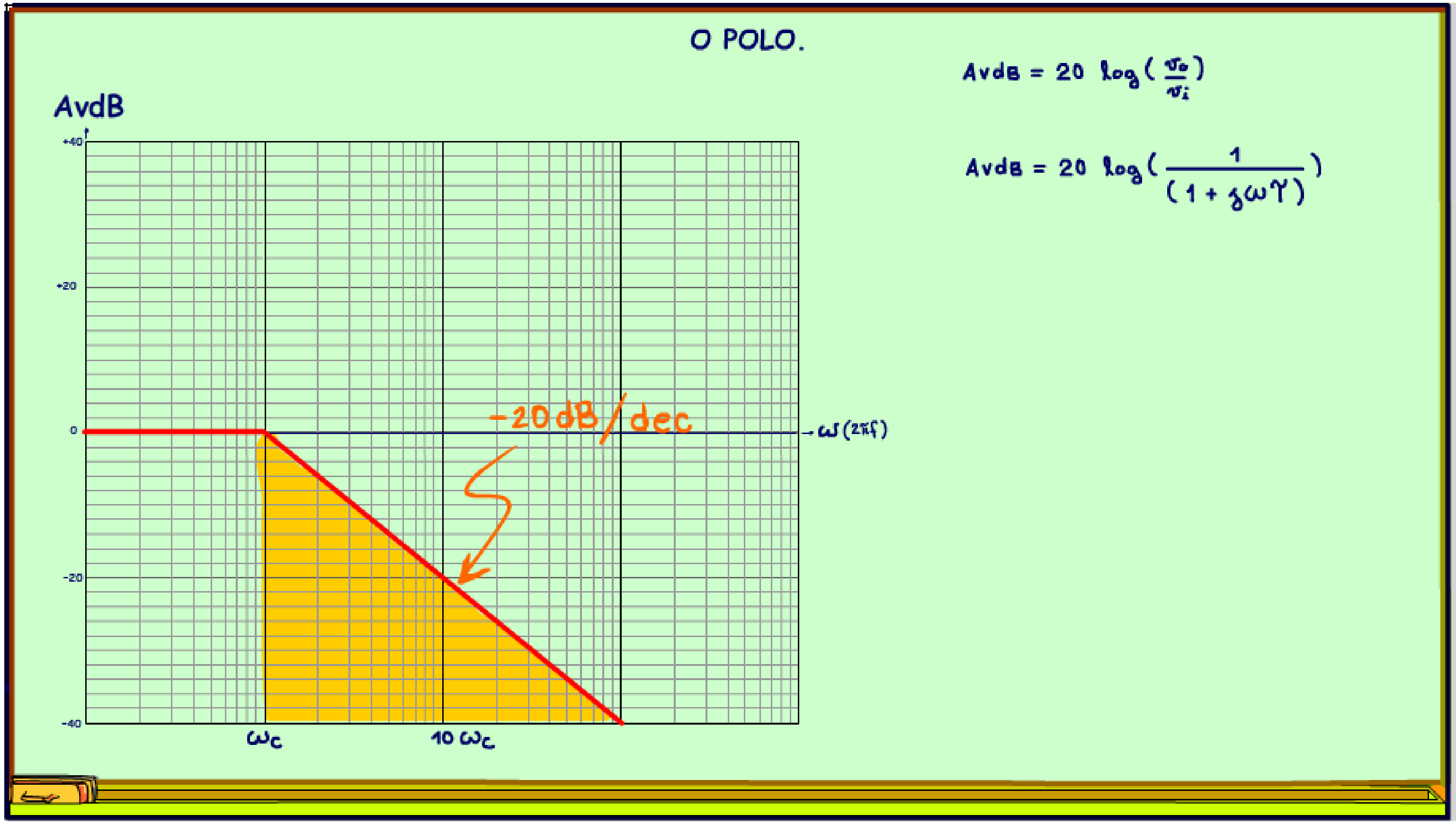


Figura 25

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Aqui vou abrir um parêntese, na verdade no ponto da frequência de corte o ganho é menos 3dB, mas o gráfico padrão desconsidera esse pequeno errinho e considera que o ganho é zero até o ponto de quebra, se fica mais fácil desenhar o gráfico assim não vamos reclamar, não é mesmo?

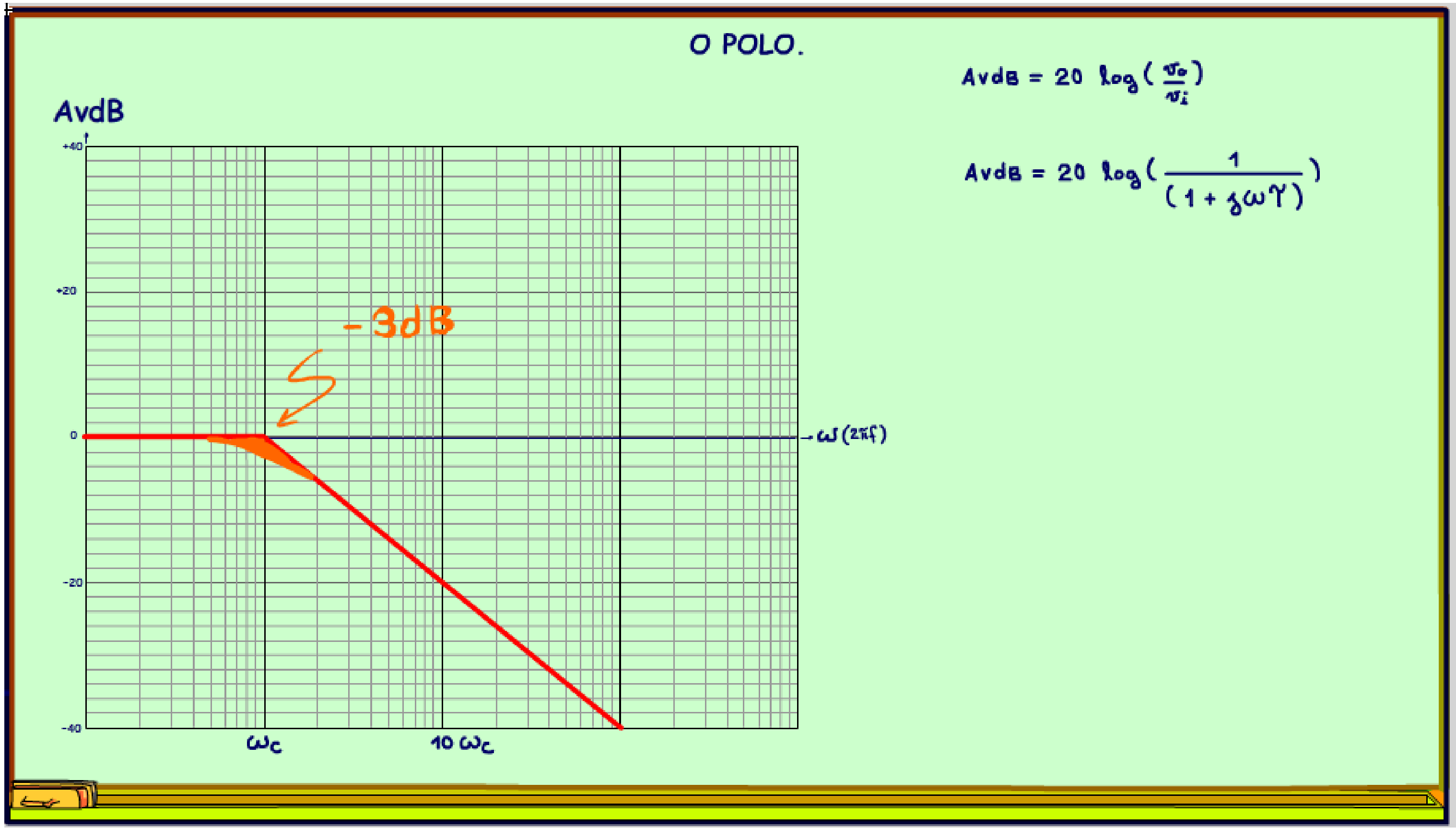


Figura 26

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E pronto, isso é tudo sobre o polo, não podia ser mais simples.

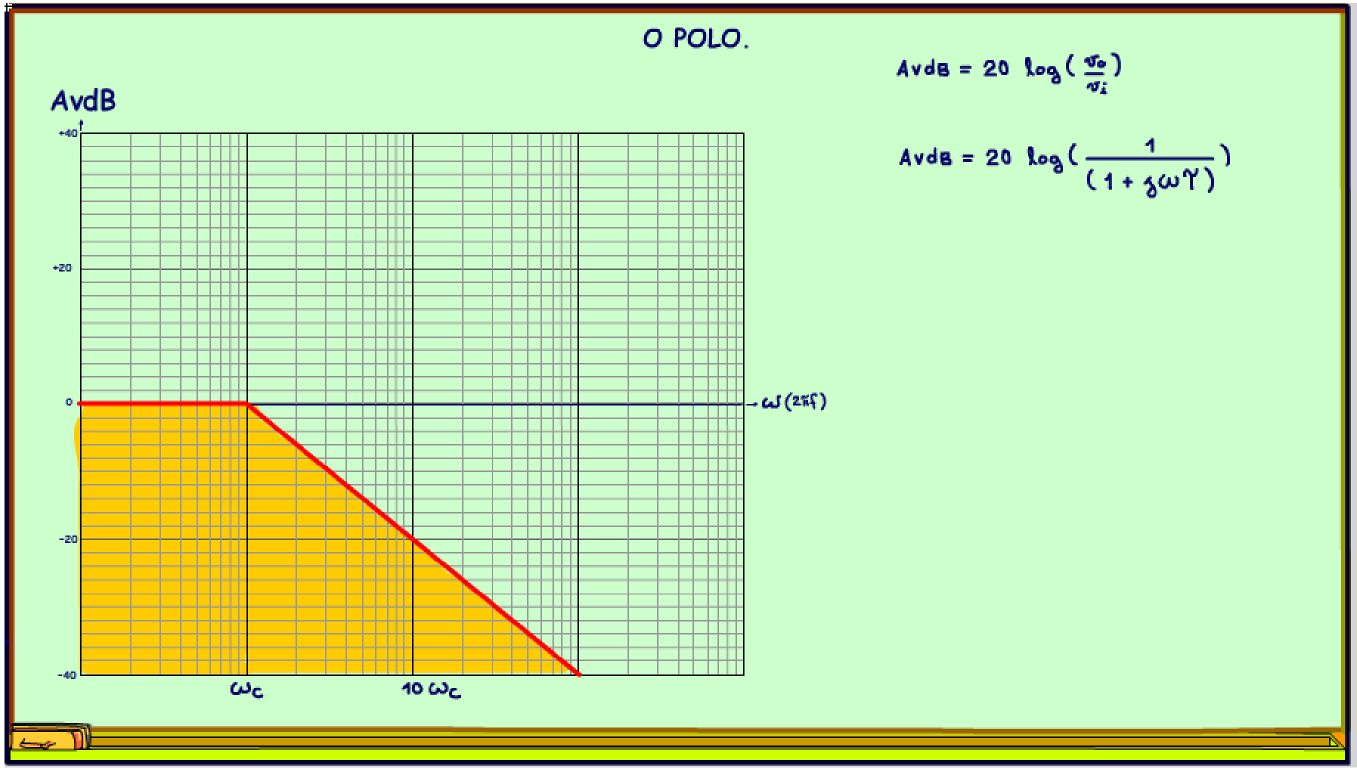


Figura 27

1.3 O Zero.

Agora vou mostrar o padrão para o zero, veja a equação do zero, nesse o caso o termo fica posicionado no numerador da equação do ganho, vamos ver o que isso implica?

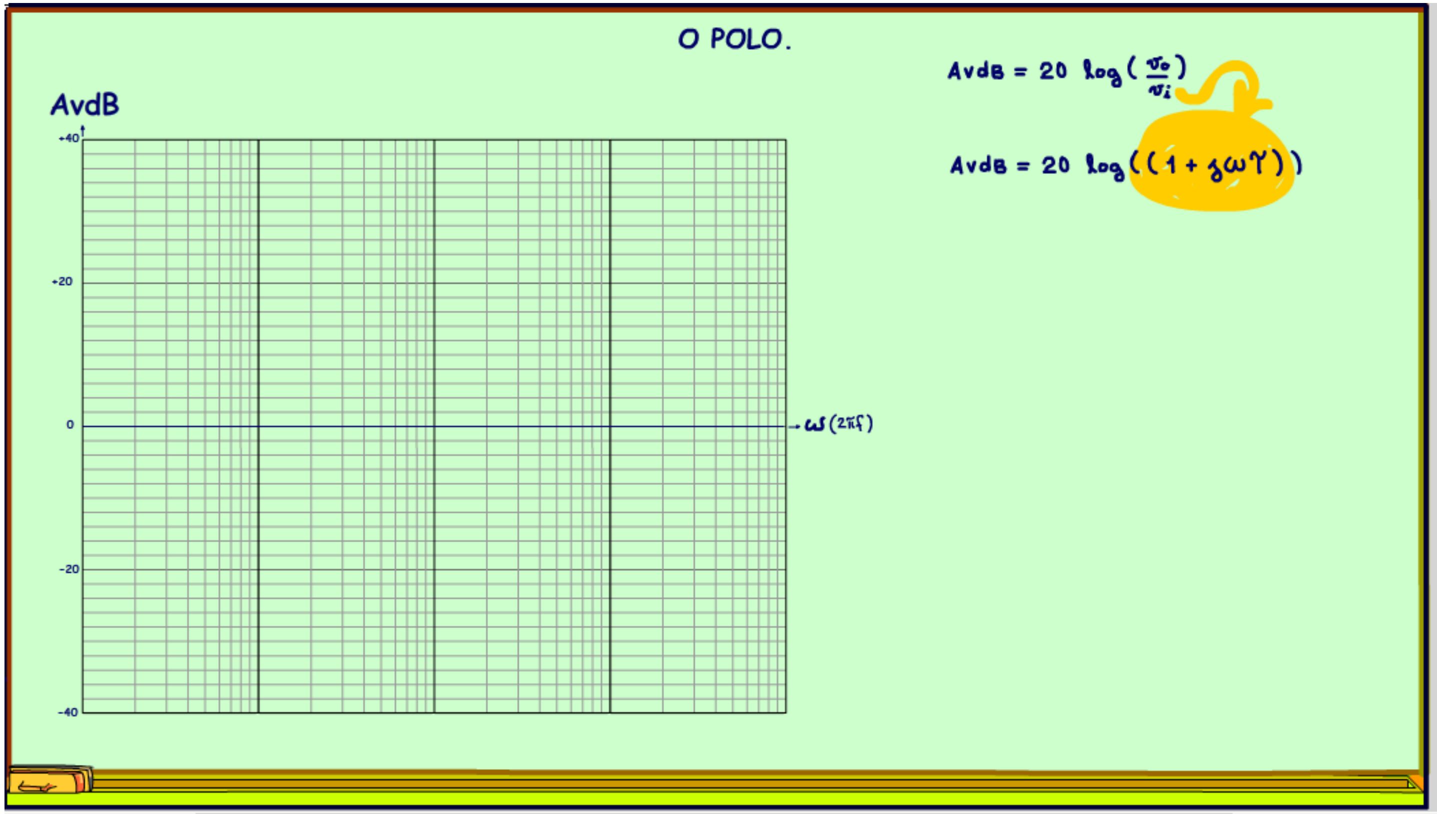


Figura 28

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Veja agora como fica o gráfico, é o inverso do polo, muito fácil.

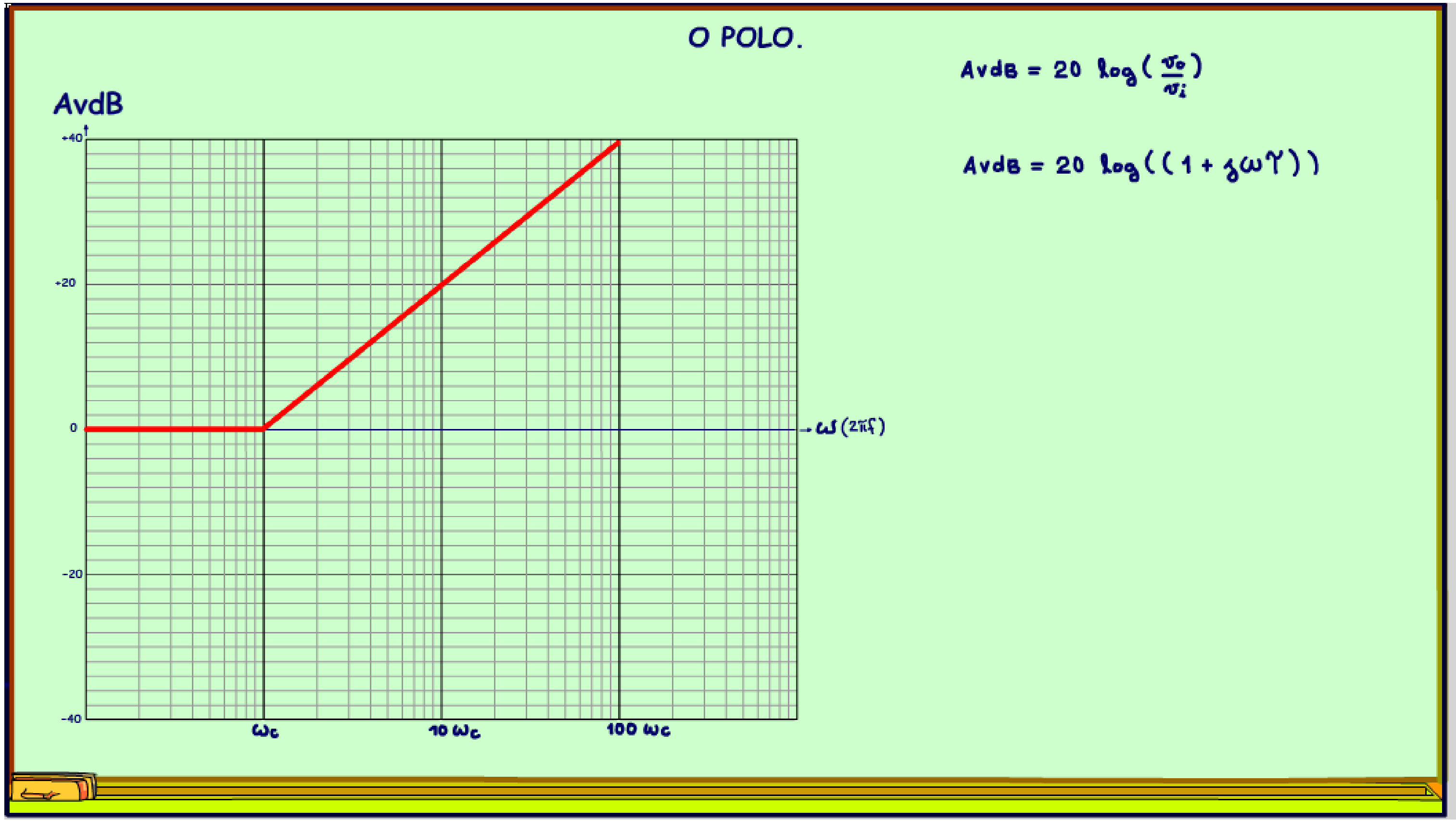


Figura 29

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

A quebra se dá na frequência de corte, exatamente como no polo

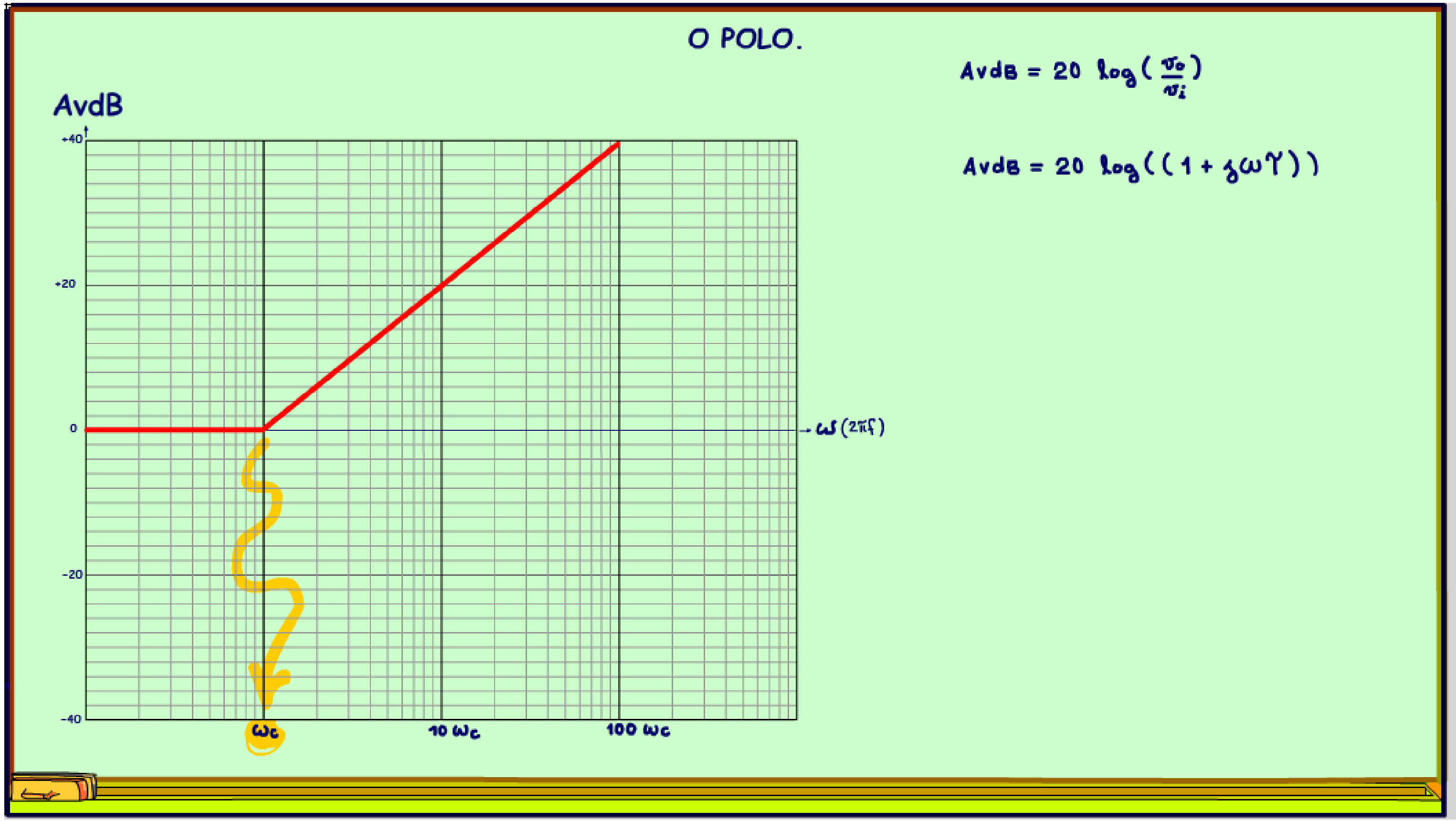


Figura 30

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Abaixo da frequência de corte o ganho é zero, igualzinho ao polo.

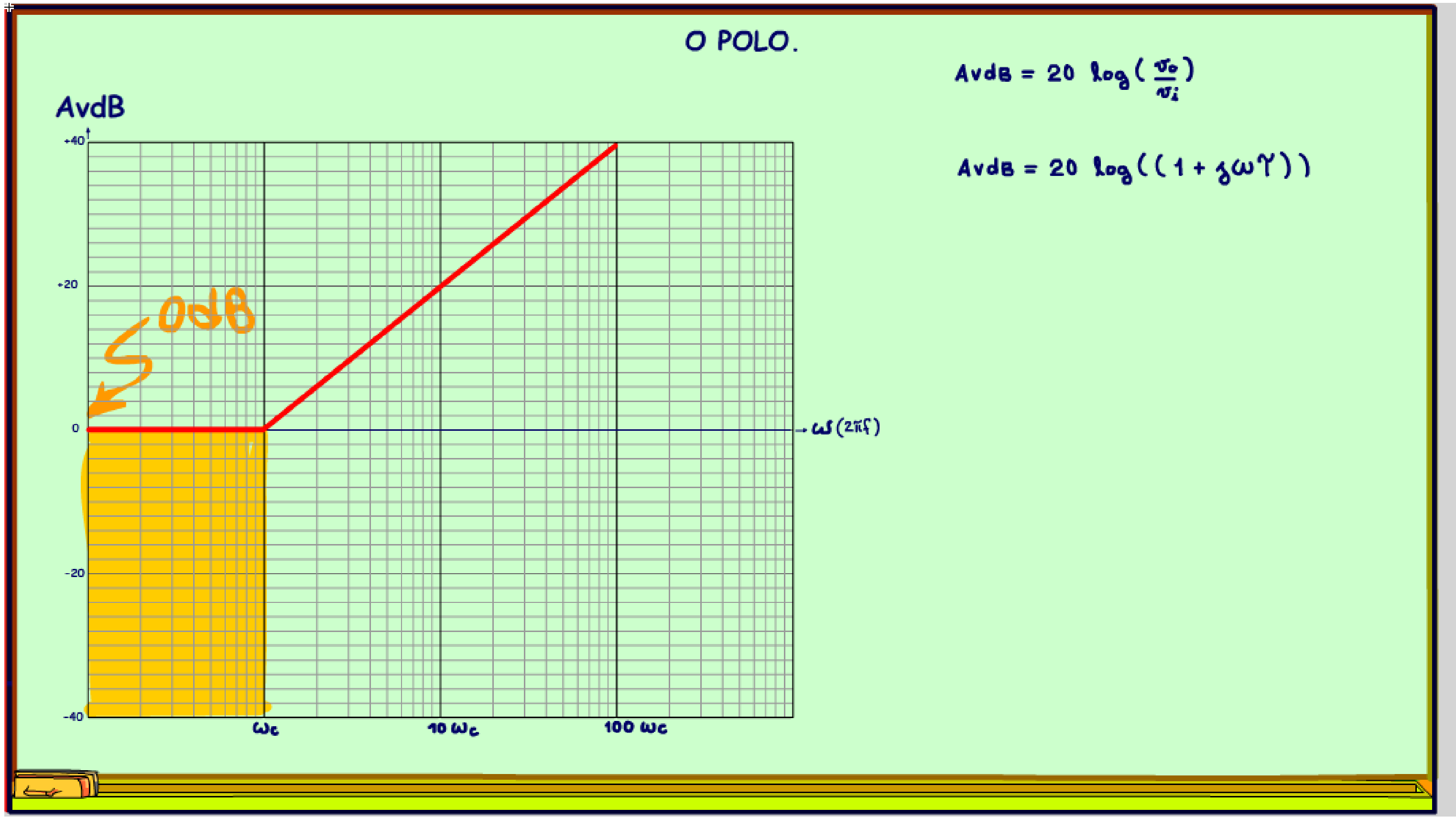


Figura 31

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Acima da frequência de corte há um reforço, então esse gráfico se parece com um filtro passa alto.

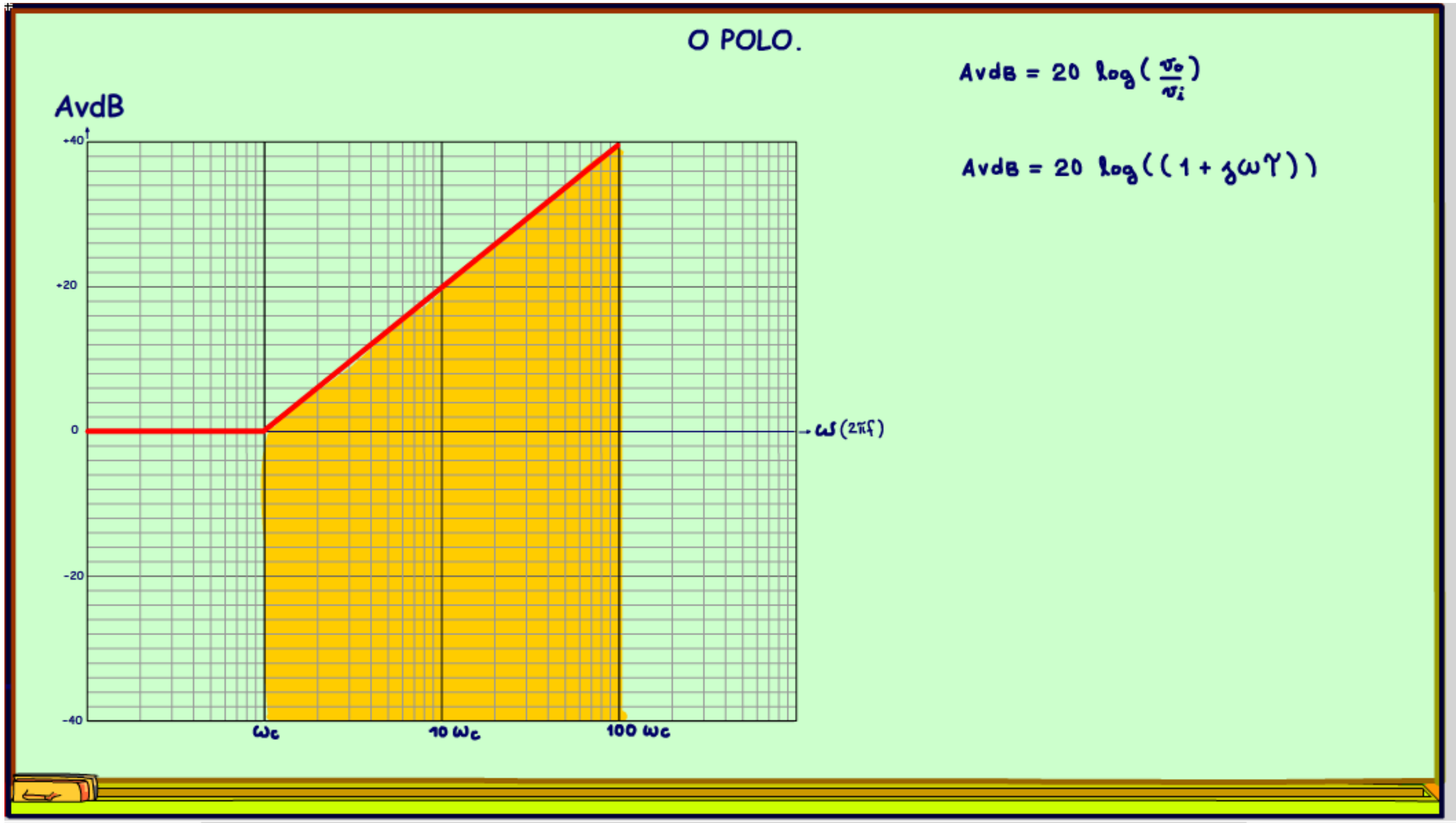


Figura 32

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E note que a inclinação é de mais 20 db por década, similar a inclinação do polo, mas no polo o gráfico desce, e no zero o gráfico sobe.

Então, não tem segredo.

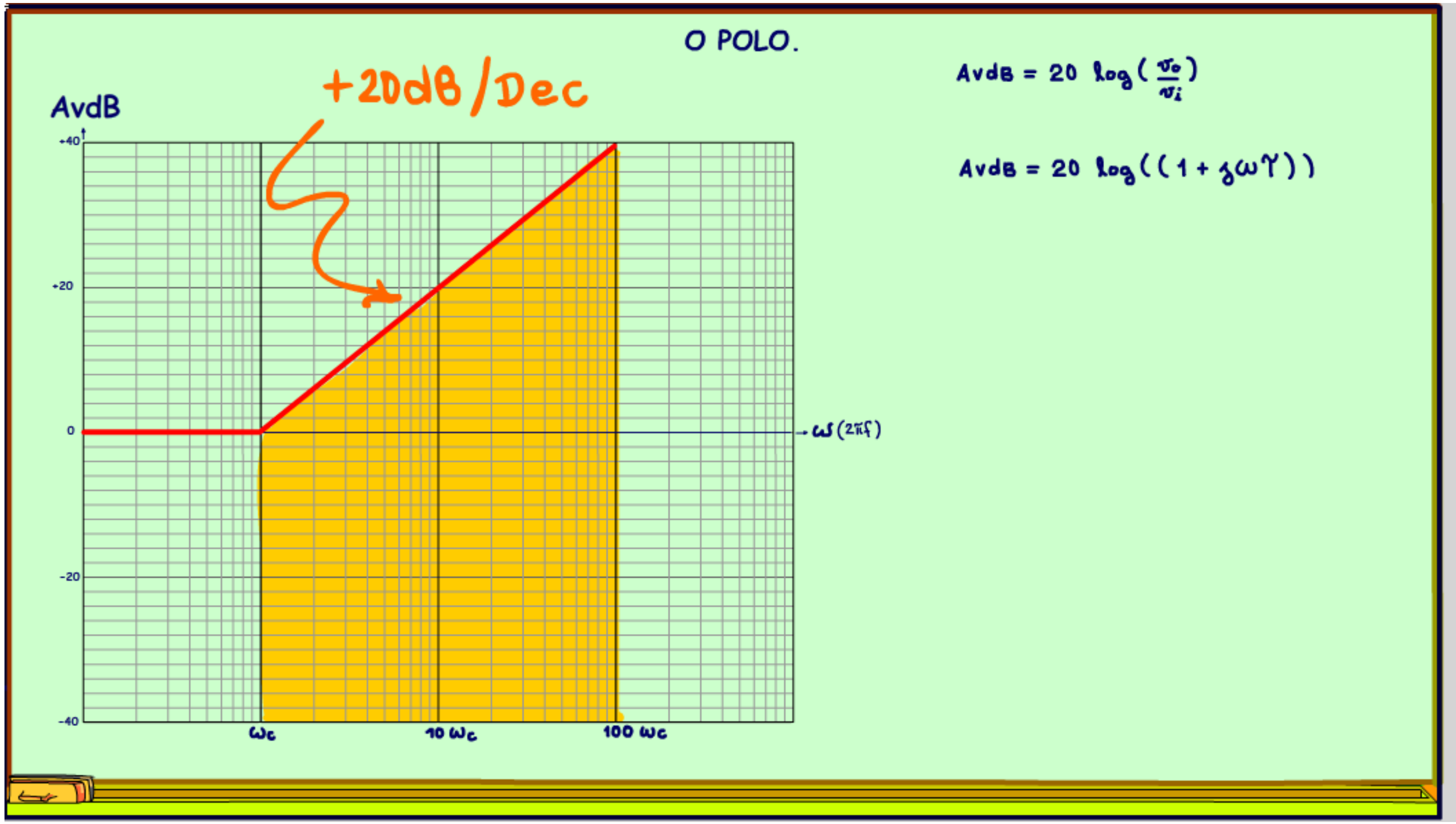


Figura 33

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E pronto, isso é tudo sobre o zero, não podia ser mais simples.

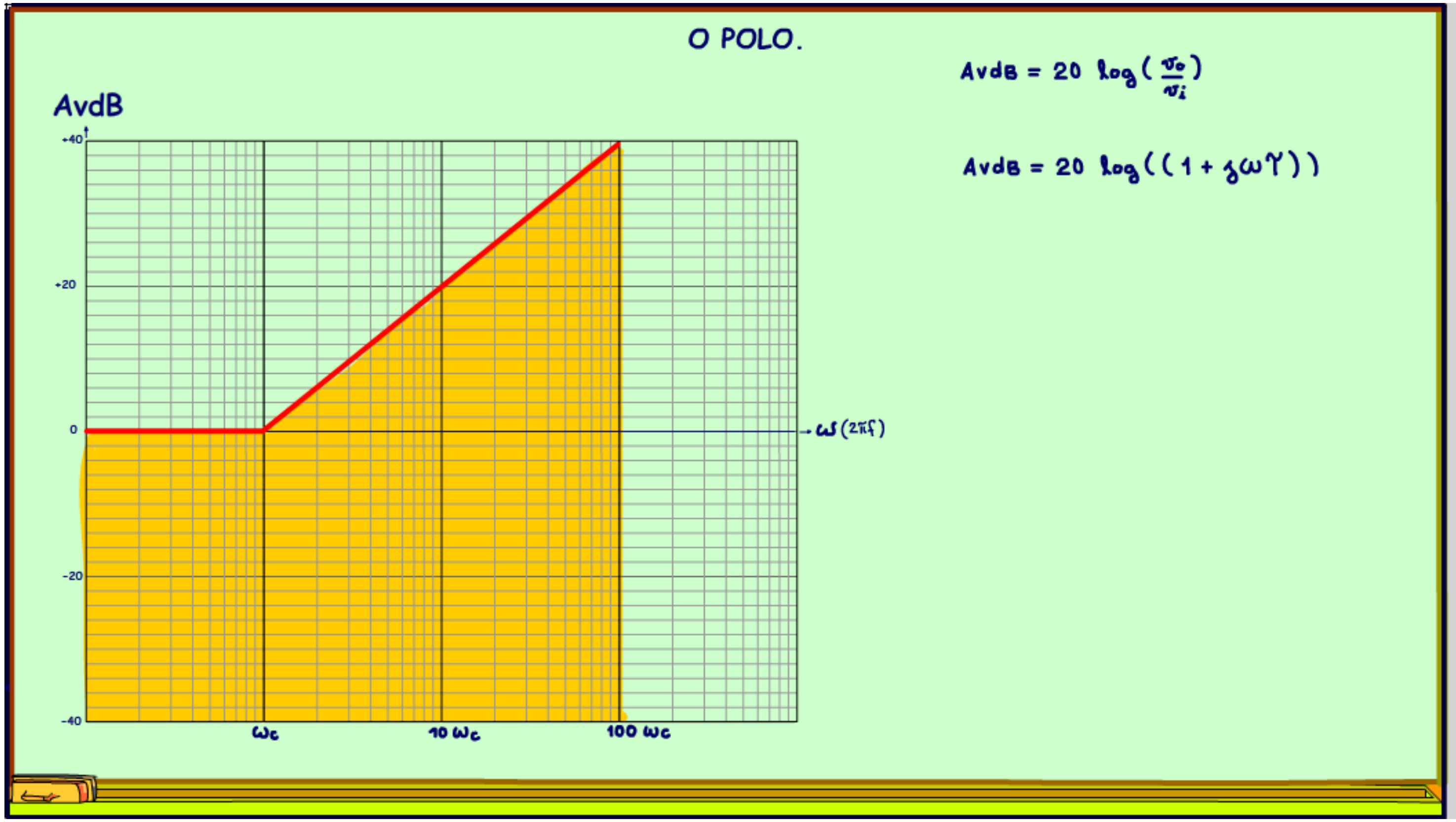


Figura 34

1.4 O POLO NA ORIGEM.

Agora vou mostrar três casos bem particulares, mas muito simples!

O primeiro é o polo na origem.

Veja na figura.

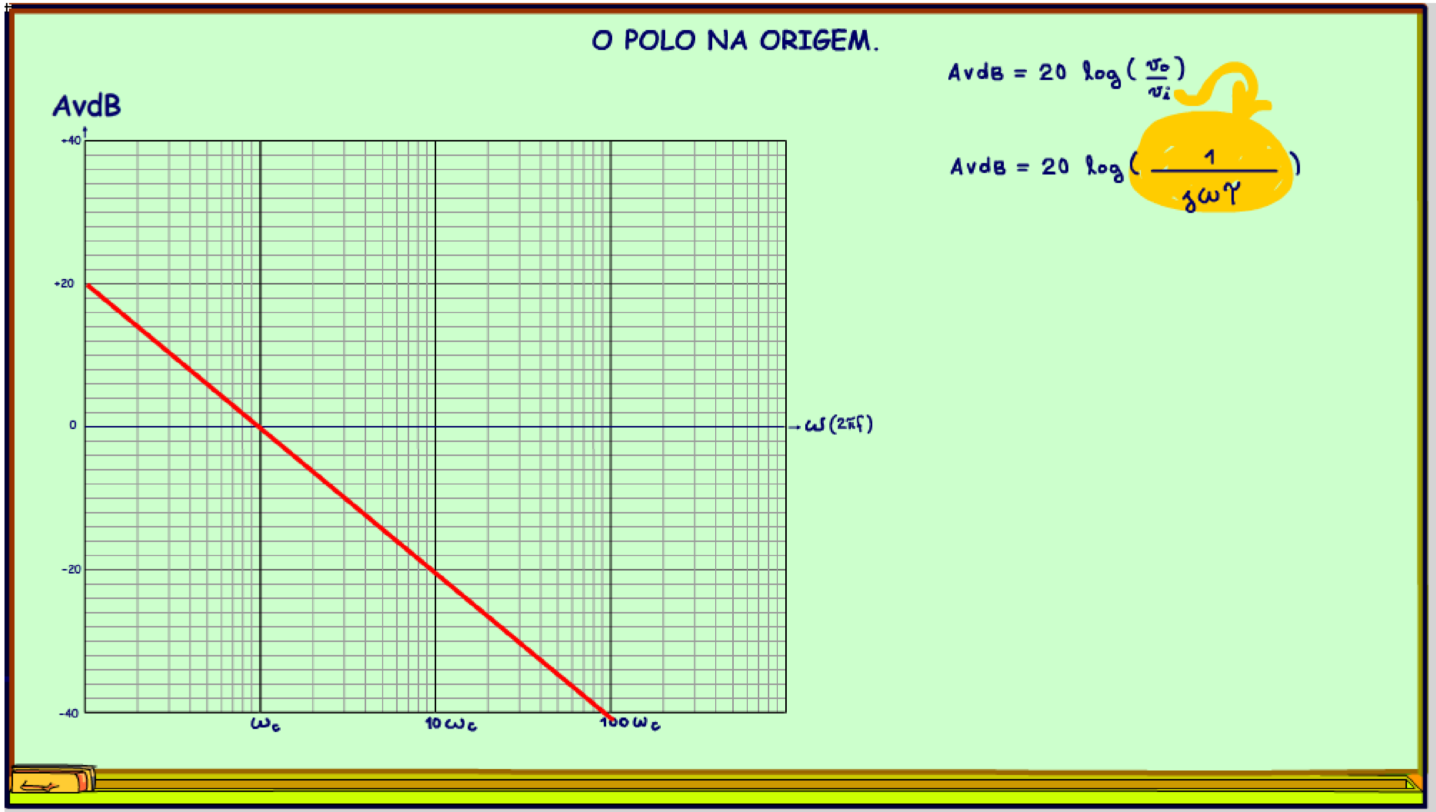


Figura 35

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Veja a equação do ganho é muito simples, é um polo sem a parte real.

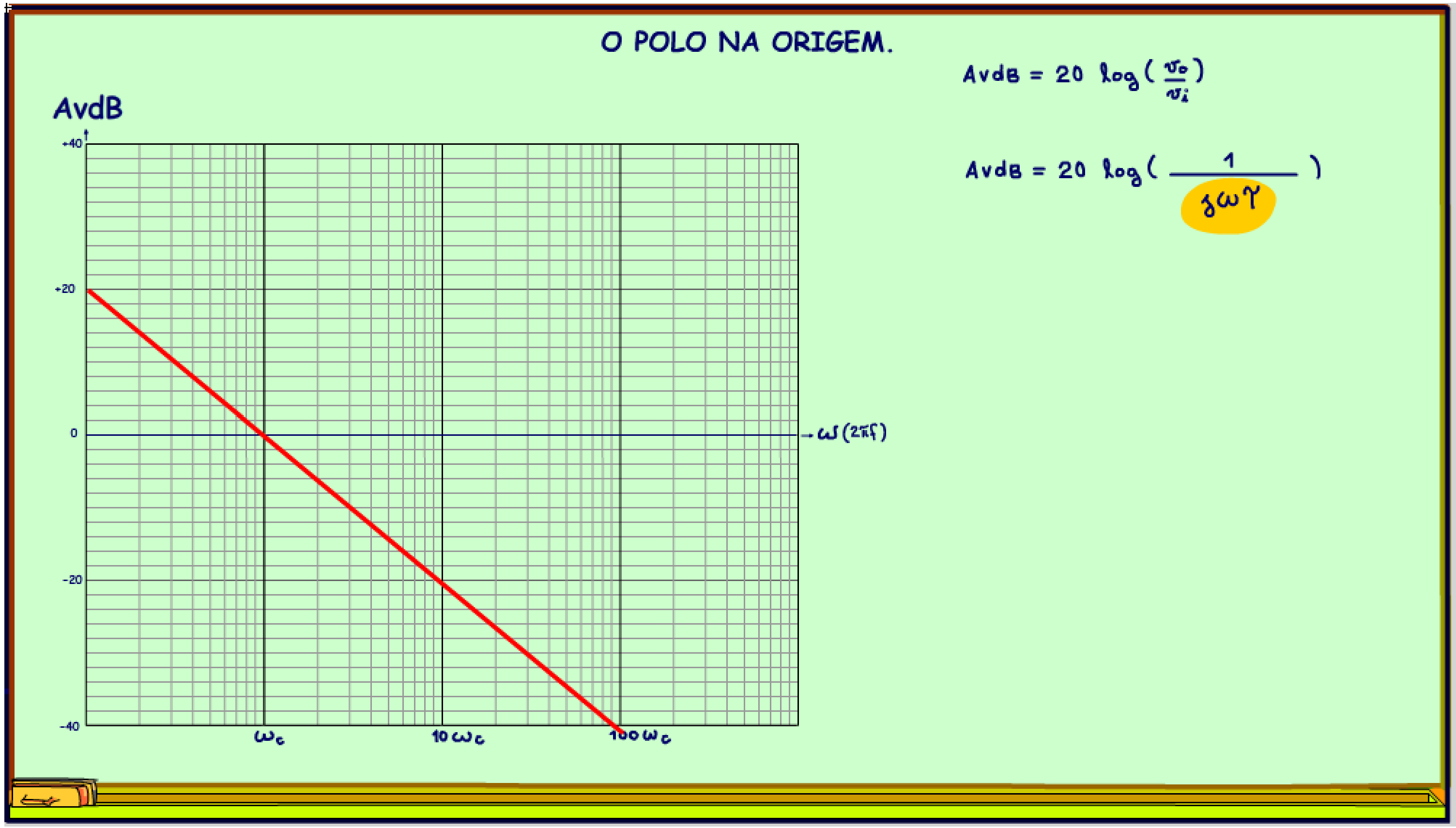


Figura 36

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

No gráfico a curva cruza o 0db bem na frequência de corte.

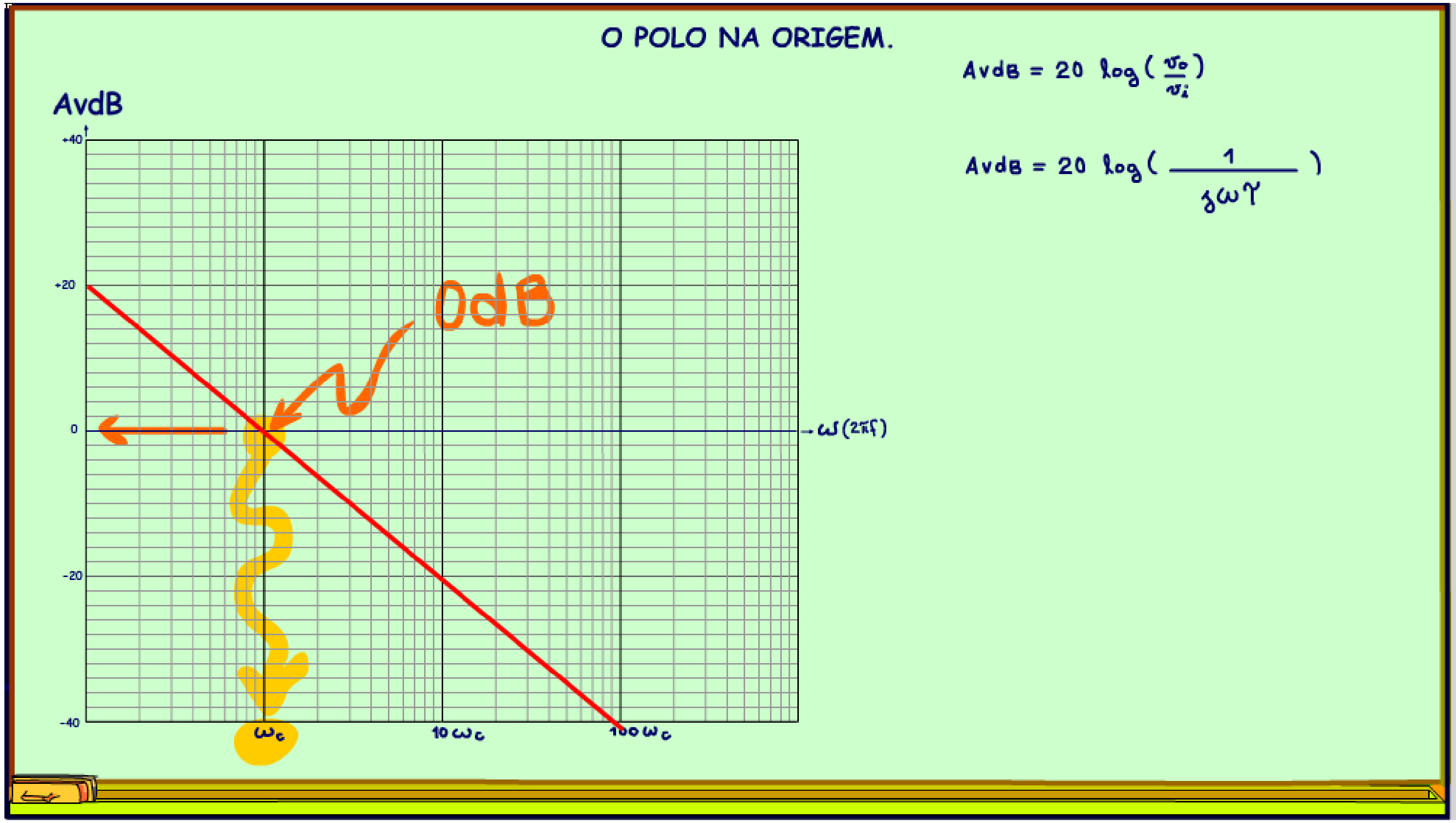


Figura 37

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Mas abaixo da frequência de corte o ganho não se mantém em zero, mas continua com a inclinação de menos 20 db, no polo na origem o gráfico desce sempre.

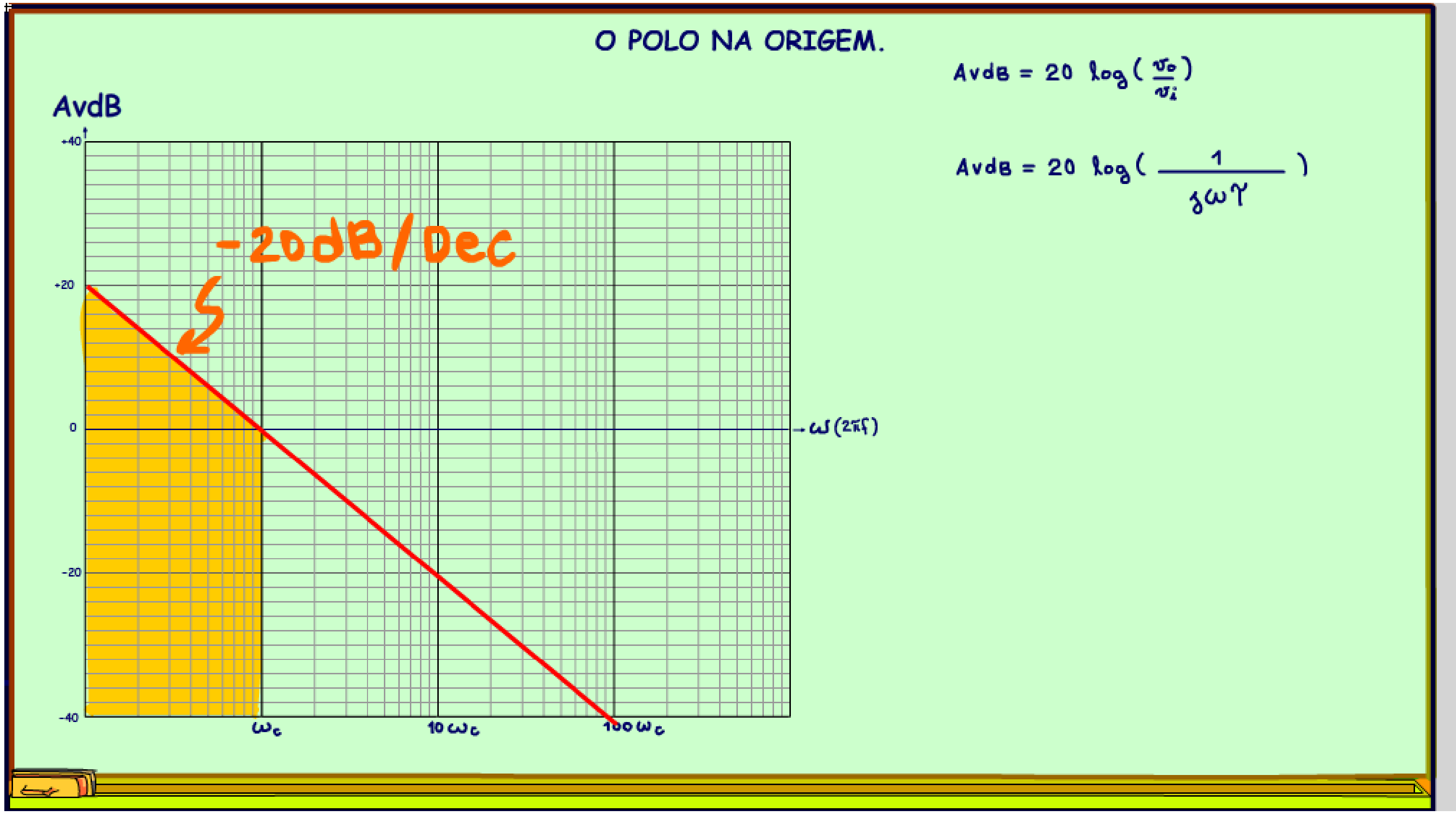


Figura 38

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E acima da frequência de corte não muda nada, a curva continua caindo 20 db por década e isso é tudo sobre o polo na origem.

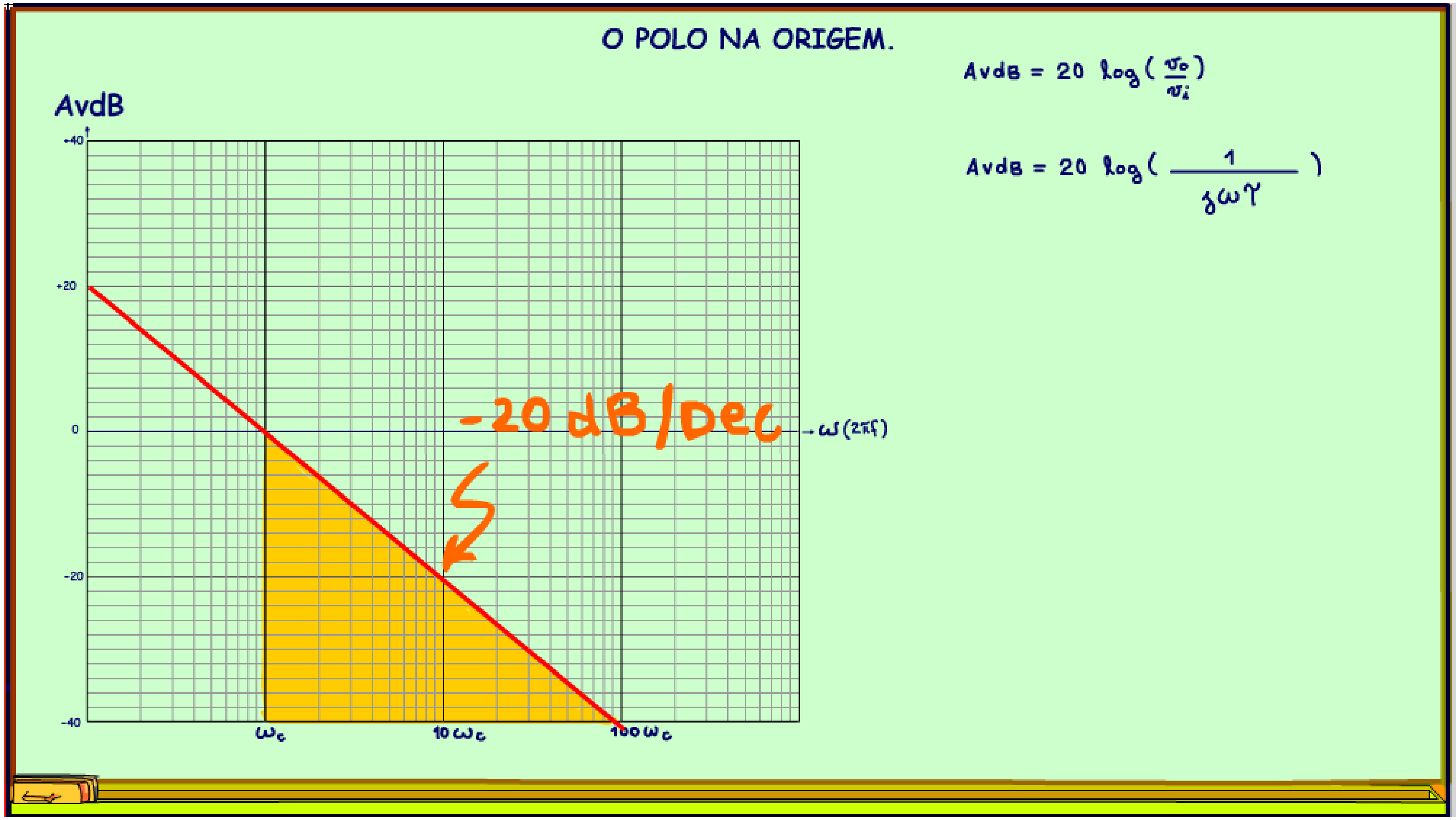


Figura 39

1.5 O ZERO NA ORIGEM.

Se tem um polo na origem, então tem um zero na origem, veja o gráfico e a equação.

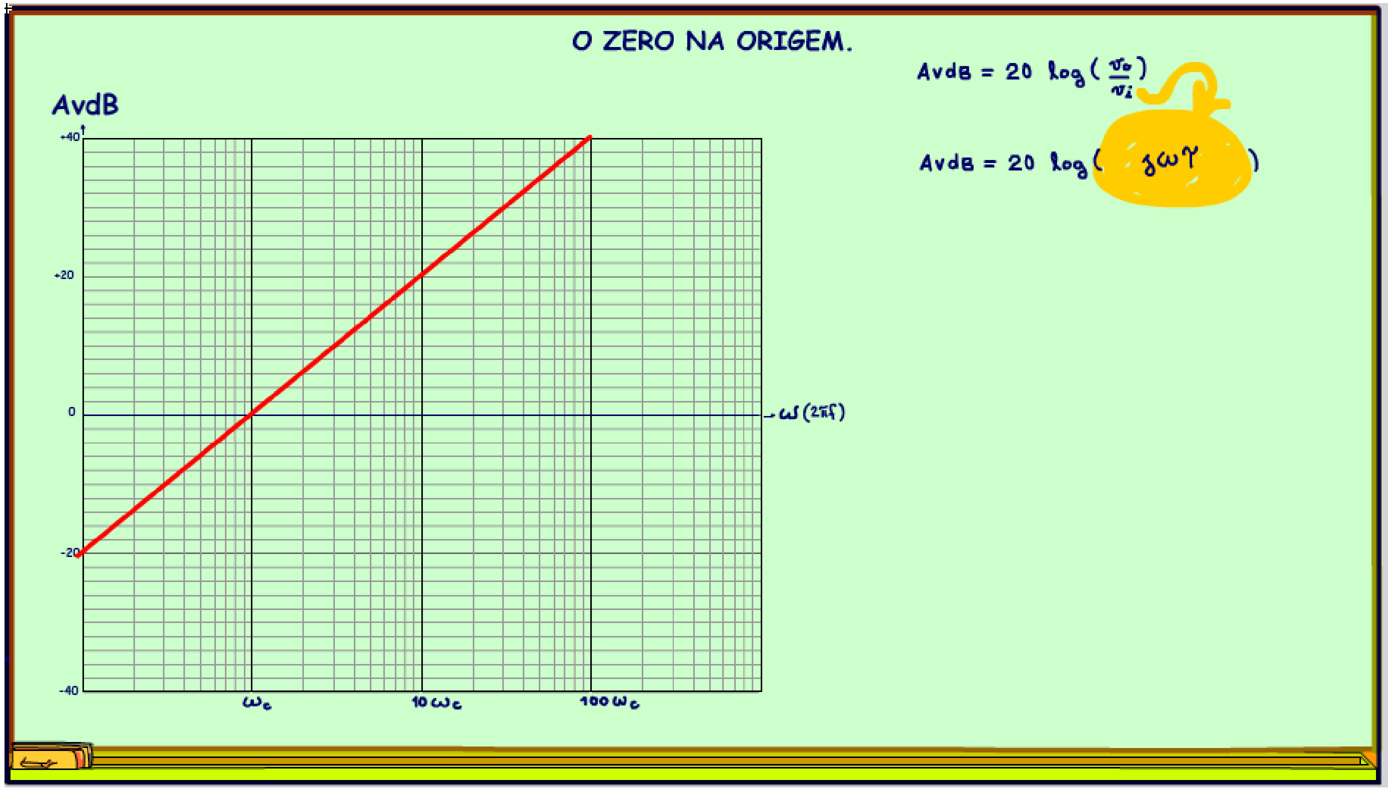


Figura 40

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Veja a equação do zero na origem, não tem parte real e está no numerador, o inverso do polo.

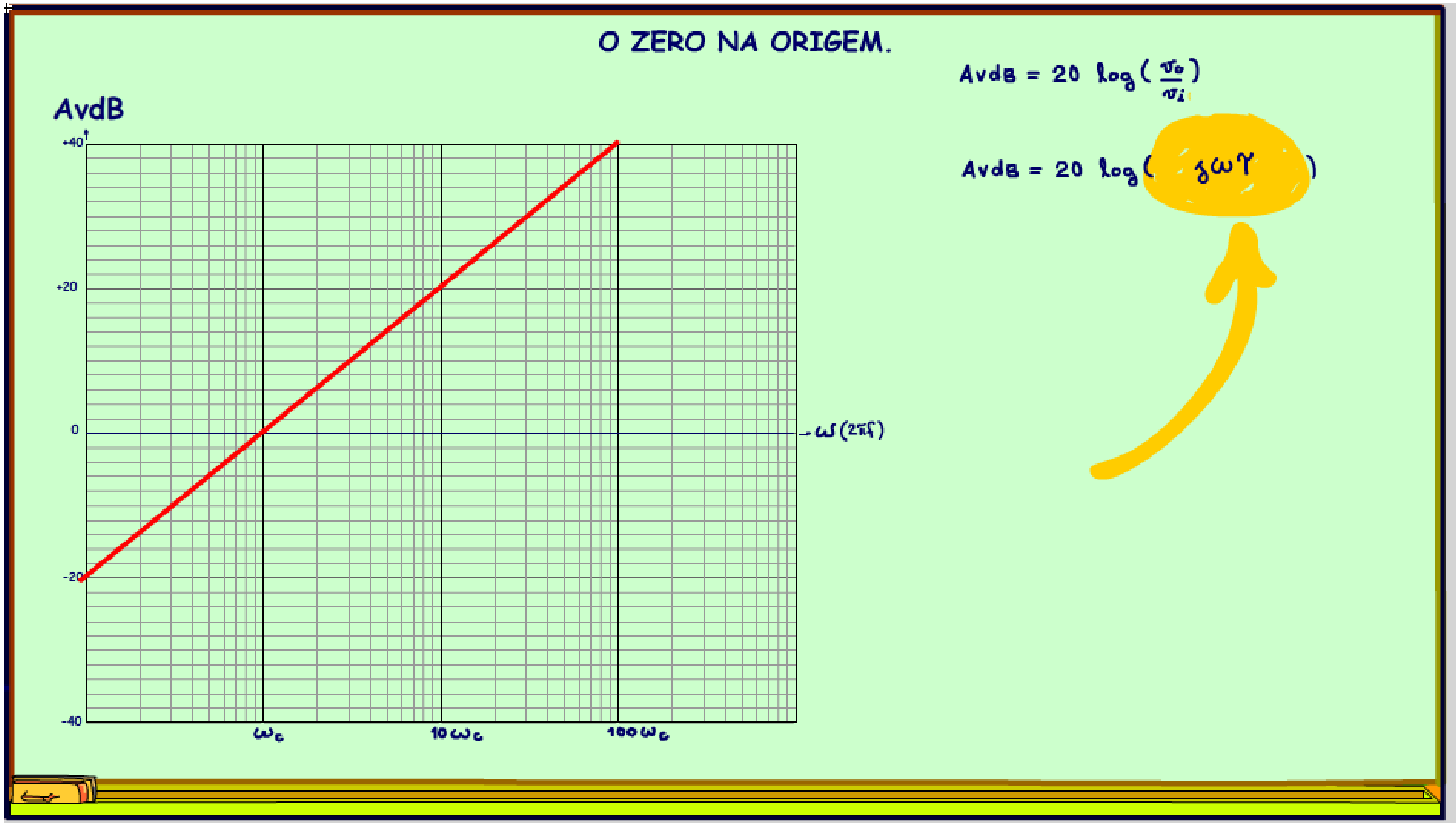


Figura 41

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Veja a reta é o inverso do polo, e a reta também passa por zero bem na frequência de corte.

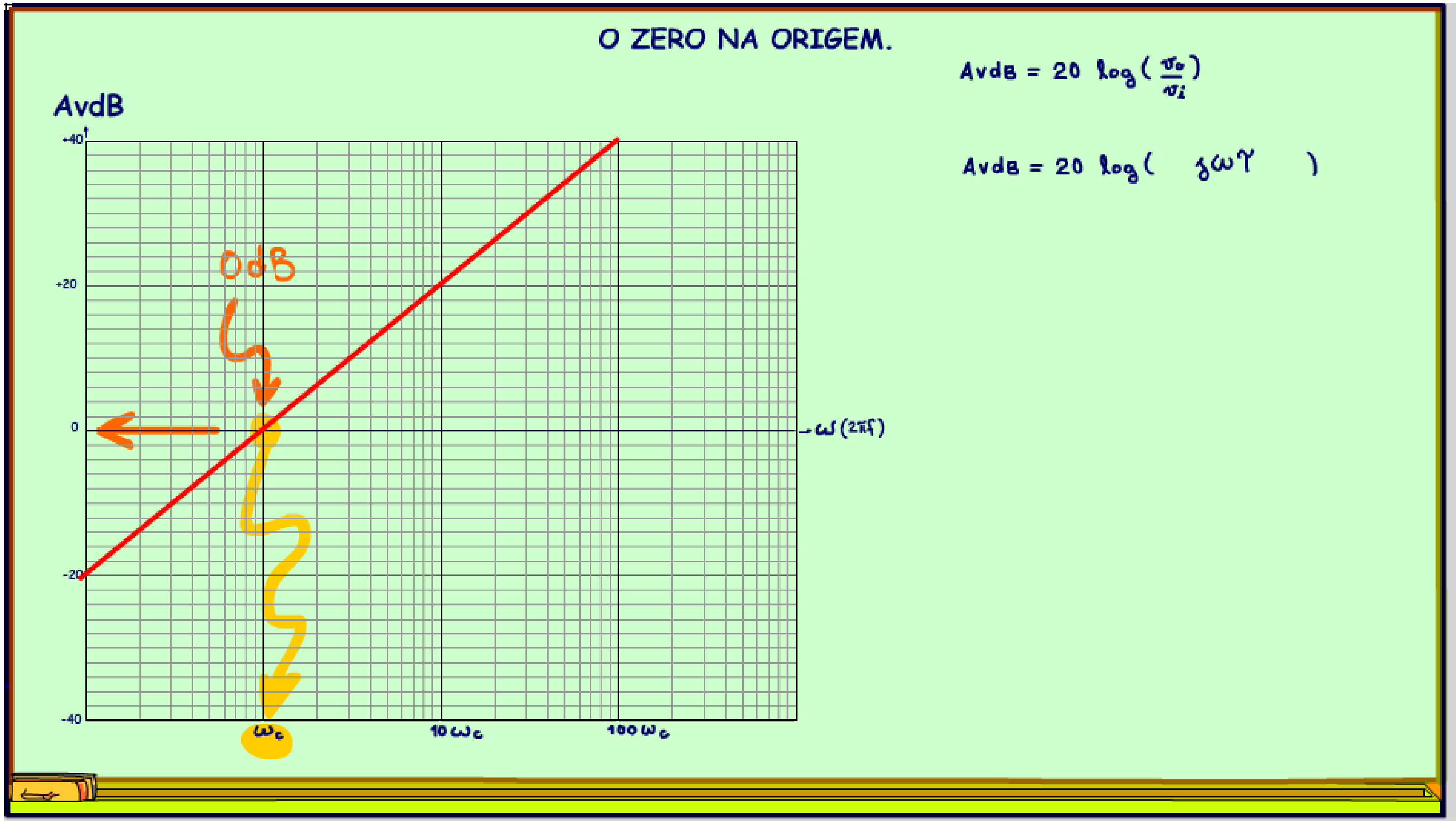


Figura 42

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E a reta tem uma inclinação de mais 20 db, antes e depois da frequência de corte, a reta sobe sempre.

E pronto isso é tudo para o zero na origem.

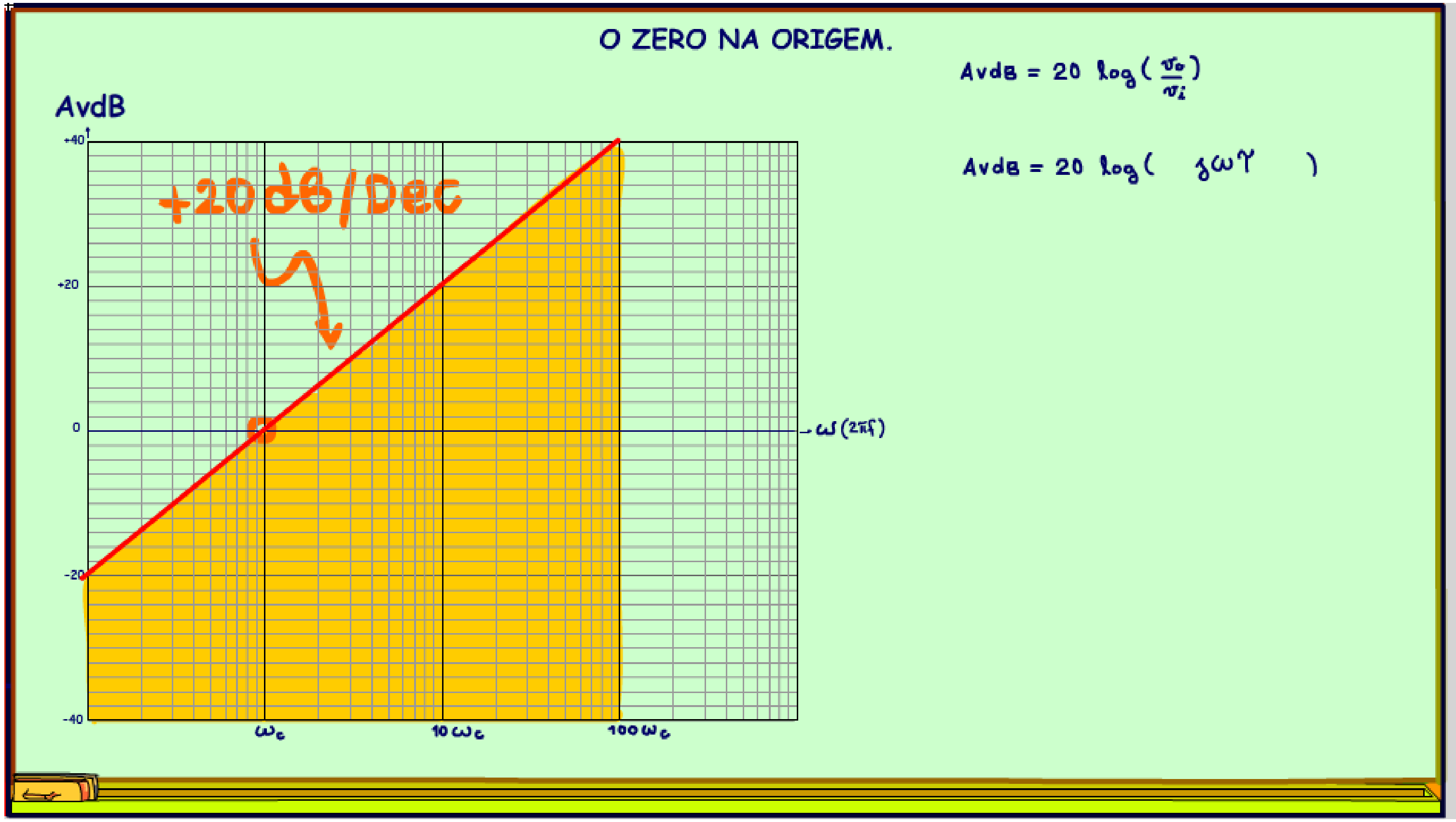


Figura 43

1.6 A CONSTANTE.

E agora o último caso particular, a constante, veja só tem uma parte real na equação, não podia ser mais simples.

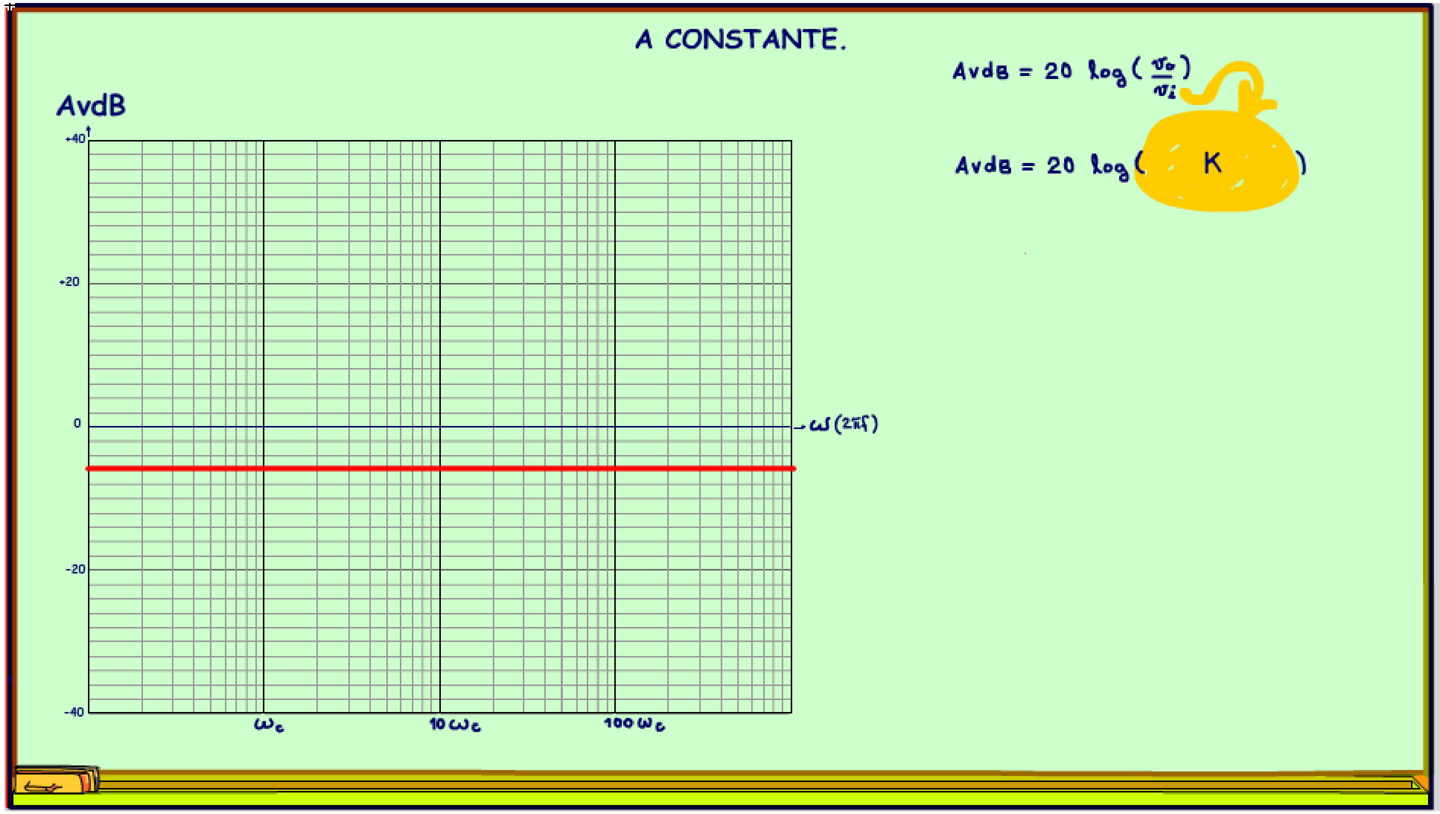


Figura 44

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Então o gráfico vai ser uma reta, não vai ter frequência de corte, não tem o w na equação!

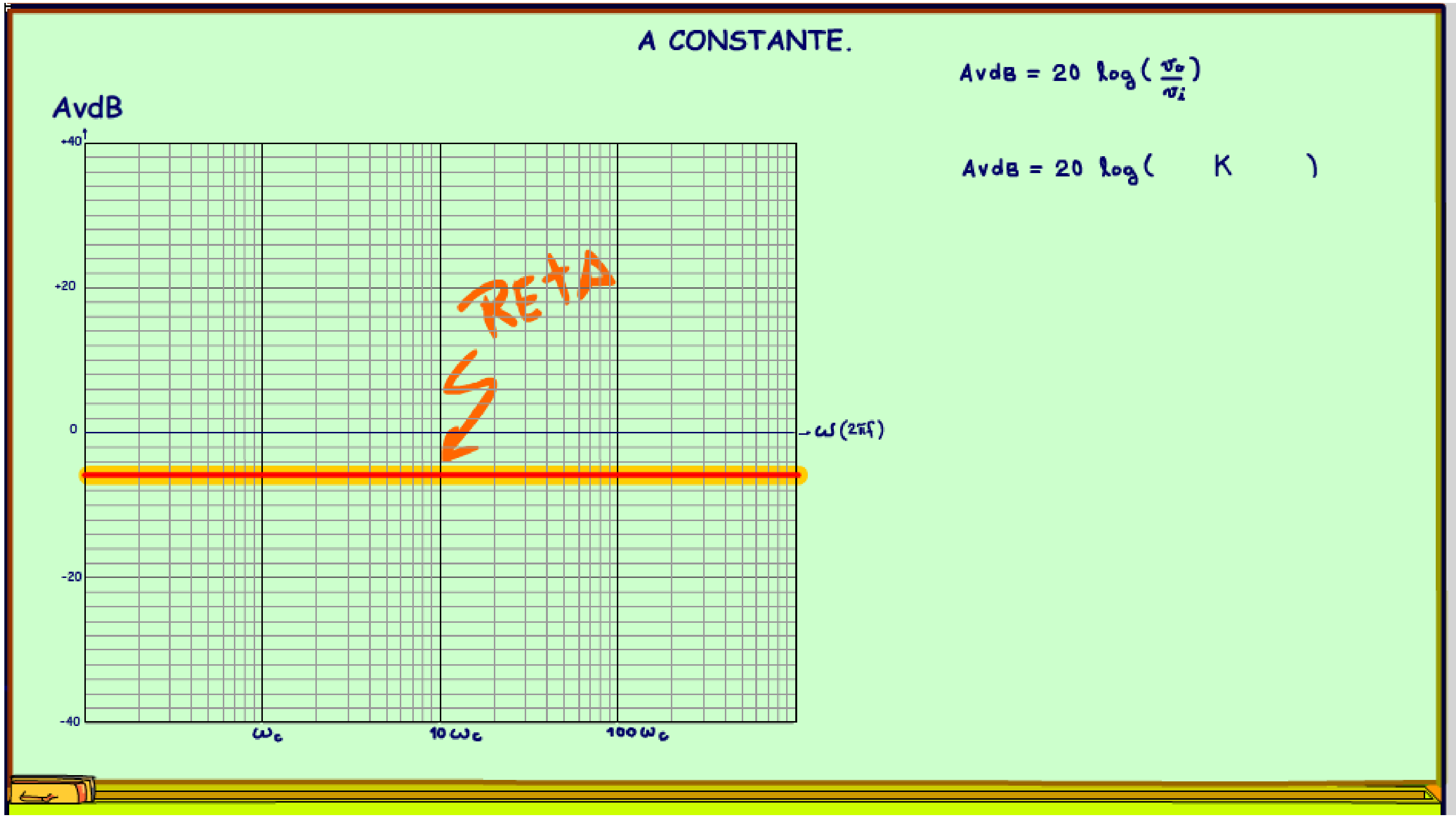


Figura 45

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Mas você vai ter que calcular o valor, você terá que calcular 20 logaritmo do valor da constante K, que um ganho ou uma atenuação constante do circuito.

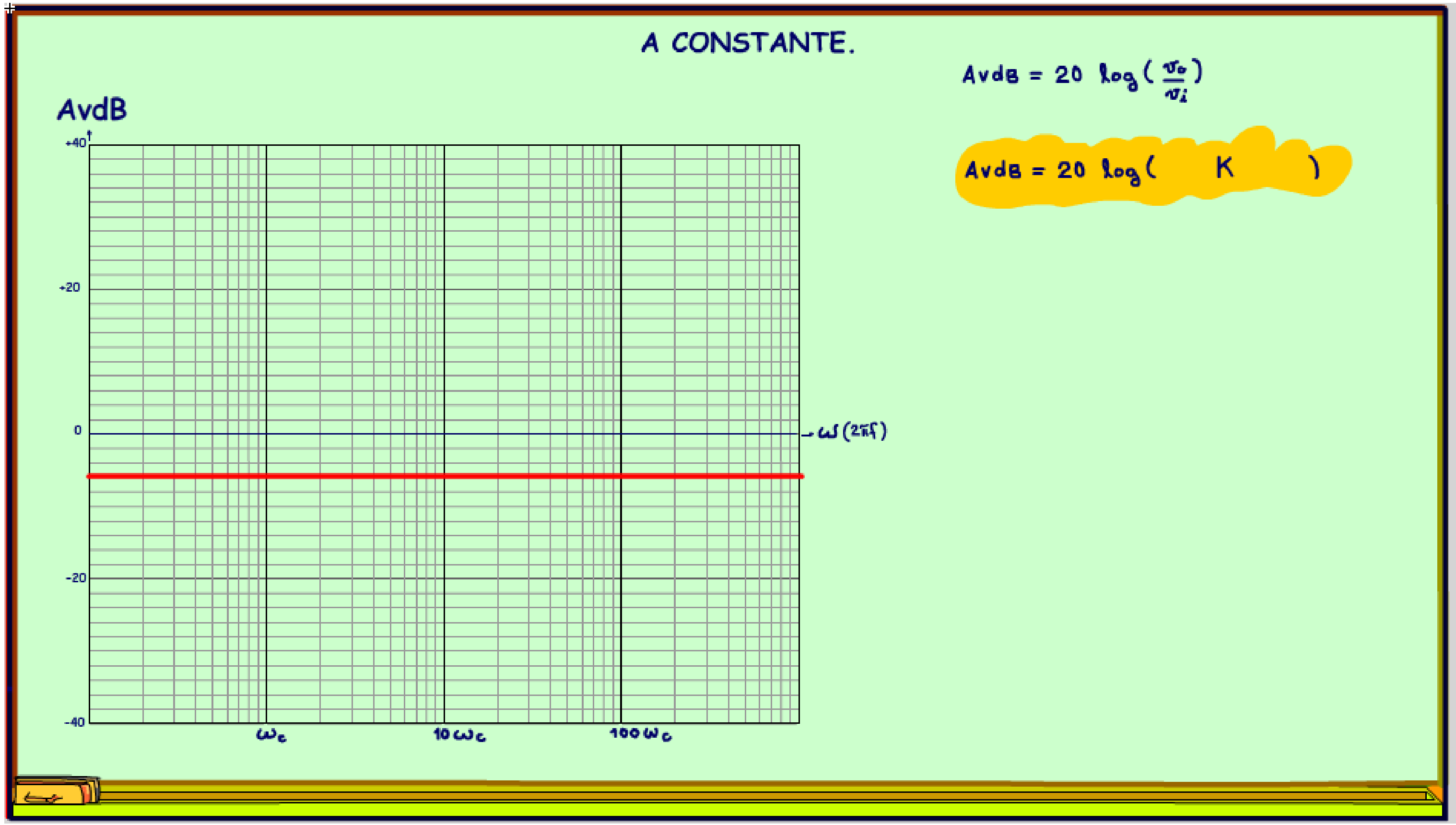


Figura 46

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Por exemplo, para o valor de 0,5 para a constante K, isso é a tensão de saída vai ser igual a metade do valor da tensão de entrada em todas as frequências.

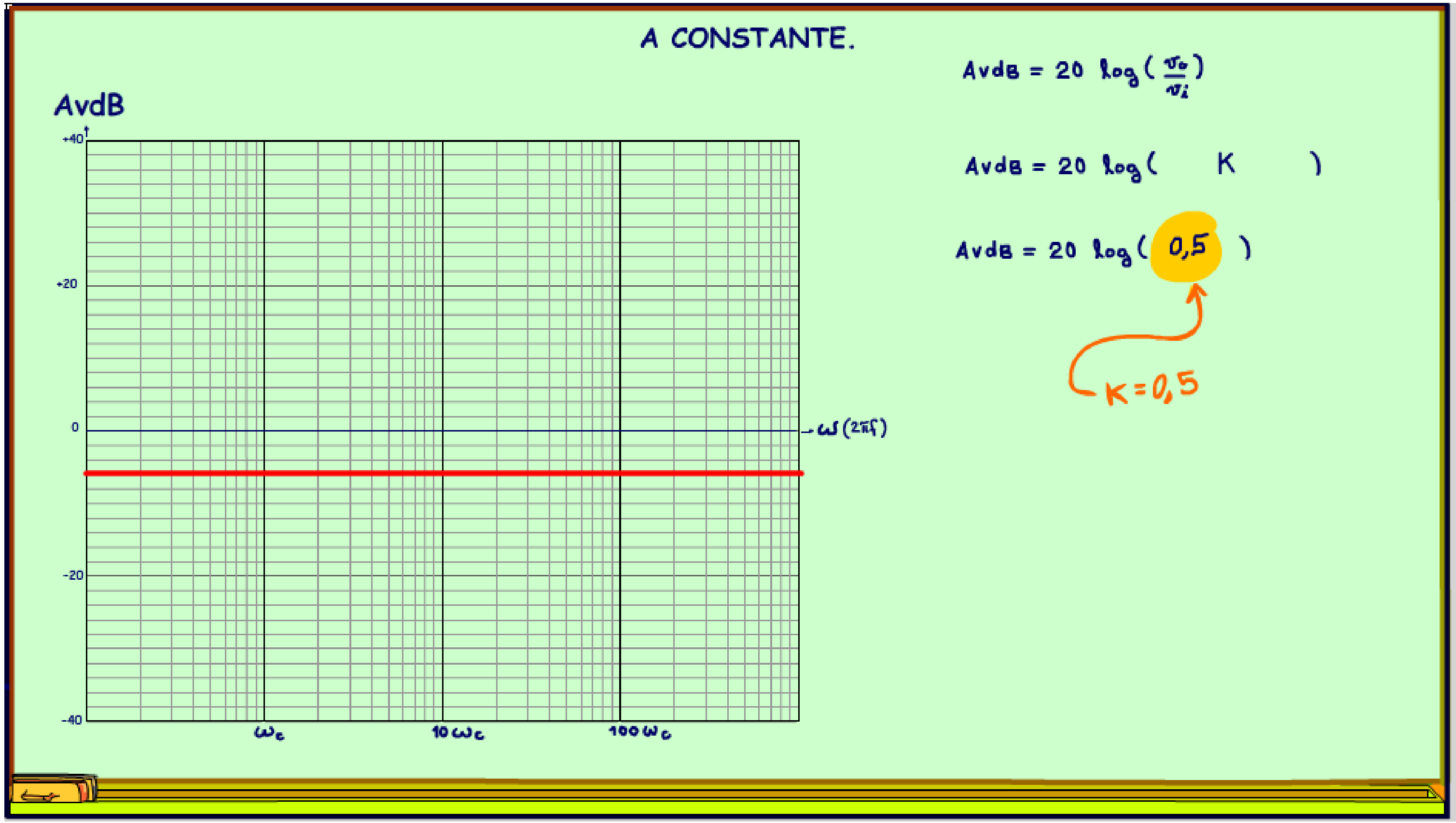


Figura 47

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Para determinar o ganho em db, onde a reta vai estar no gráfico você deverá usar uma calculadora e calcular o logaritmo de 0,5 na base dez, alguns descrevem como log de meio.

Calculando dá -0,3010, o sinal negativo indica uma atenuação o sinal vai sair menor do que entrou.

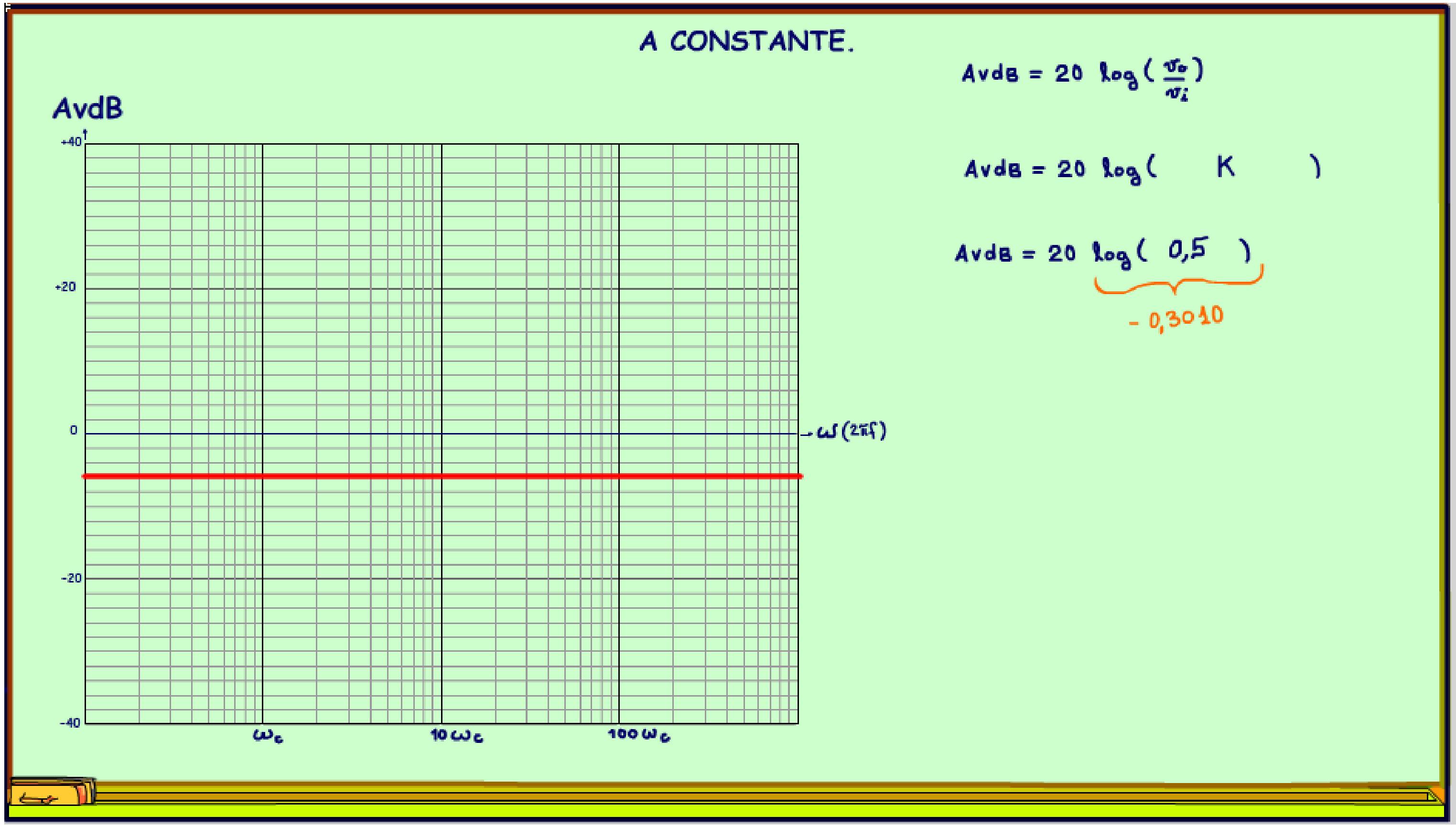


Figura 48

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Para saber o valor em db tem que multiplicar por 20 isso dá -6dB, por isso a curva está desenhada a -6dB.

Pronto e isso é tudo sobre a constante.

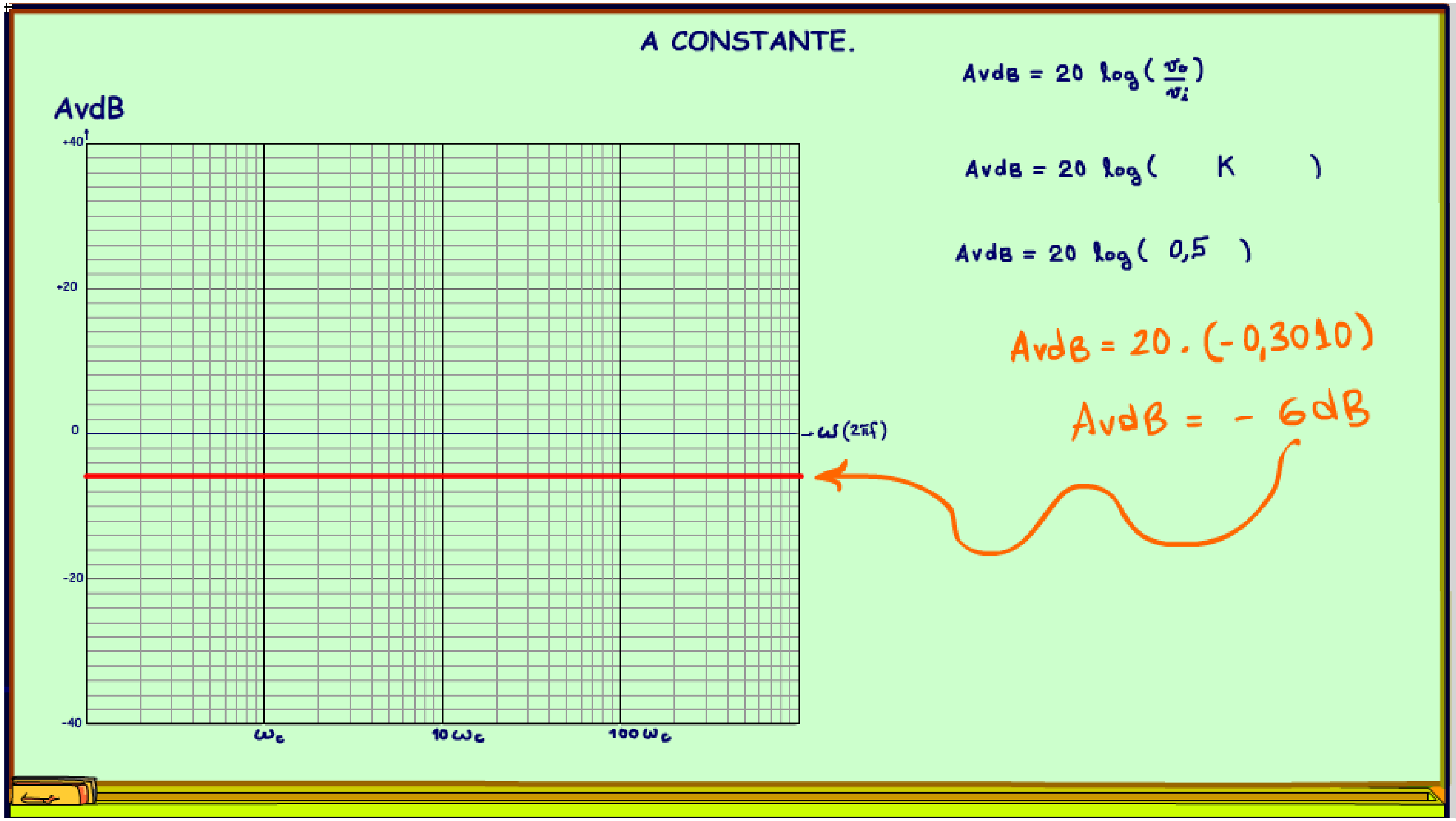


Figura 49

1.7 A FREQUÊNCIA DE CORTE.

Note que eu falei o tempo todo da frequência de corte, é o ponto chave para o desenho das curvas de BODE, mas como calcular o ponto onde a velocidade angular é igual a frequência de corte?

Veja o exemplo do polo da figura.

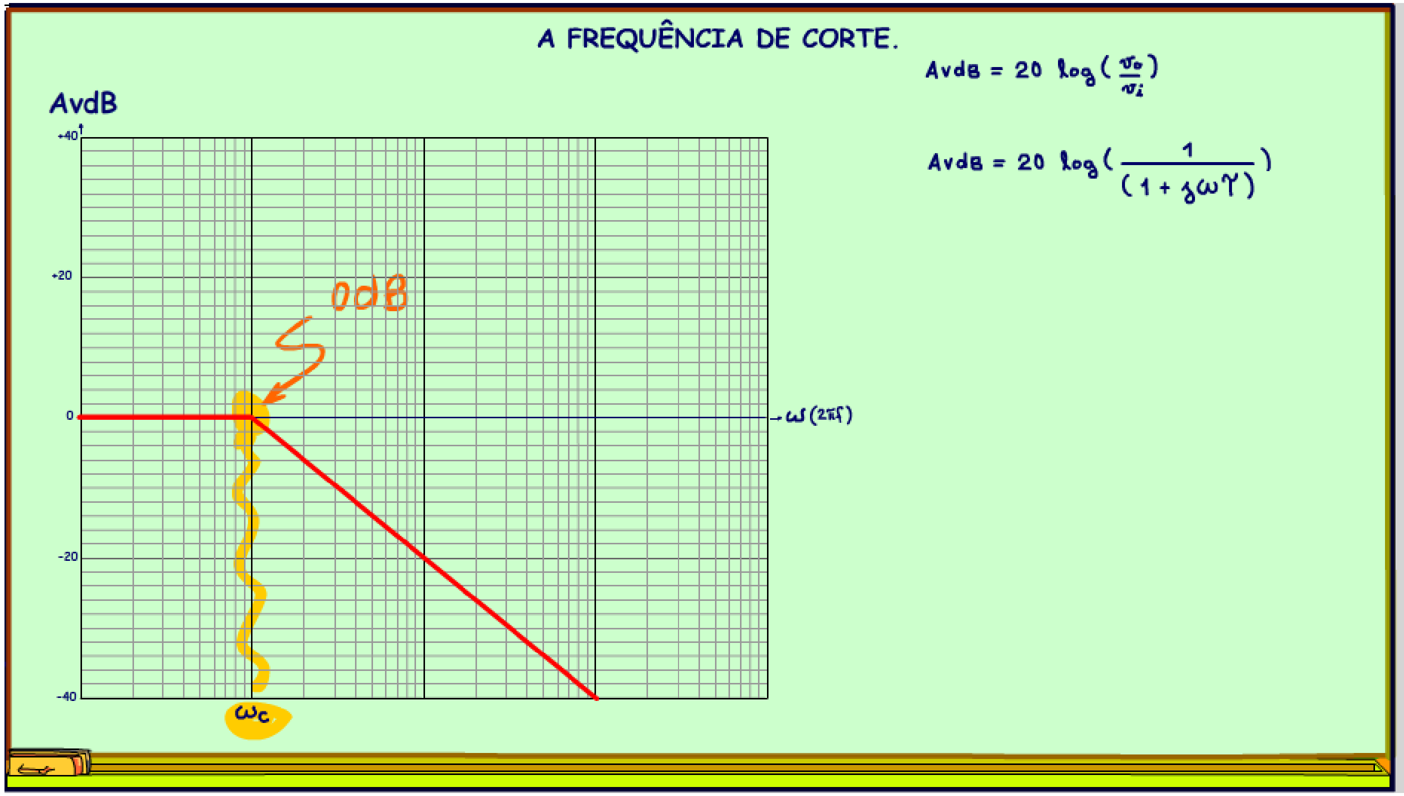


Figura 50

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

A velocidade angular na frequência de corte wc é calculada fazendo com que o módulo da parte imaginária do polo seja igual a um, essa é uma regra, você deverá segui-la mais tarde eu mostro o porquê dessa regra.

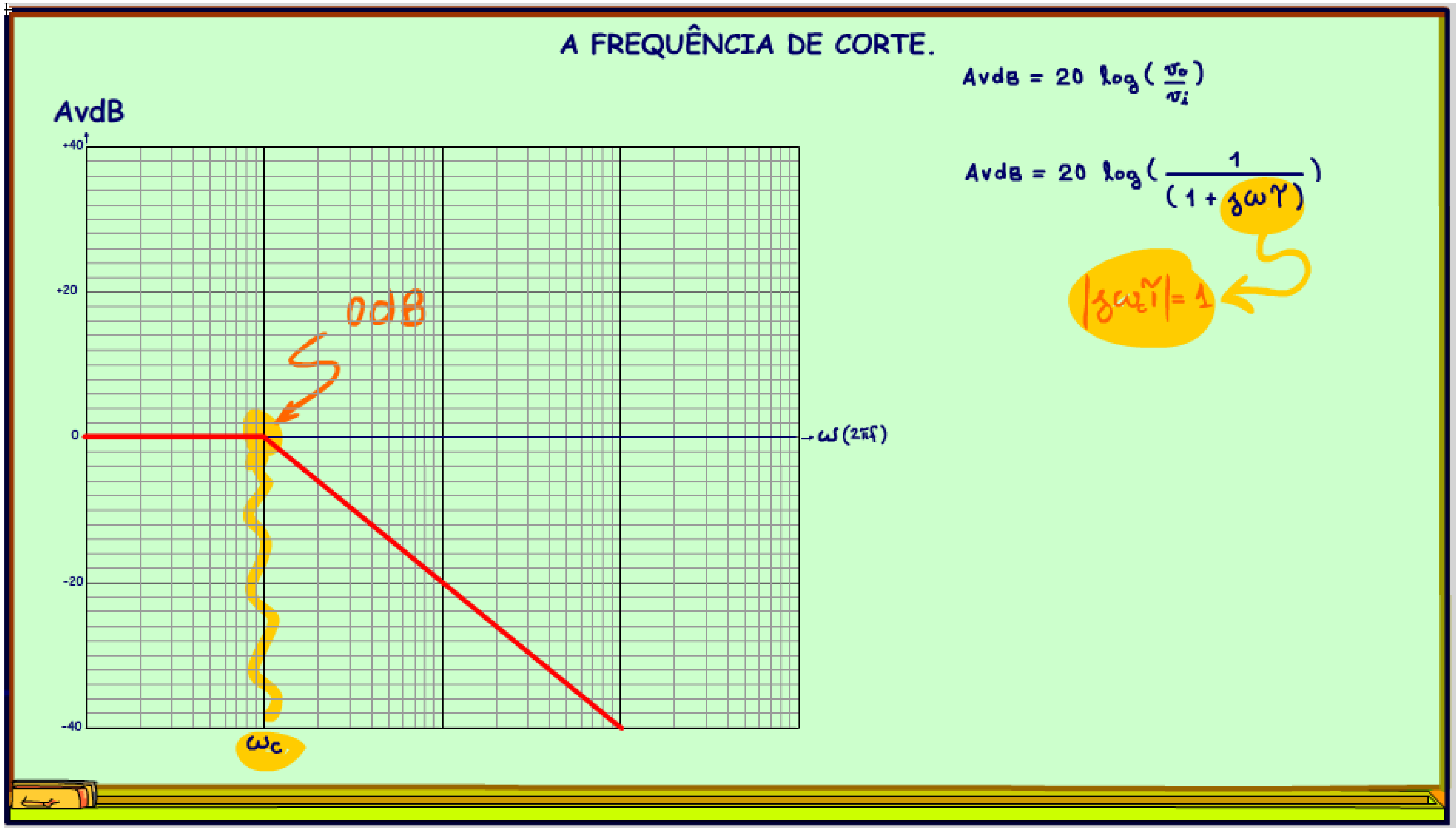


Figura 51

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Para que a parte imaginária seja um, o valor da velocidade angular wc na frequência de corte deve ser igual a um sobre a constante de tempo, e essa é a regra para determinar a velocidade angular na frequência de corte.

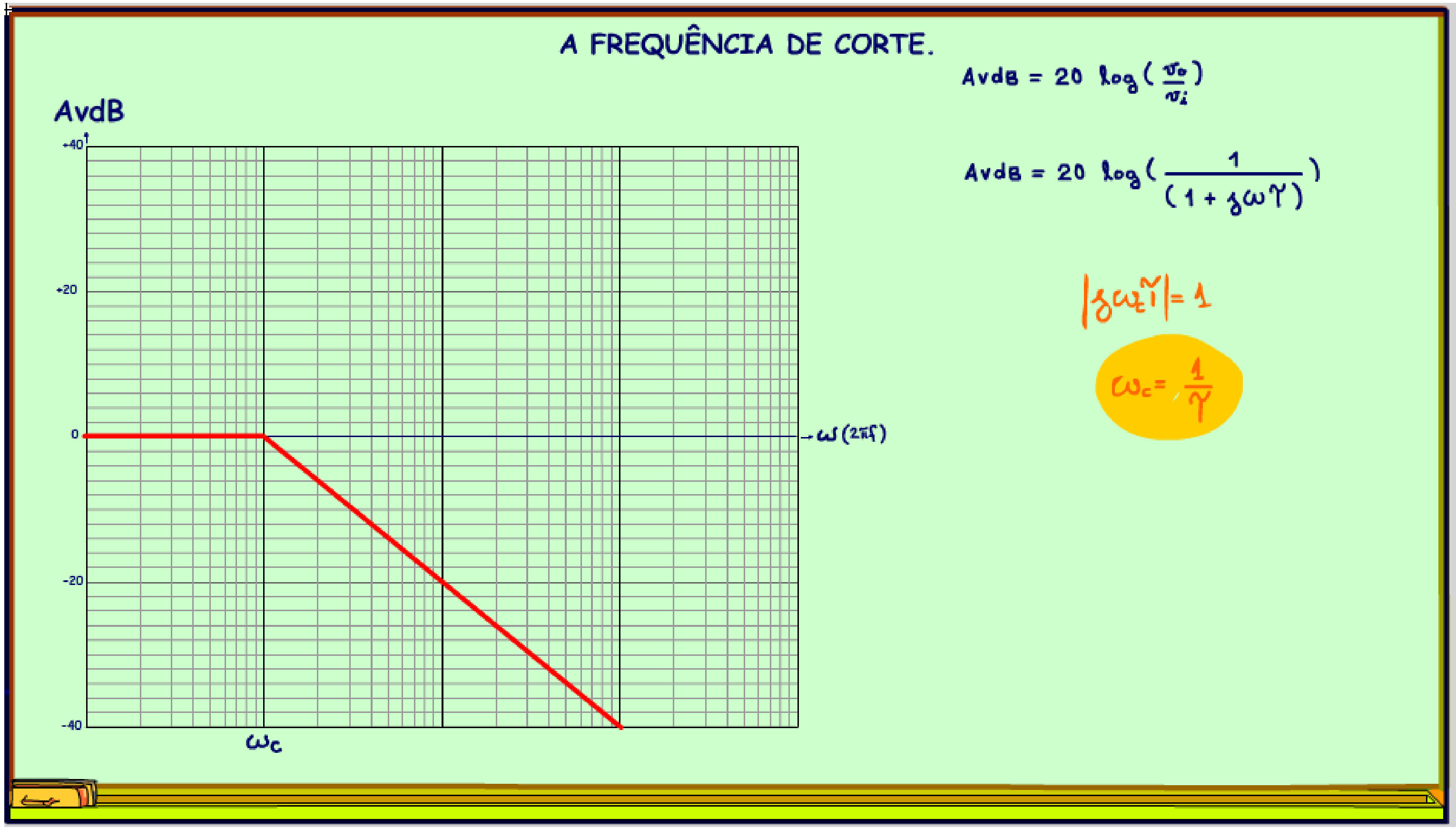


Figura 52

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Na prática nós queremos saber é a frequência de corte.

Isolando a frequência você chega na equação da figura, que eu tenho certeza que você já viu em algum lugar por ai nesse mundão da eletrônica.

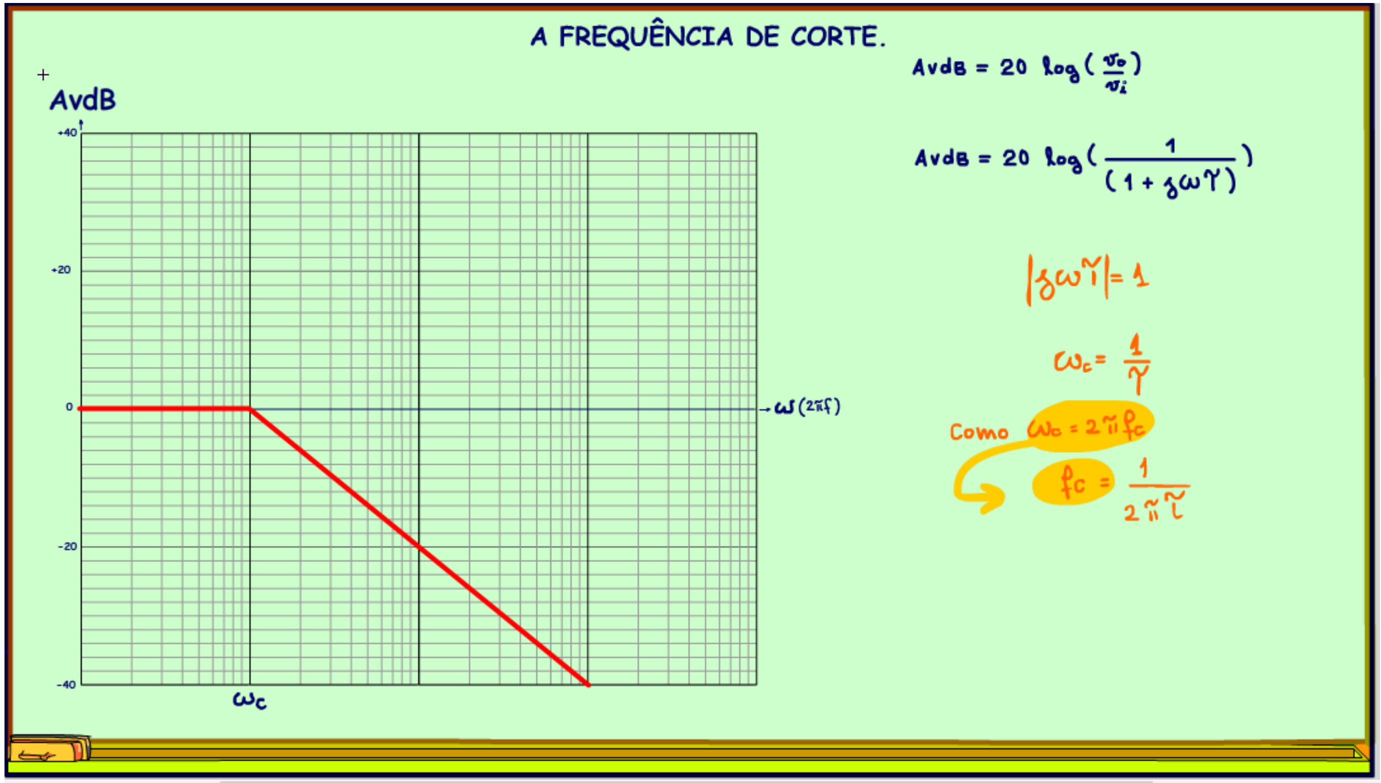


Figura 53

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Para o zero a regra é exatamente a mesma.

Pronto isso é tudo sobre as curvas de BODE, agora é só praticar, vamos lá!

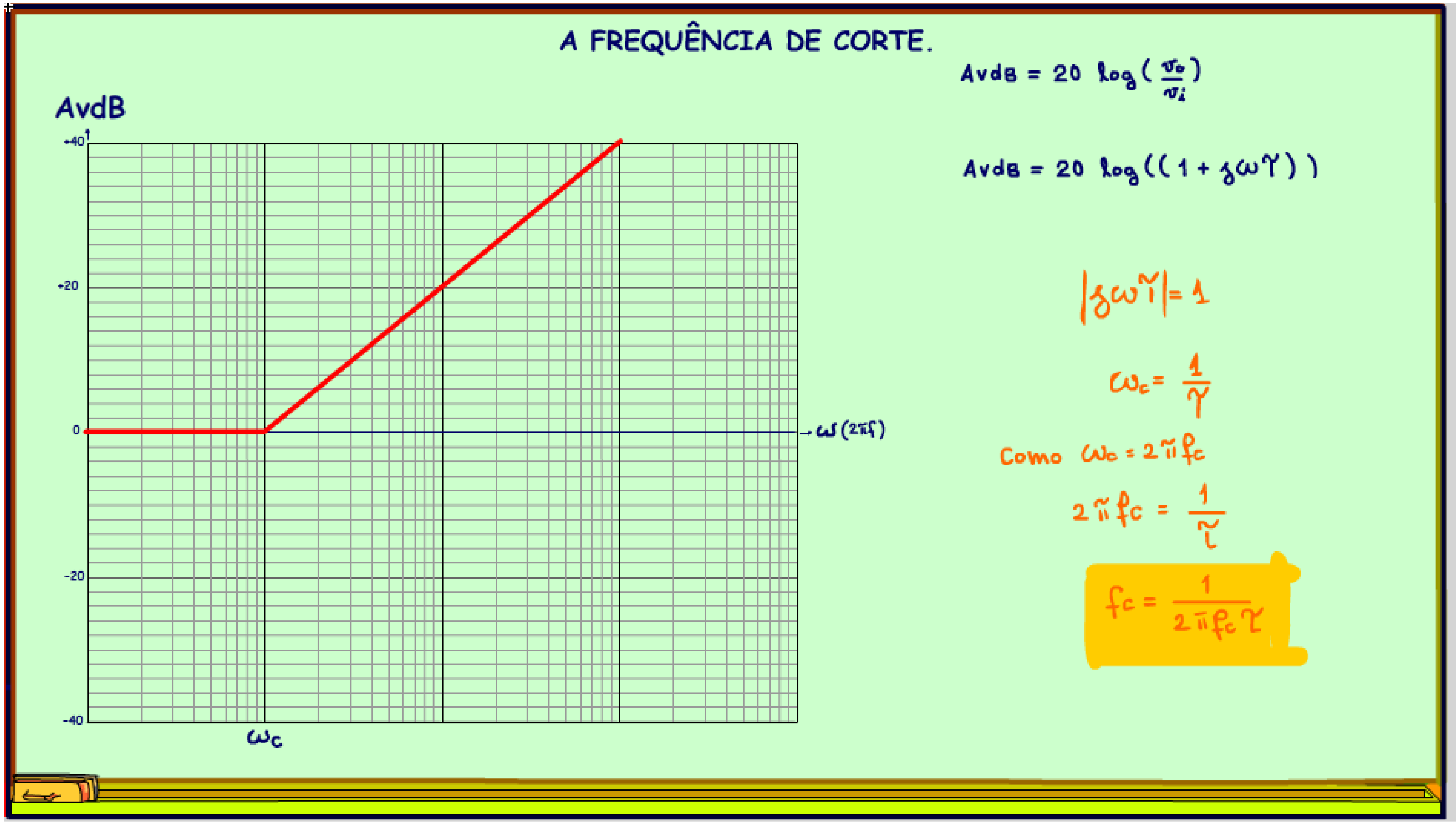


Figura 54

1.8 Exemplo 01:

Agora vamos a melhor parte, a prática, você vai ver o método funcionando, e vai cair prá trás de tão simples, vou começar pelo circuito da figura, um conhecido circuito RC.

A questão é: Desenhe o gráfico de BODE para esse circuito?

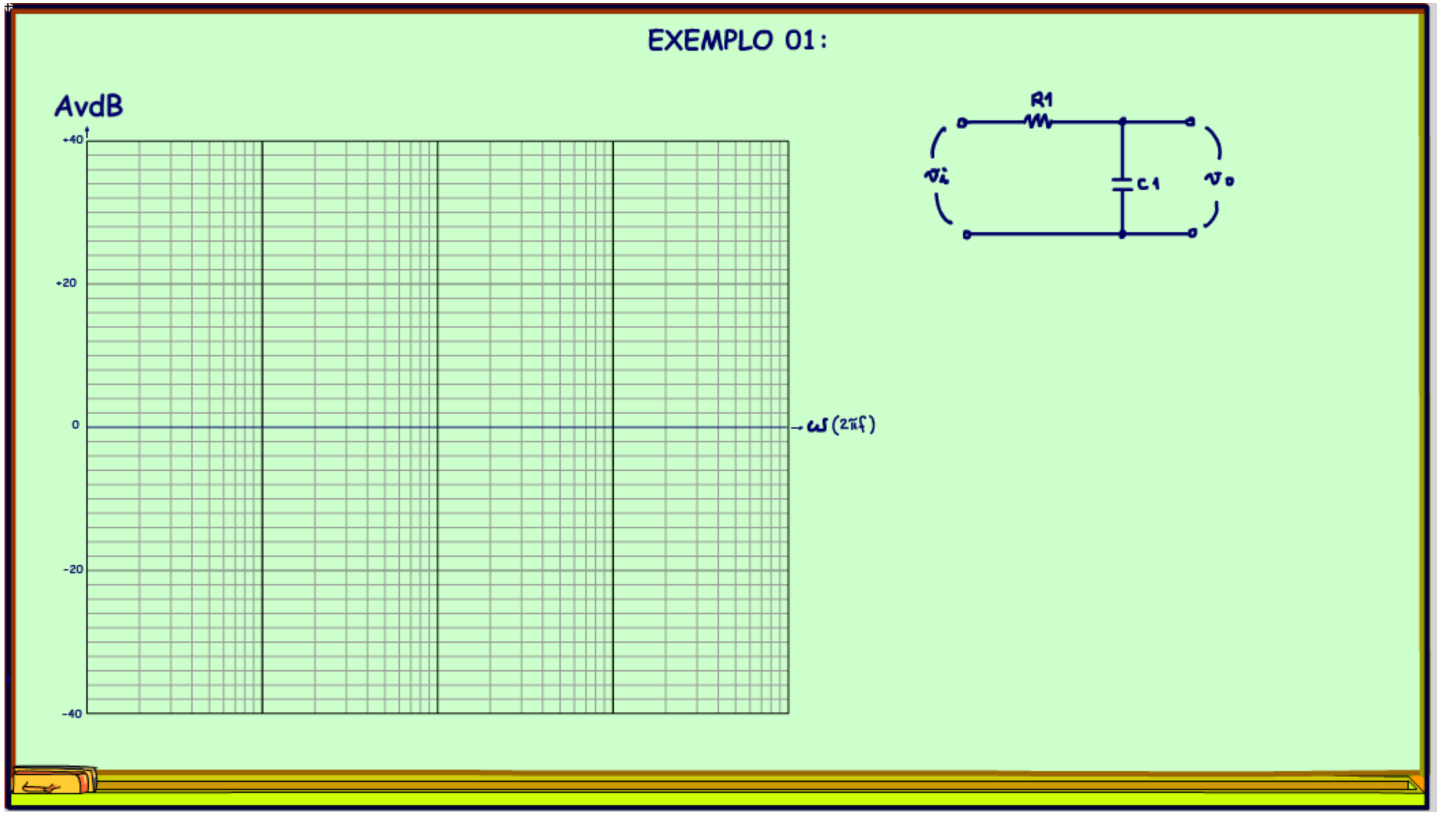


Figura 55

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Para levantar o gráfico de BODE eu vou precisar determinar o ganho, que é a tensão de saída em relação a tensão de entrada, levantar a curva de BODE, ou o gráfico de BODE deve passar sempre pela análise do circuito em ac.

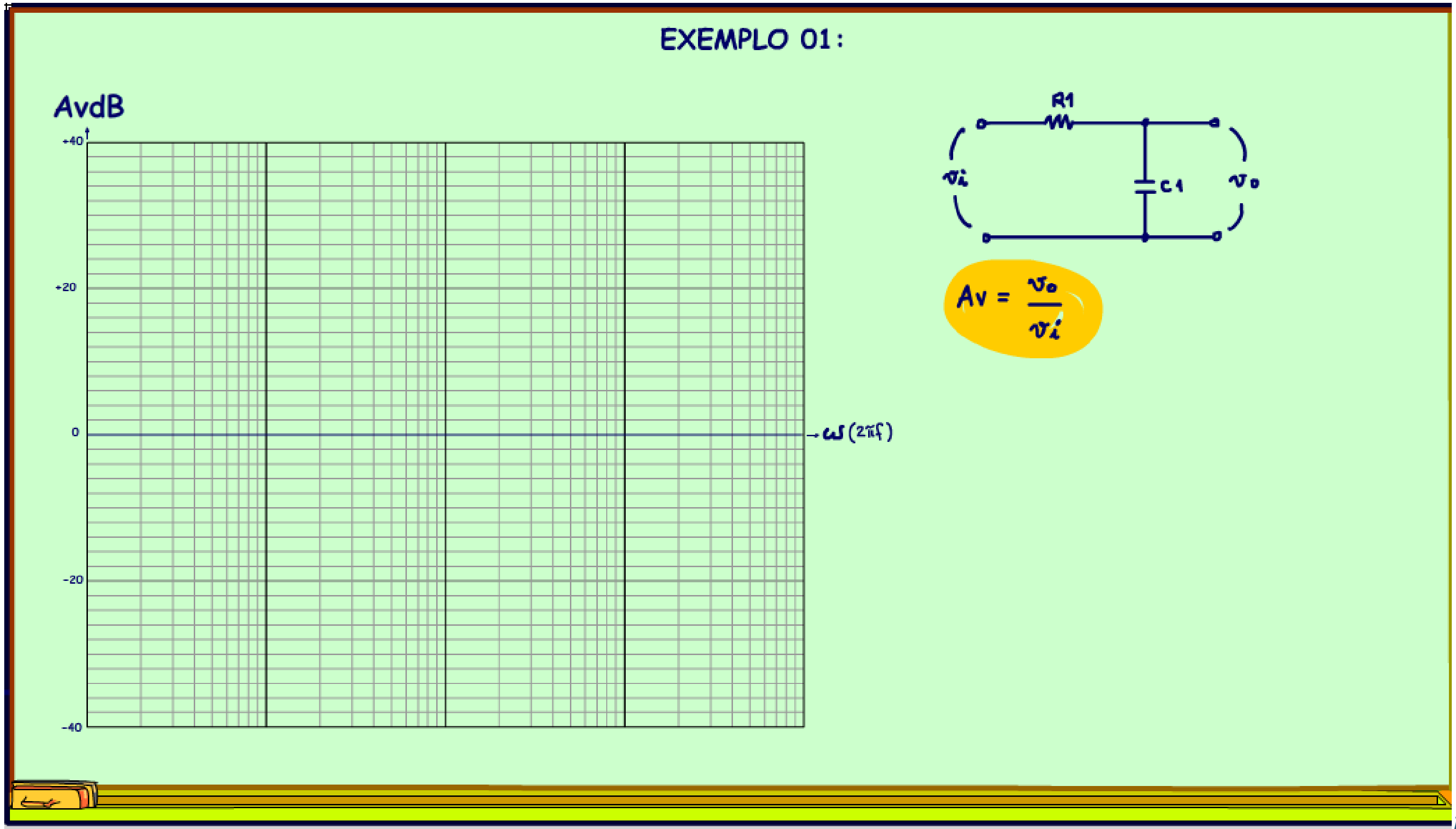


Figura 56

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Para analisar em ac você de passar o circuito para o plano das impedâncias, como você sempre fez, o capacitor fica igual a um sobre j2pifc.

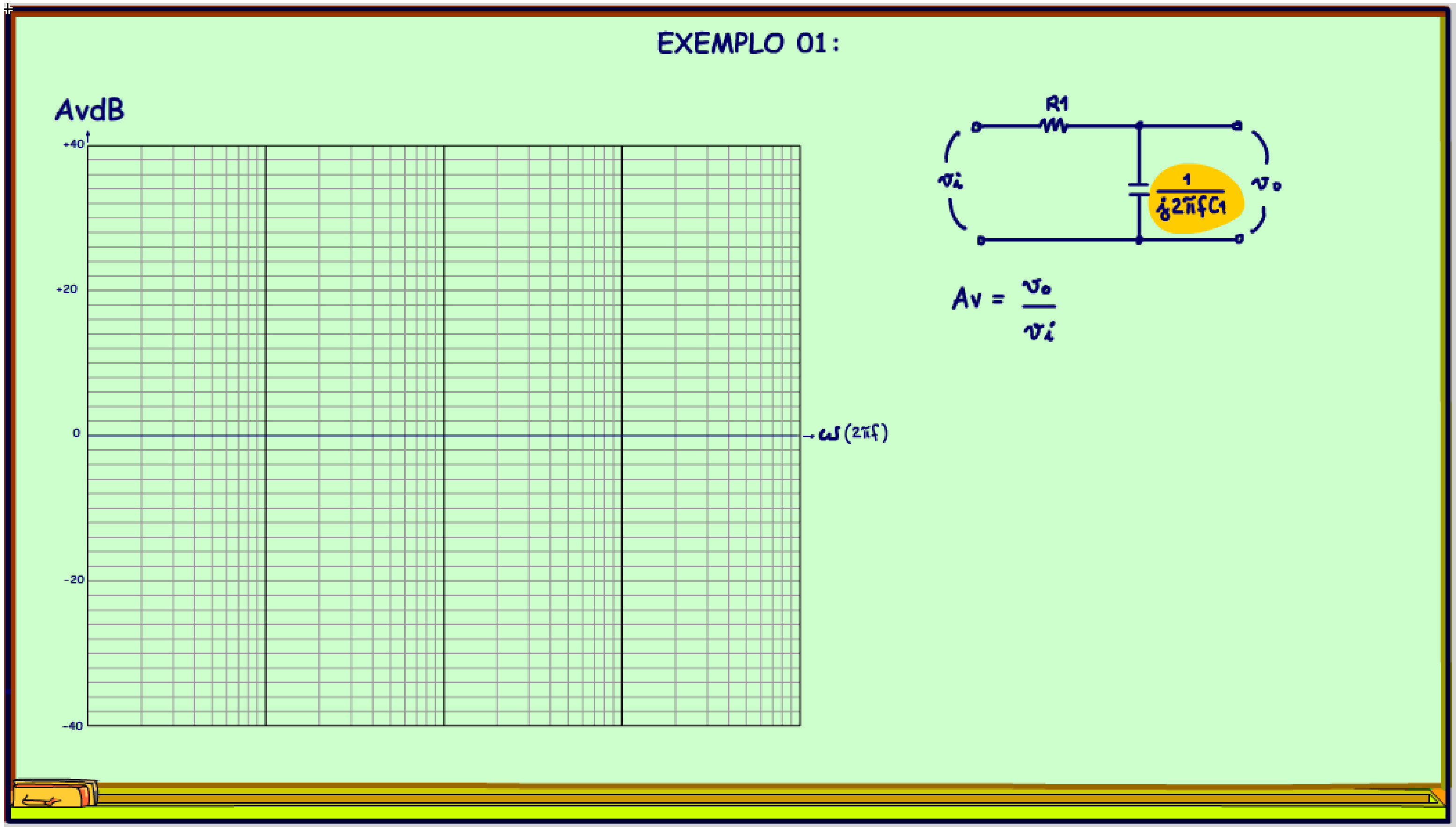


Figura 57

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Para simplificar as letrinhas, vou escrever a velocidade angular "w" no lugar do 2pif, fica mais simples você não acha?

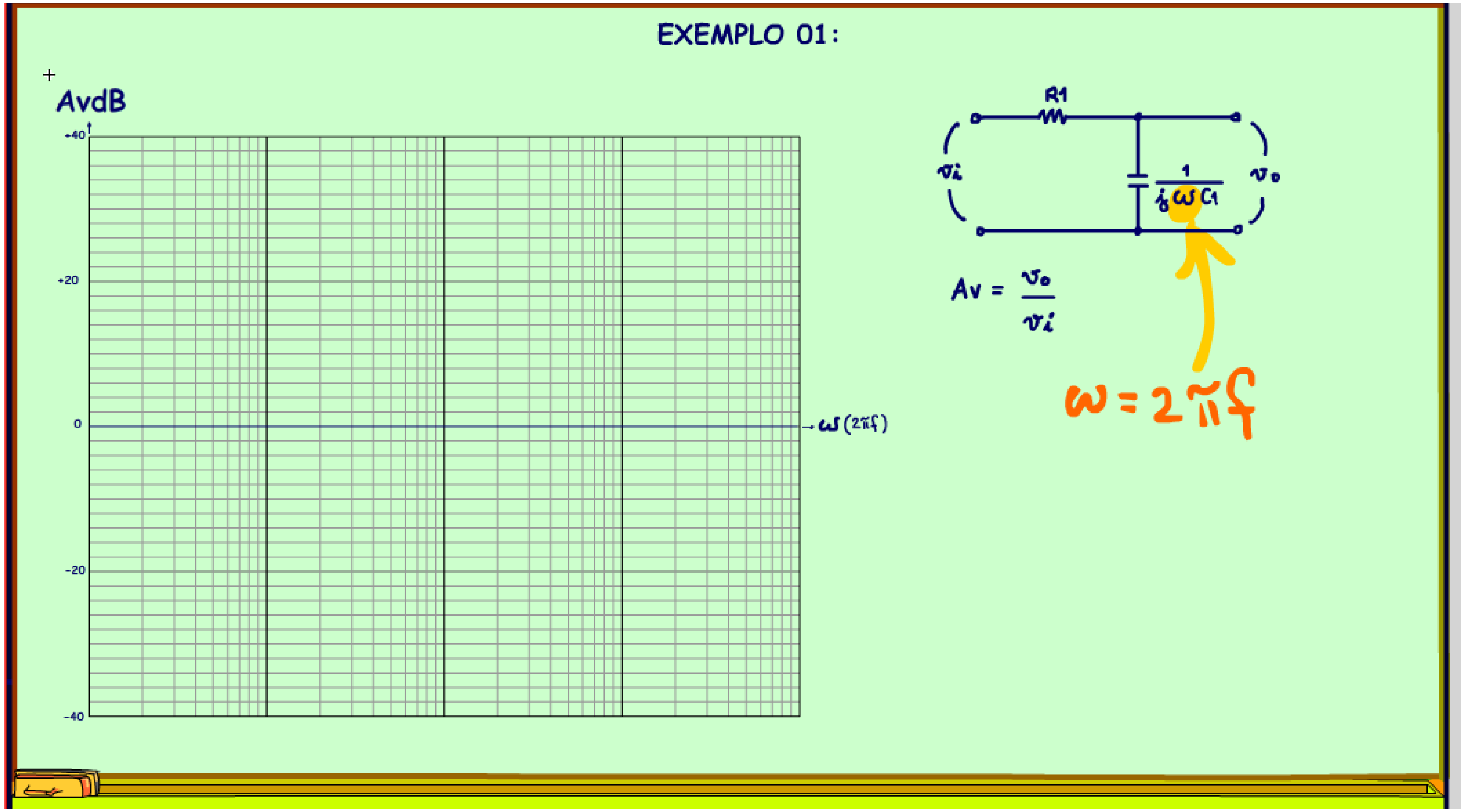


Figura 58

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora é só usar o divisor de tensão para determinar a tensão de saída em função da tensão de entrada.

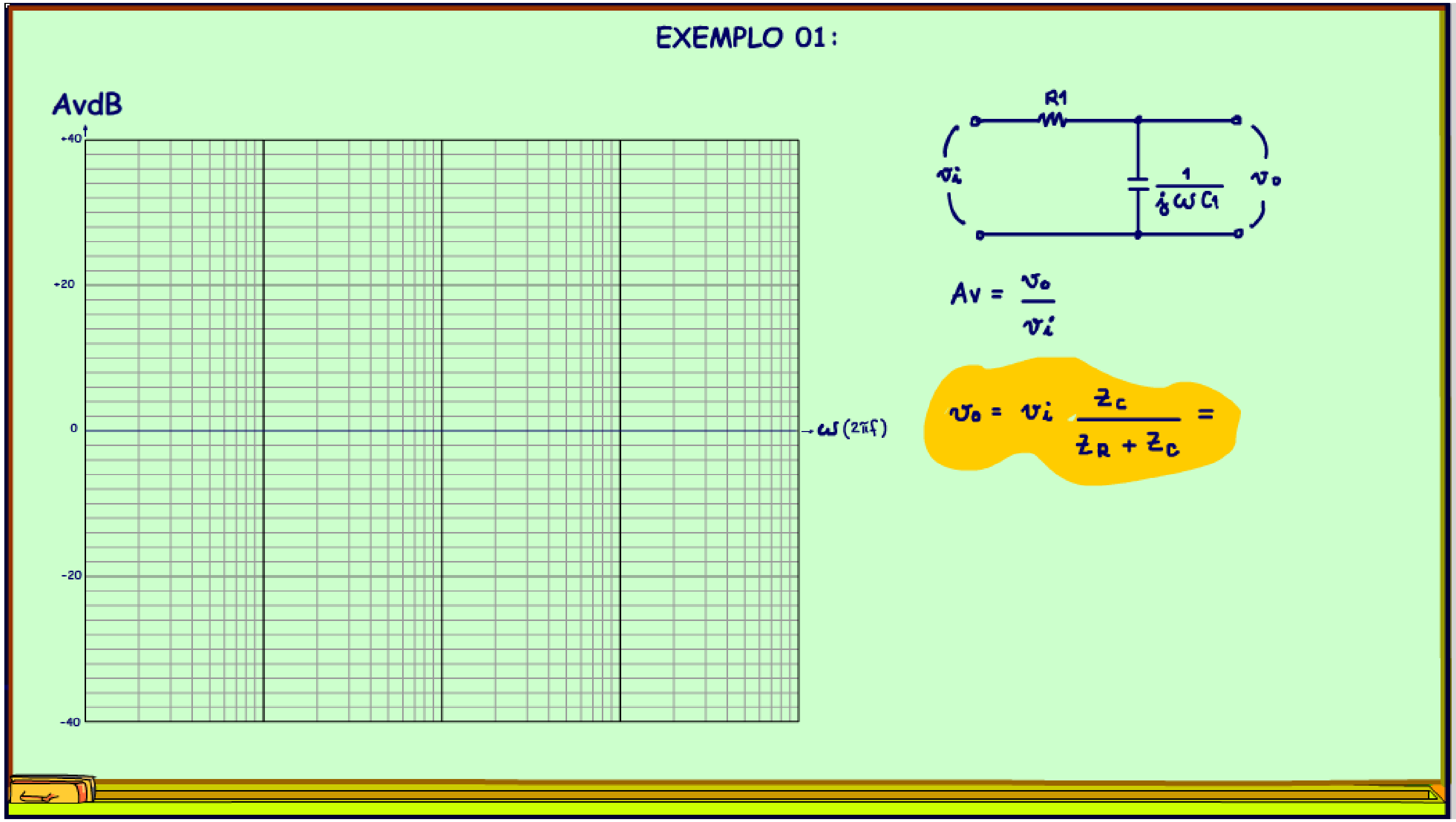


Figura 59

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

A tensão de saída é igual a tensão de entrada multiplicada pela impedância em paralelo com a saída, tudo isso dividido pela soma das impedâncias.

A impedância em paralelo com a saída é o capacitor.

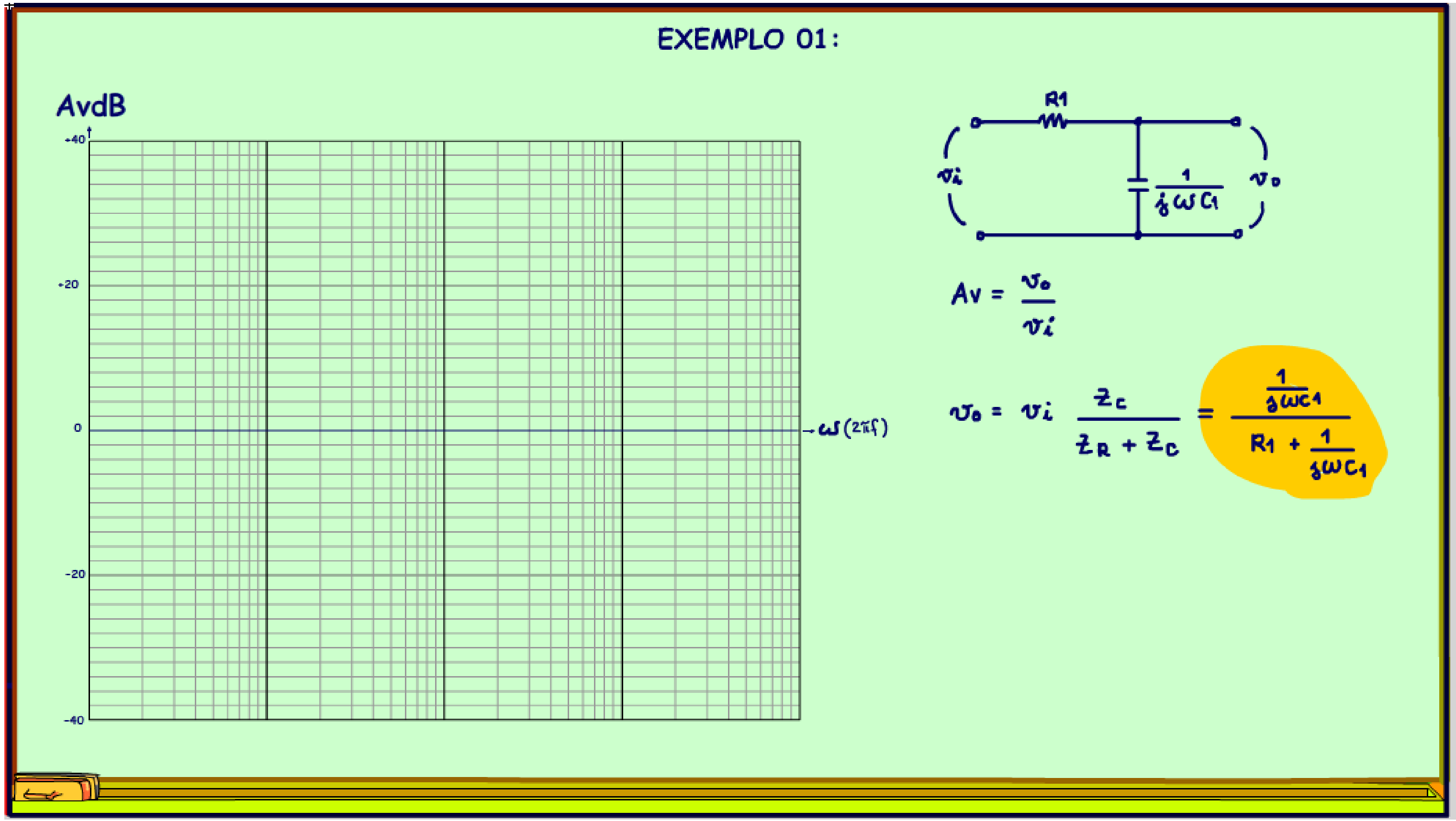


Figura 60

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Pronto o circuito está analisado, mas agora é preciso simplificar ao máximo para gerar os termos polos e zeros, então não vai ser o desenho da curva de bode o maior problema e sim a análise do circuito ac, e para isso só uma solução praticar.

Primeiro eu já vou separar a tensão de entrada vi e colocar sobre a tensão vo, essa é a equação do ganho, você sempre vai fazer isso.

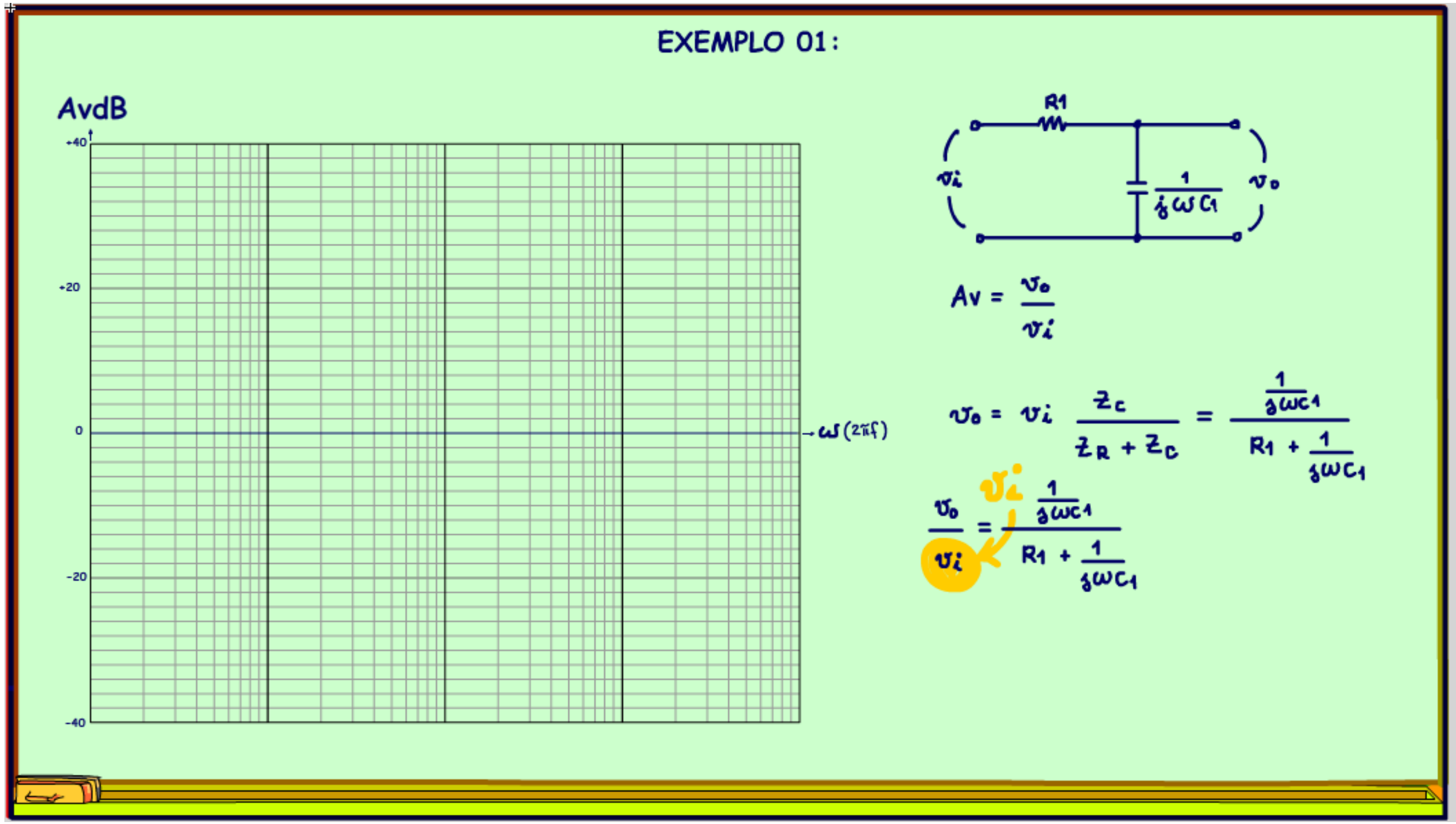


Figura 61

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Nesse circuito vou escrever o numerador multiplicando o denominador invertido, divisão de frações simples, inverter o denominador é fazer igual a um sobre o termo entre parênteses.

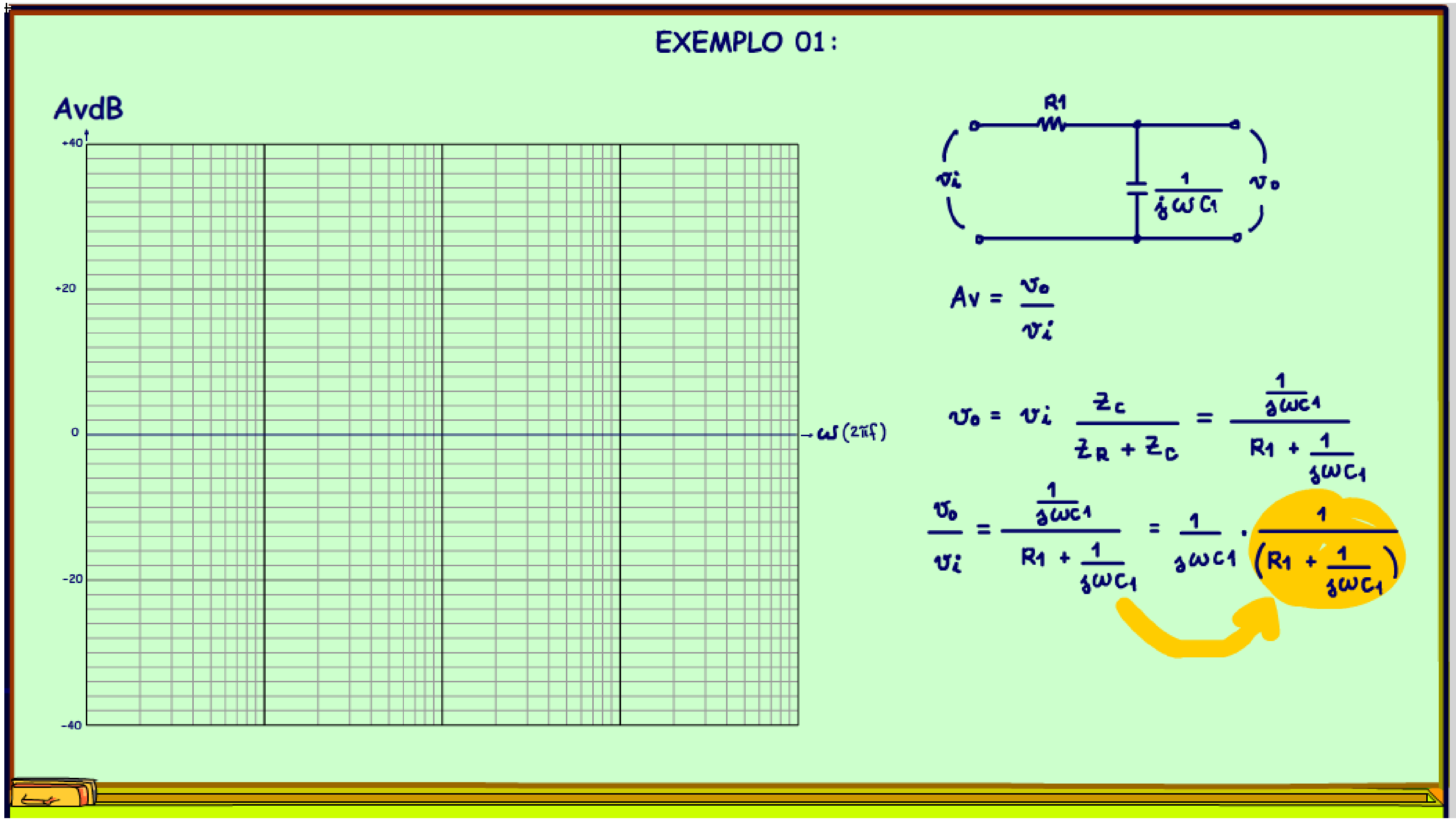


Figura 62

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora é só passar o jwc1 para dentro dos parênteses.

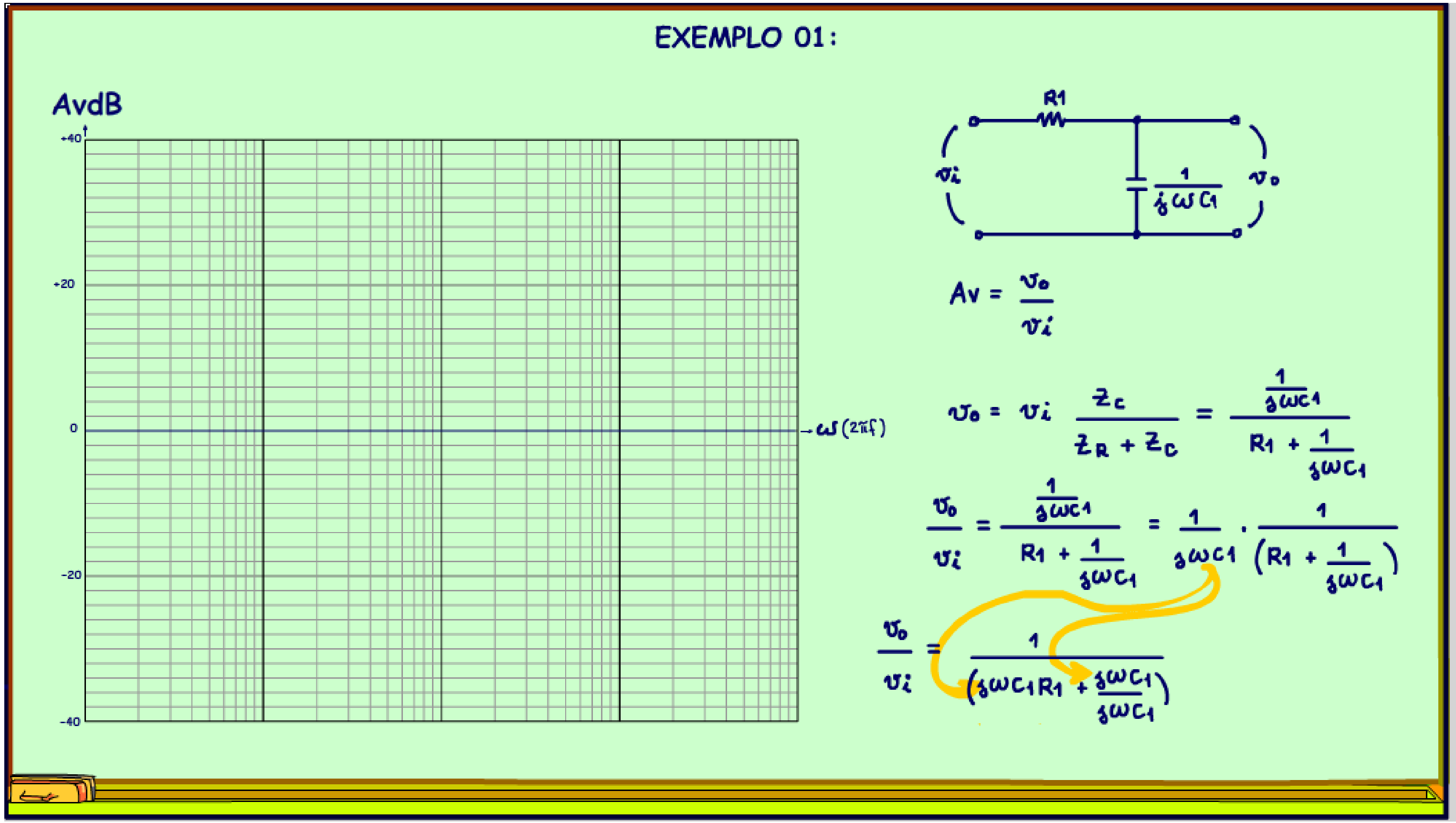


Figura 63

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Veja como apareceu uma simplificação mágica.

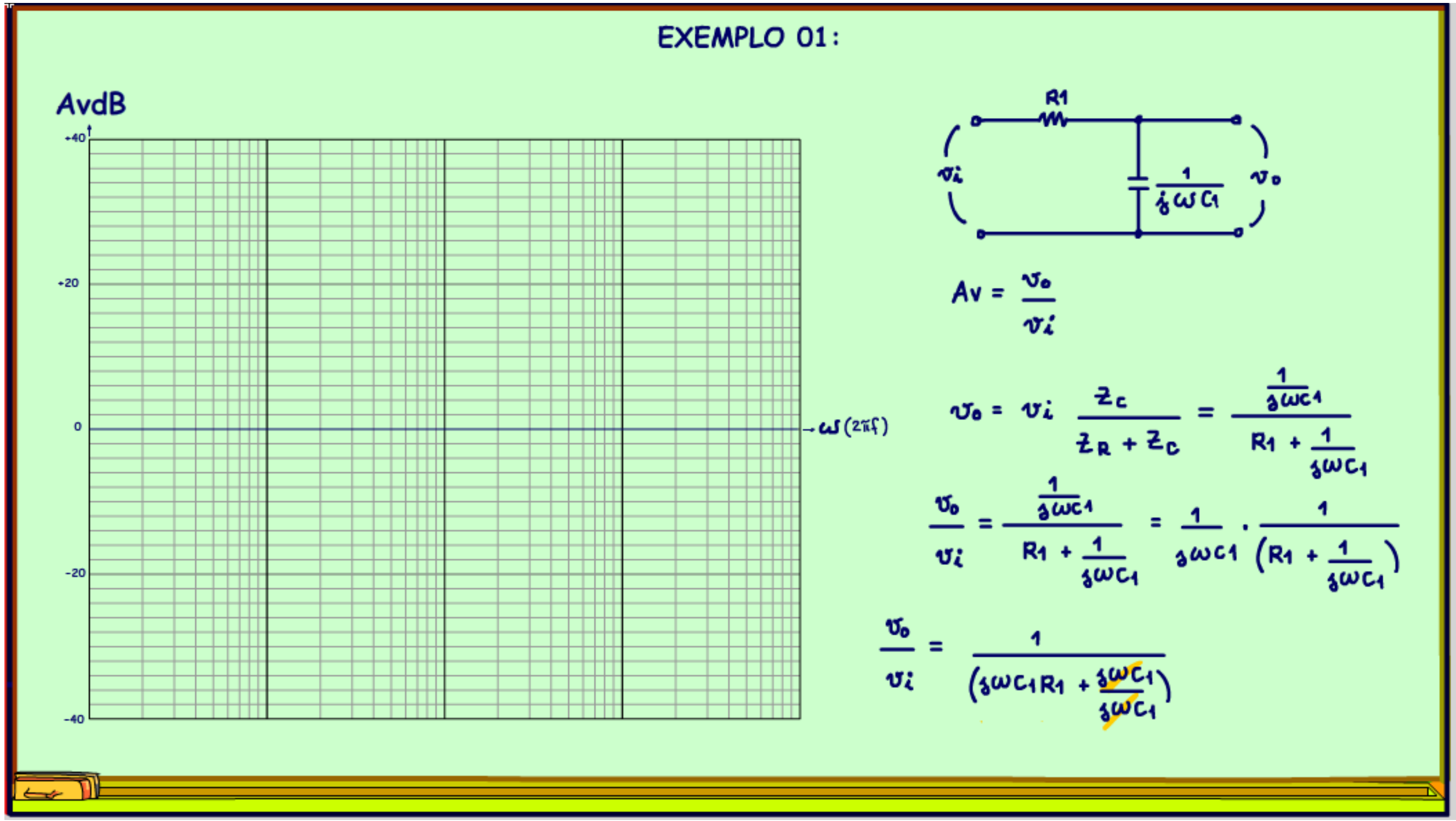


Figura 64

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E pronto aí está a equação com o polo e tudo mais, que coisa fantástica essa matemática.

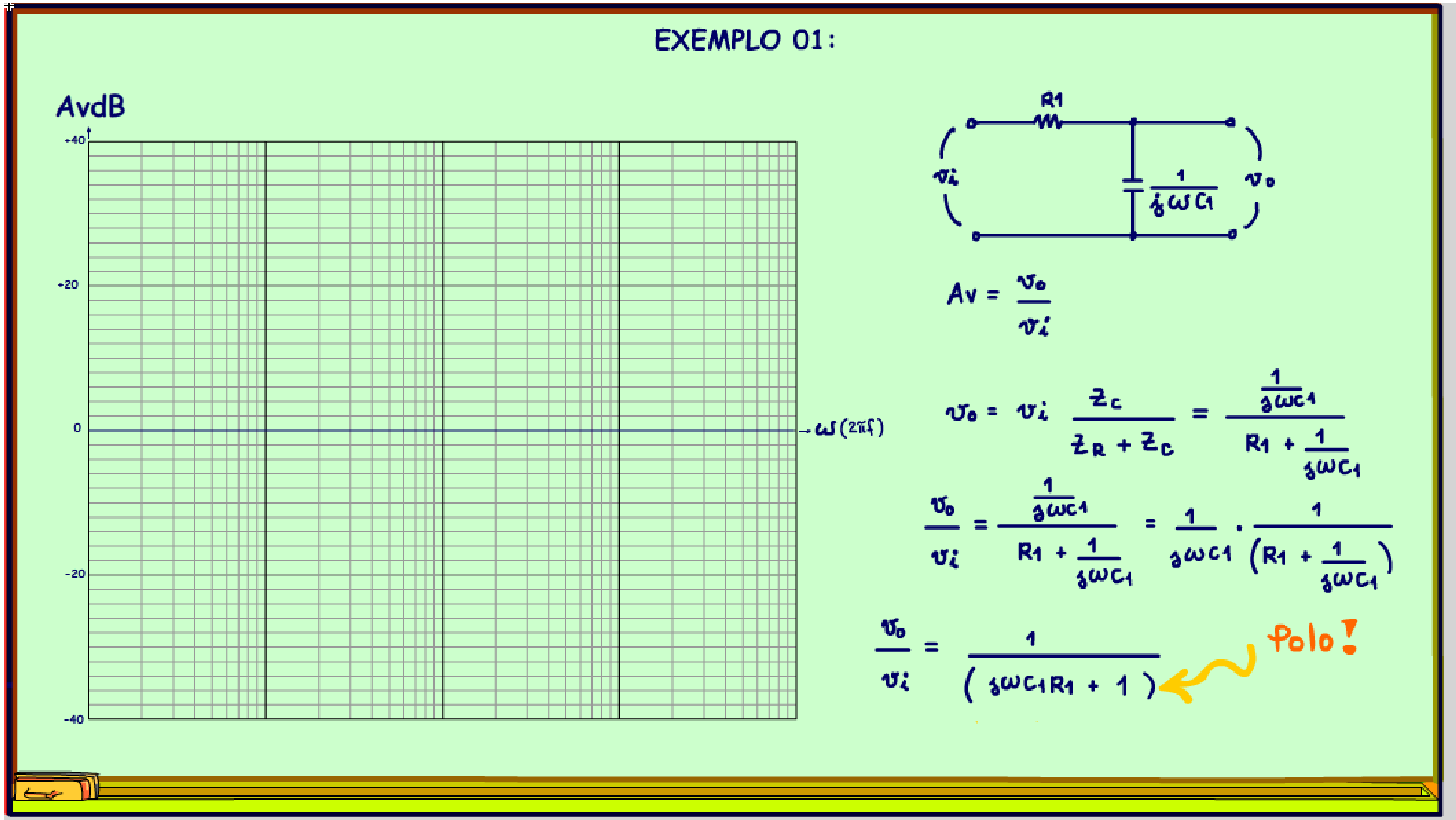


Figura 65

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Essa é a solução desse circuito.

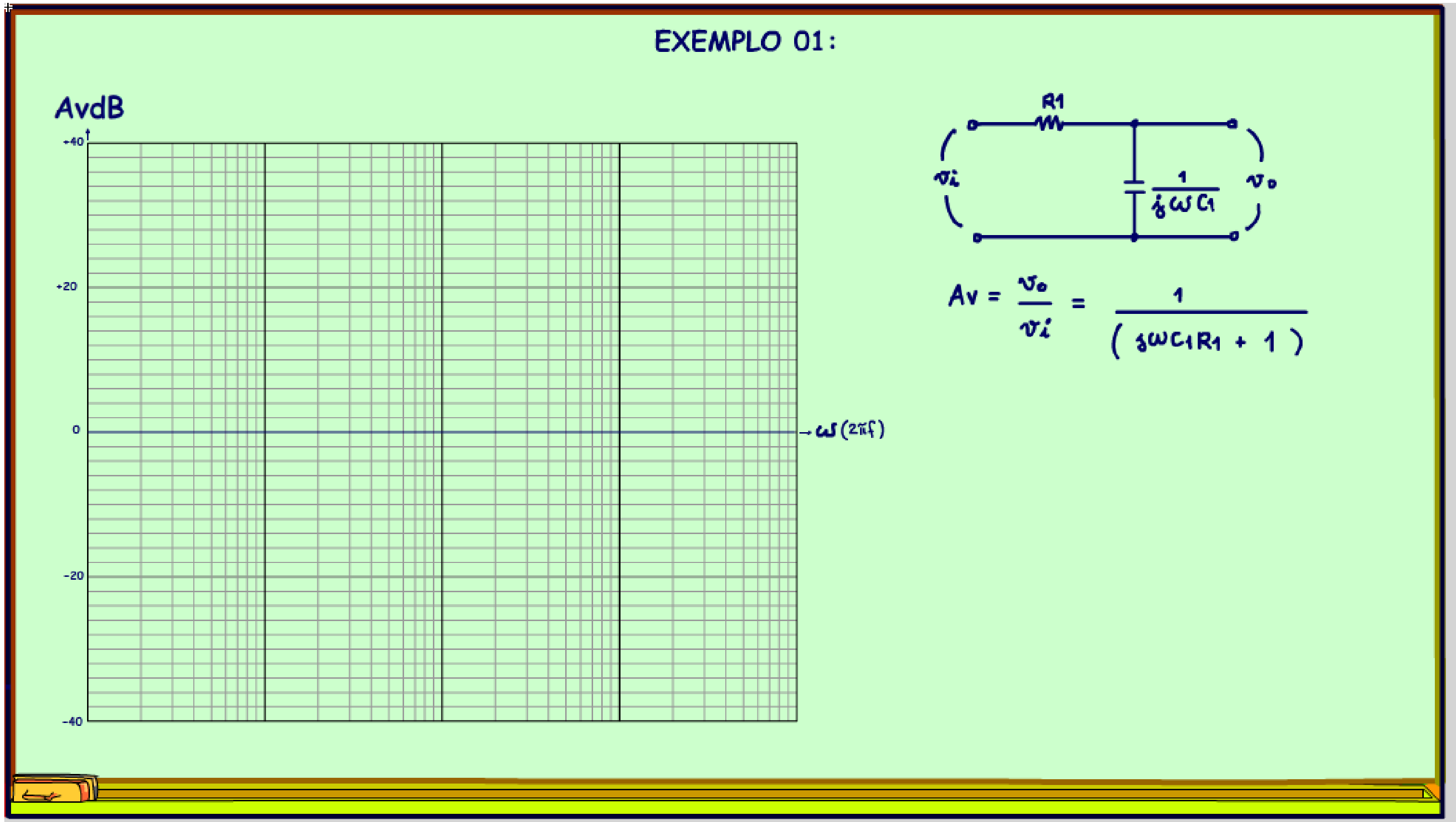


Figura 66

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora é só determinar a velocidade angular wc na frequência de corte, e a frequência de corte, veja na figura.

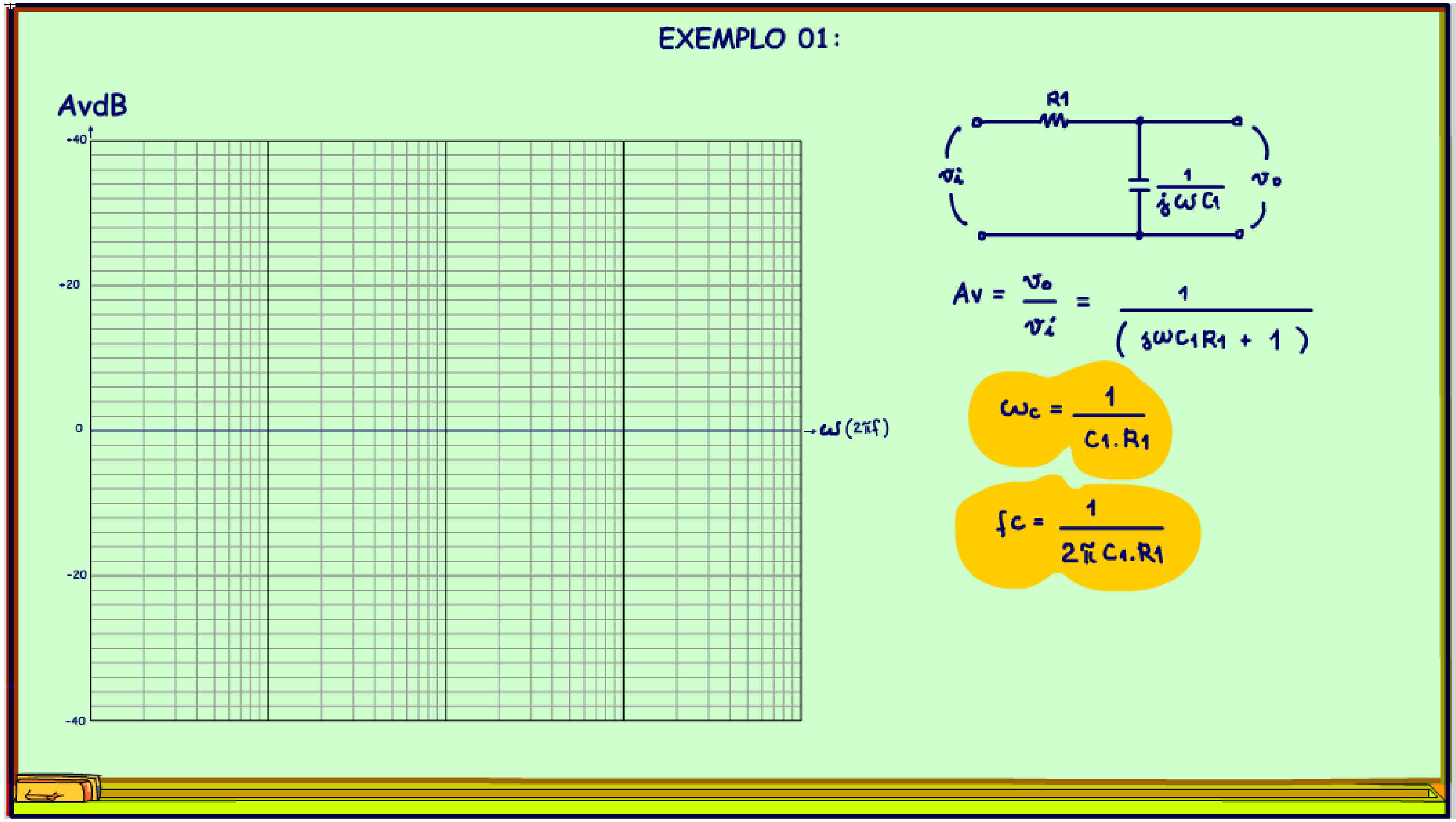


Figura 67

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Vou desenhar a curva de BODE veja que simples, é só usar o padrão.

Nesse caso só tem um polo na velocidade angular igual a um sobre C1 R1, então a frequência de corte vai ser um sobre 2piC1R1, tenho certeza que você já tinha visto isso antes.

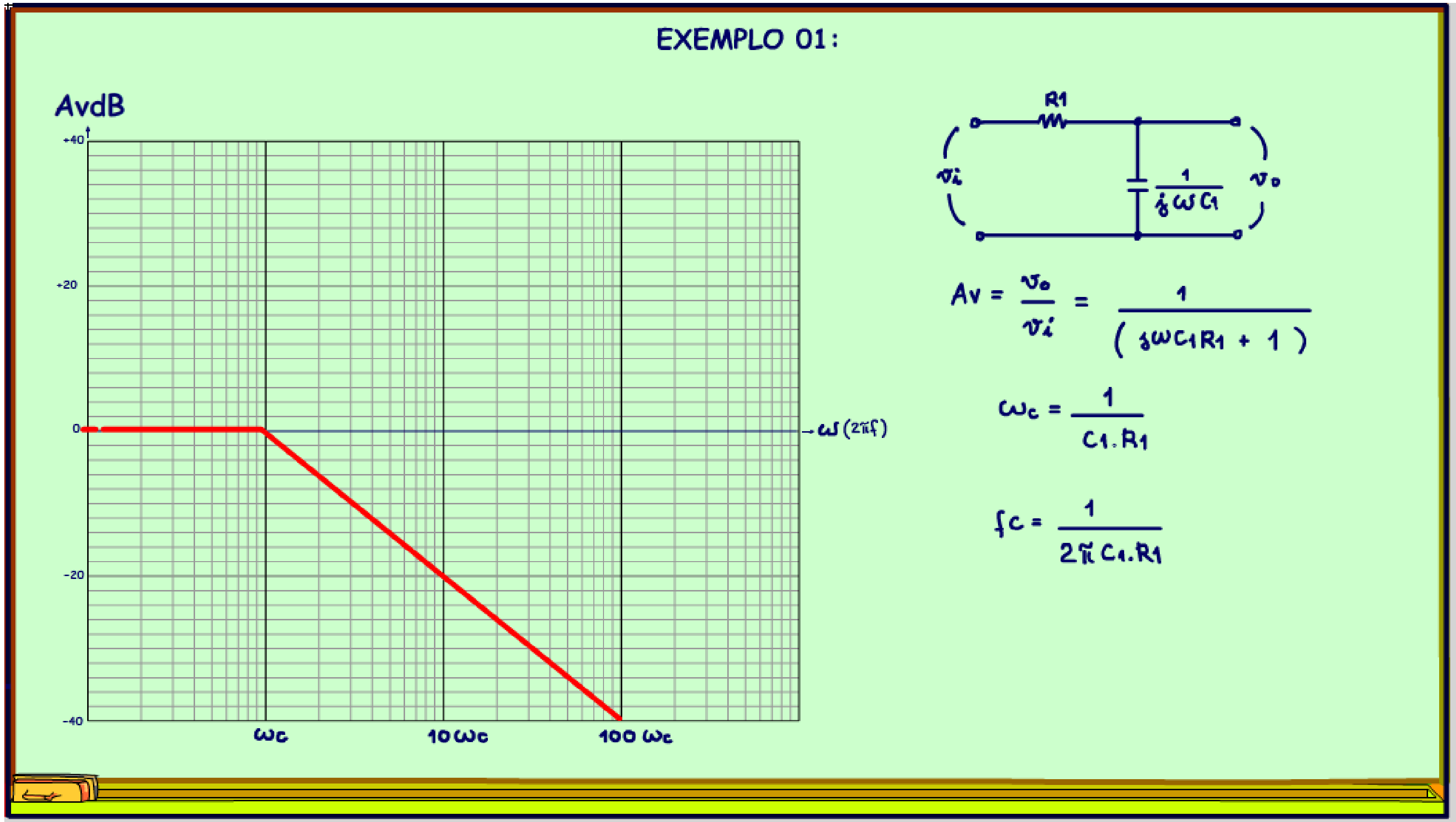


Figura 68

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Esse é um filtro passa baixo RC, um dos mais conhecidos.

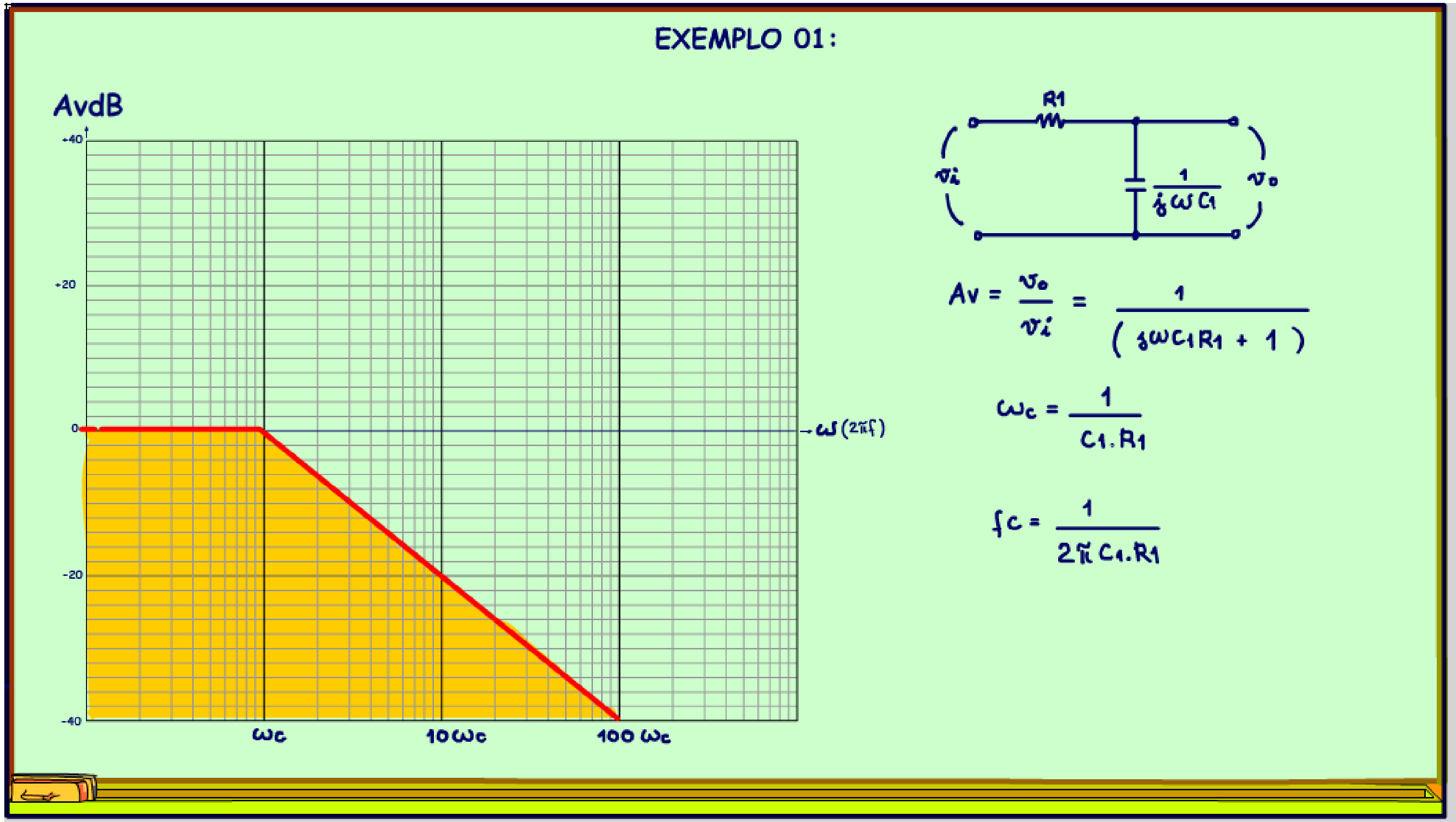


Figura 69

1.9 Exemplo 2:

Agora vou simplesmente inverter o capacitor e a resistência, será que vai mudar muito o gráfico?

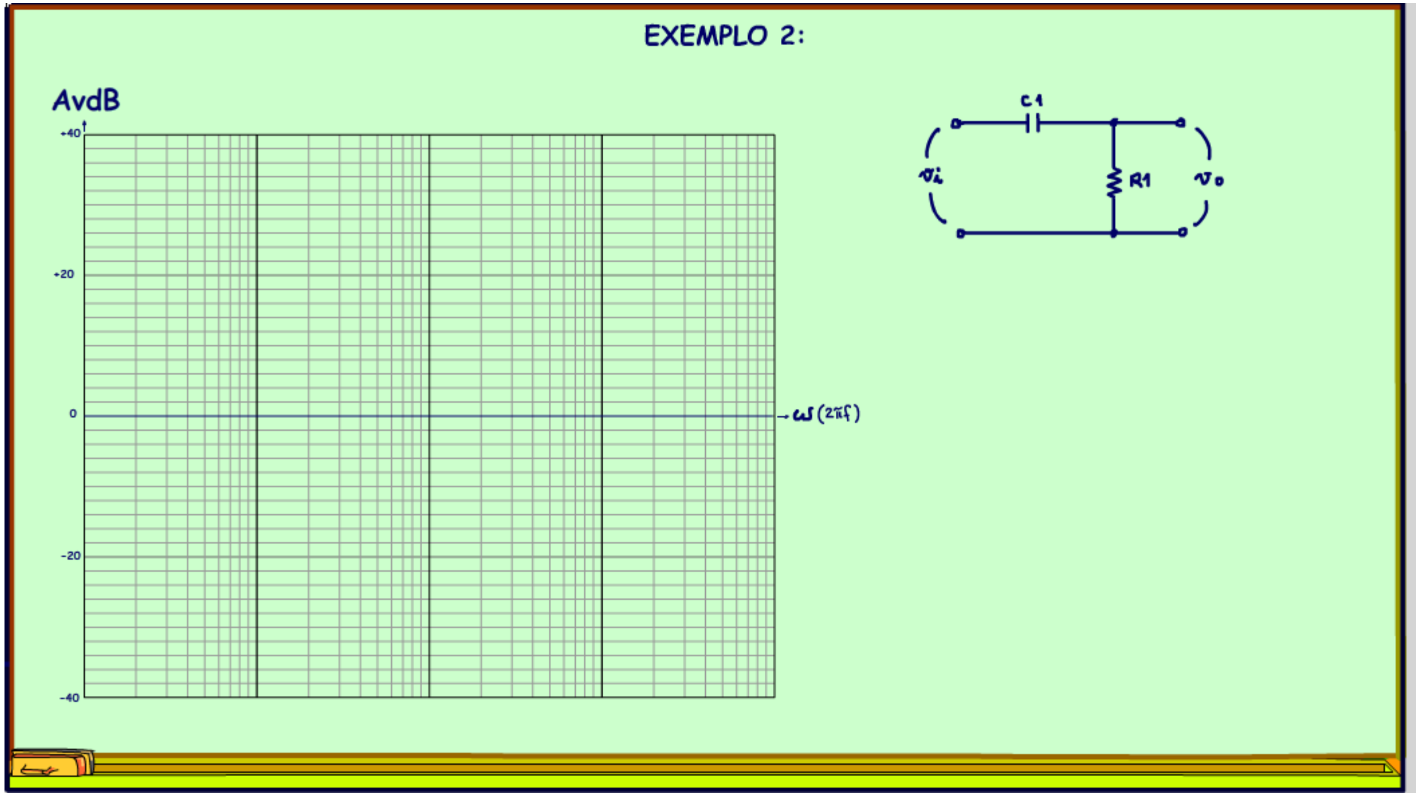


Figura 70

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Para solucionar primeiro você deve passar para o plano das impedâncias.

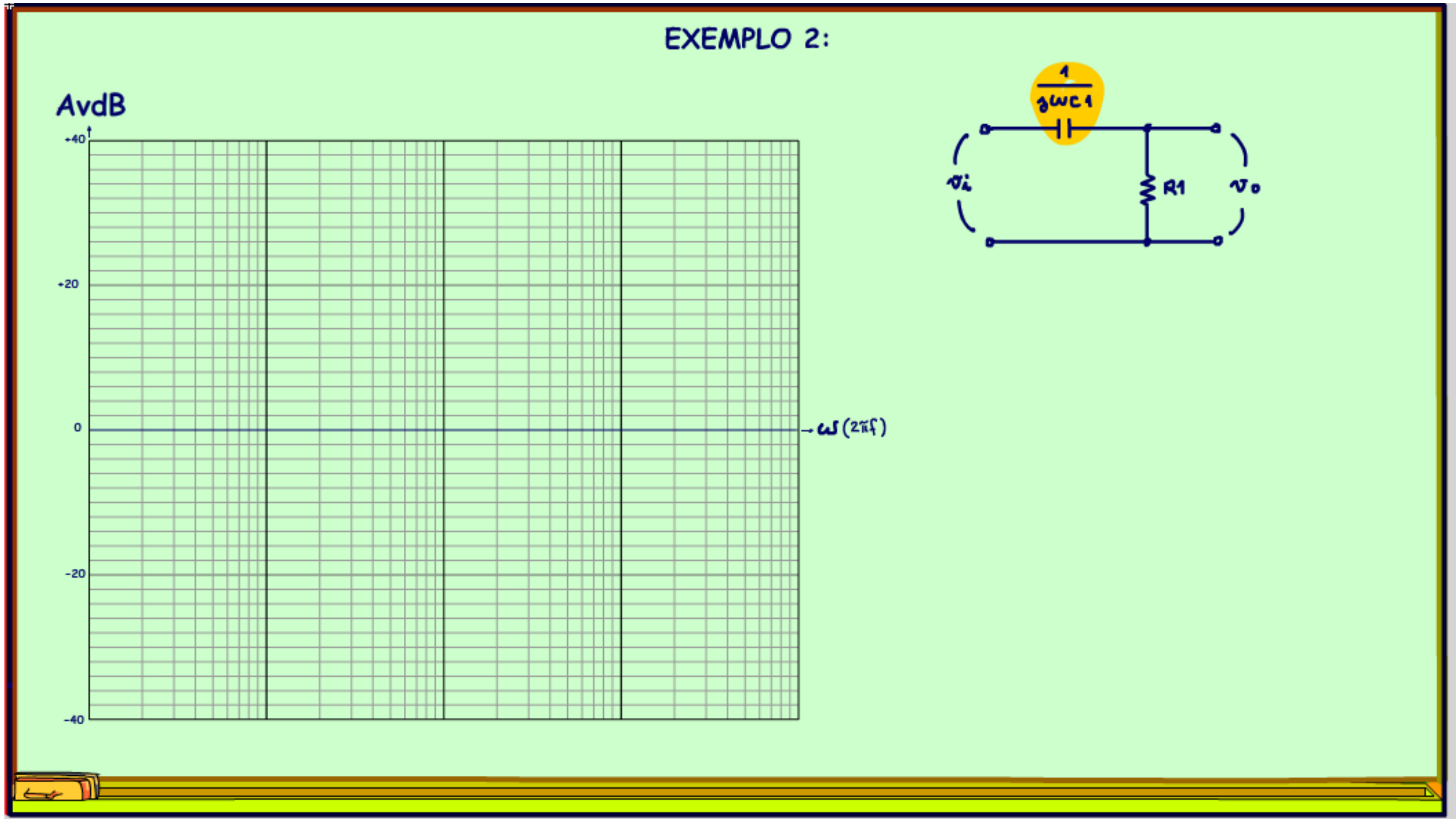


Figura 71

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora é só usar o divisor de tensão como foi feito antes, na maioria dos casos vai ser esse o mecanismo para analisar esse tipo de circuito.

A impedância em paralelo com a saída agora é a resistência.

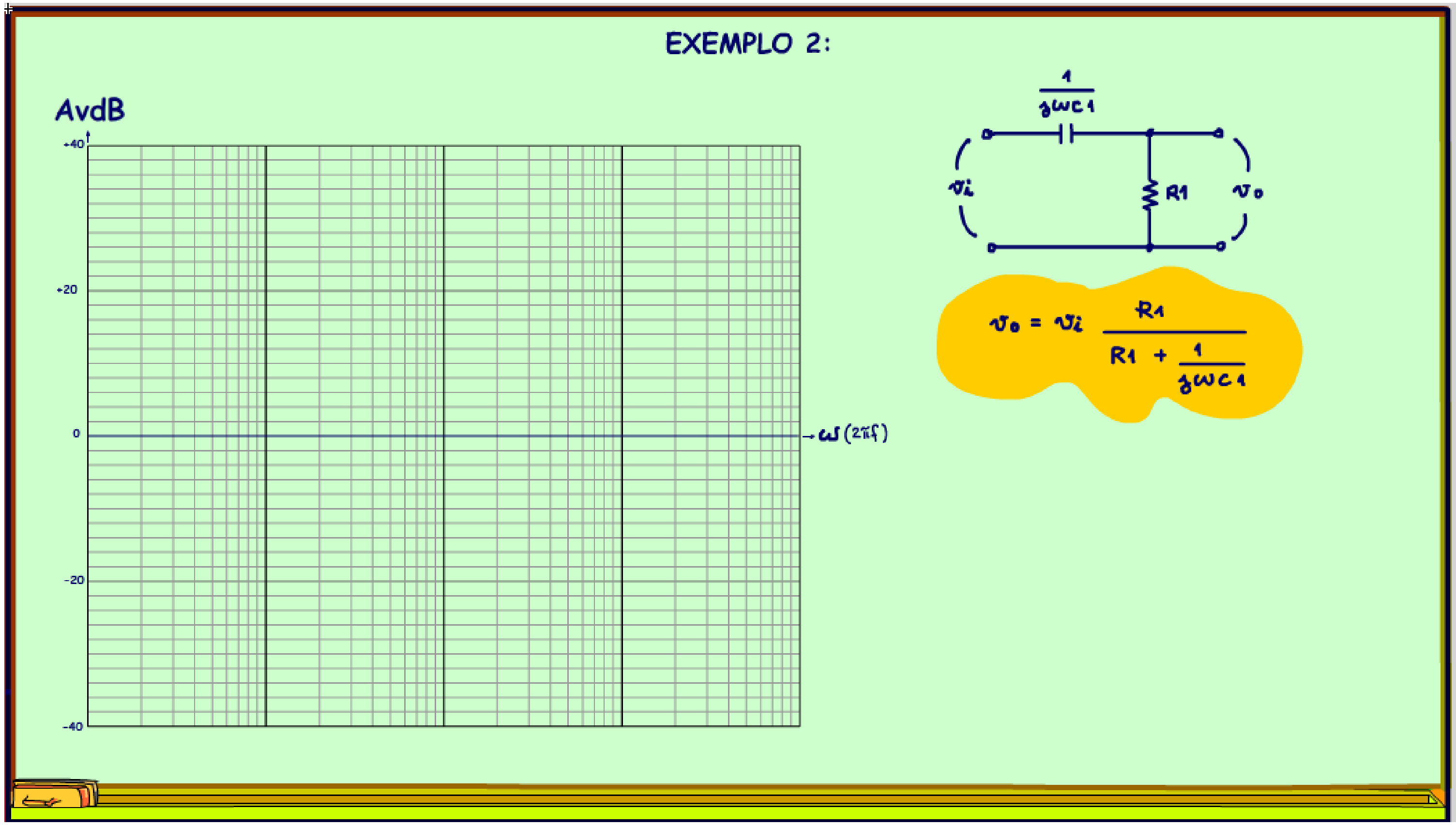


Figura 72

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Antes de continuar já vou escrever a equação do ganho, veja como os passos vão se repetindo.

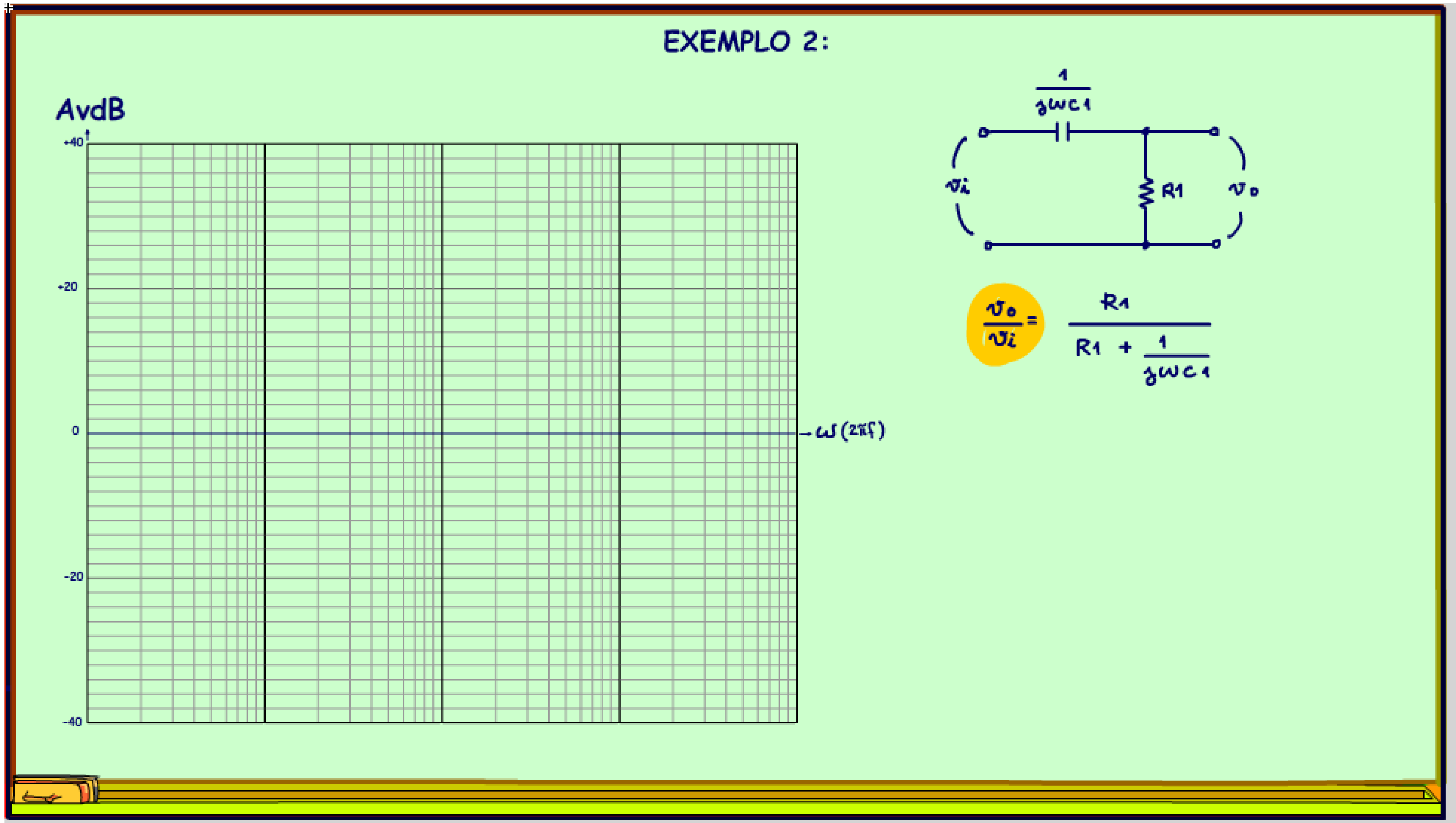


Figura 73

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora vou somar as frações do denominador, o mínimo múltiplo comum é jotawc1.

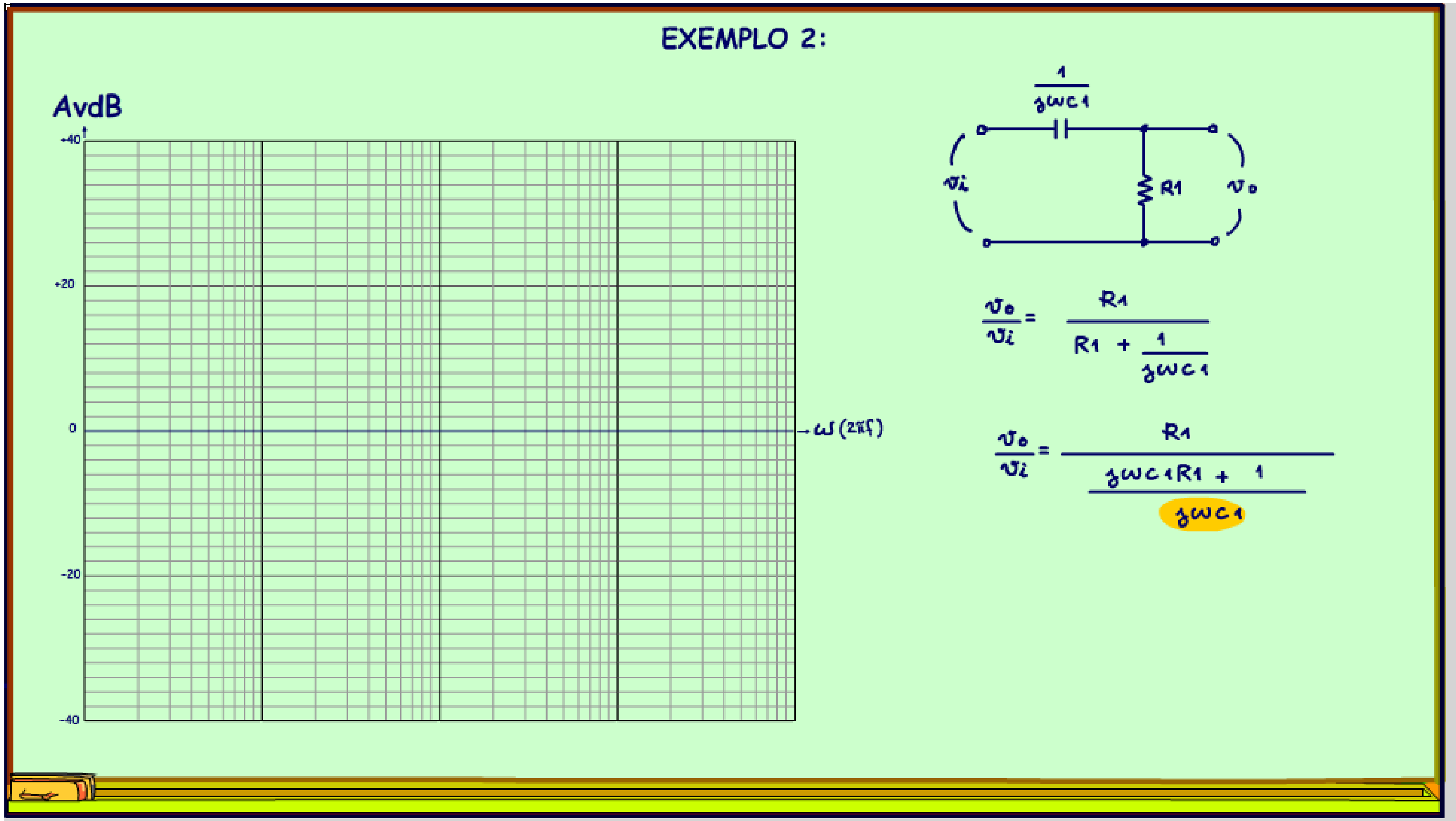


Figura 74

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Que multiplicado na primeira parcela fica como na figura, a segunda parcela fica igual a um, lembra da soma de frações.

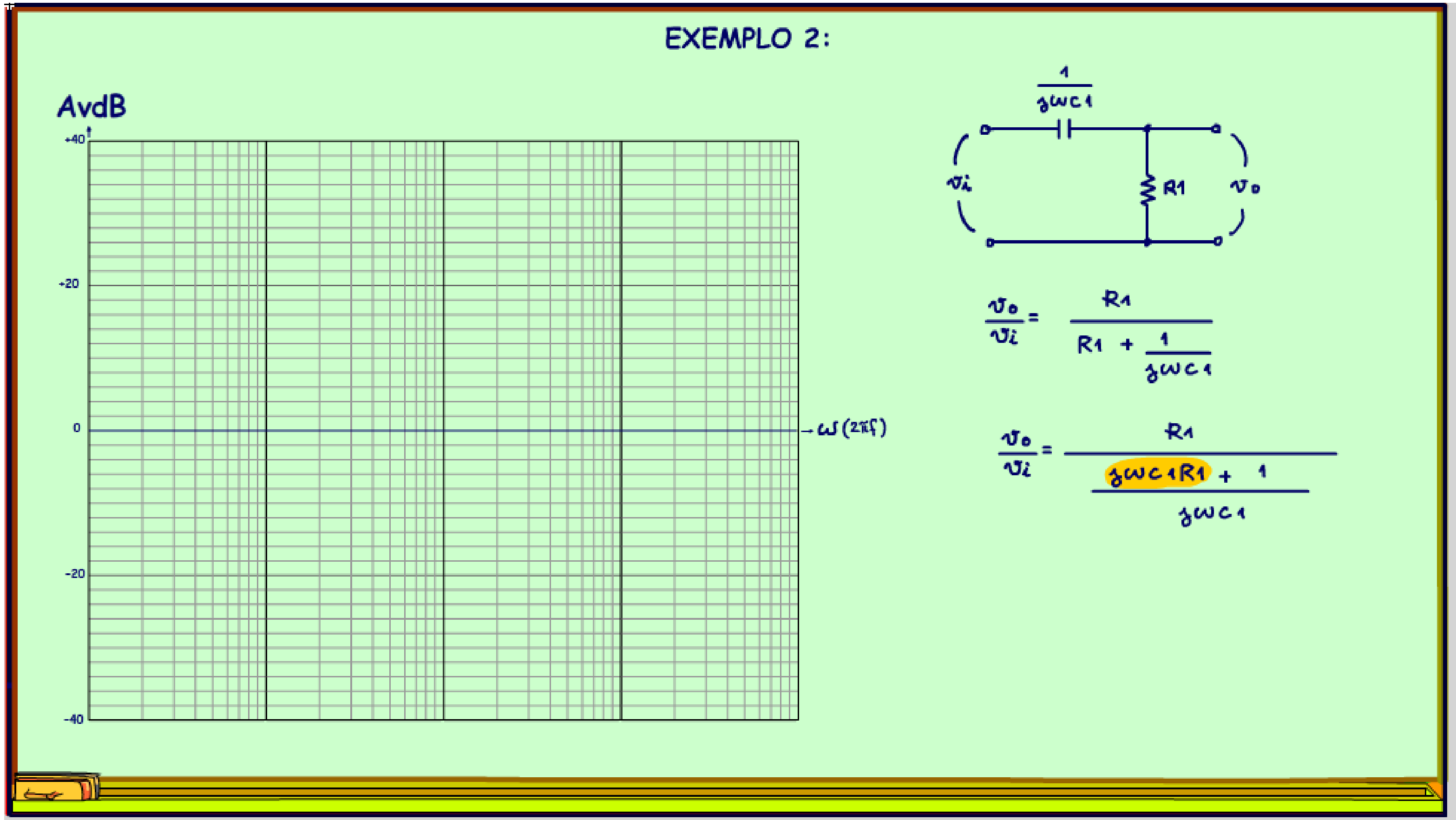


Figura 75

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora é o produto de frações, o numerador R1 multiplicado pelo denominador invertido, ao inverter o jwc1 passa para cima.

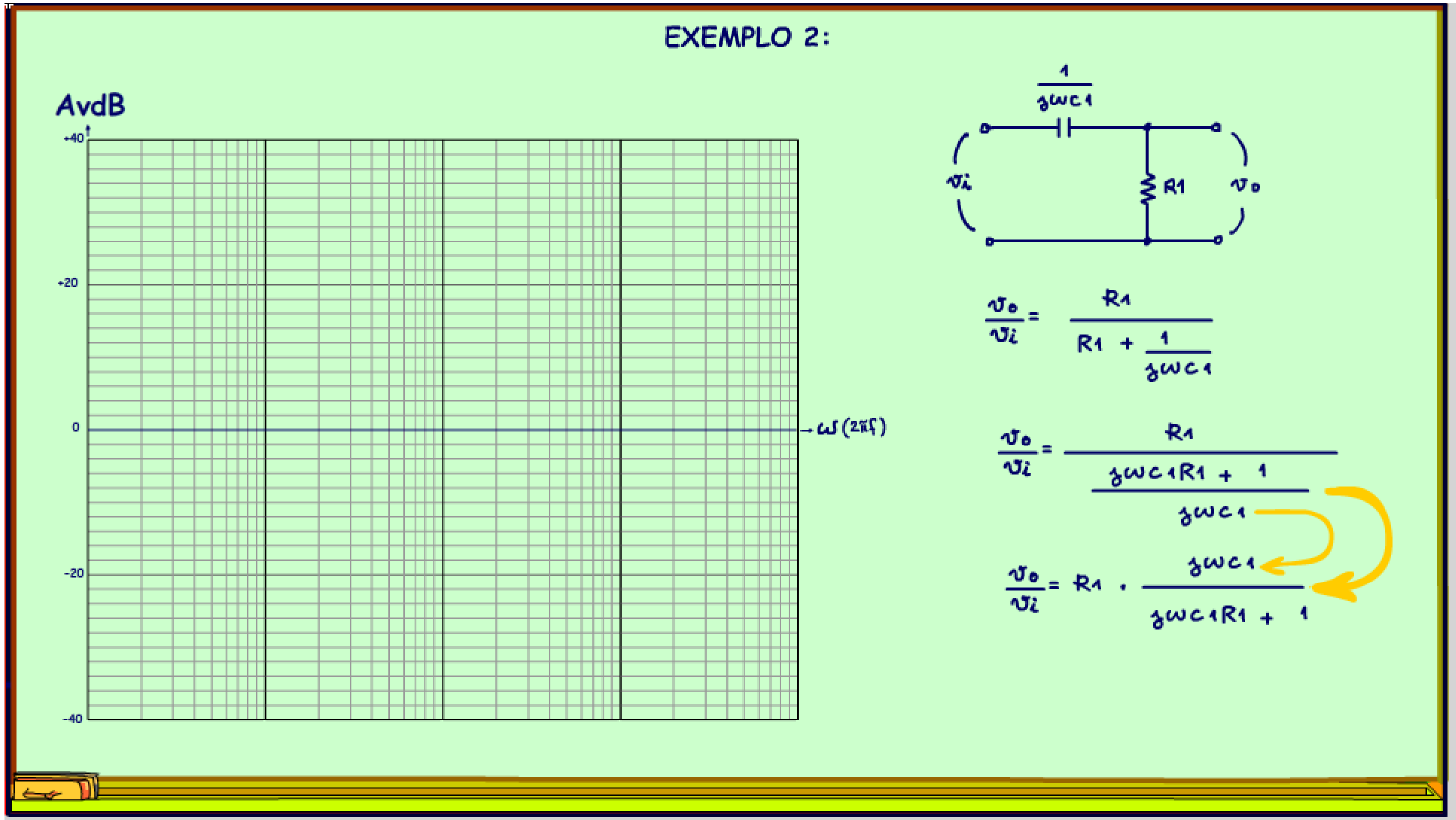


Figura 76

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora é só fazer o produto.

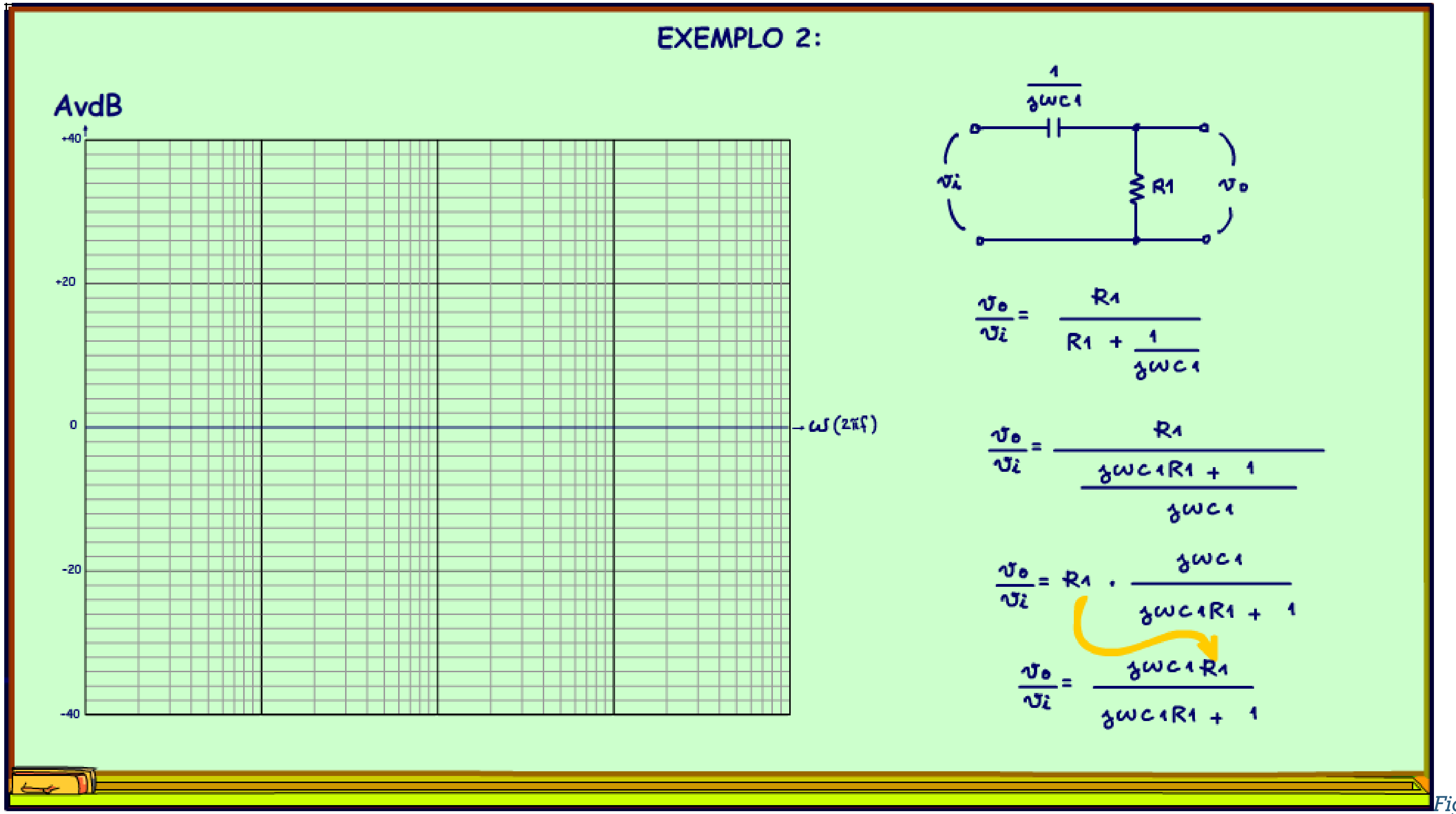


Figura 77

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E pronto chegamos a equação final, você consegue identificar os polos e zeros?

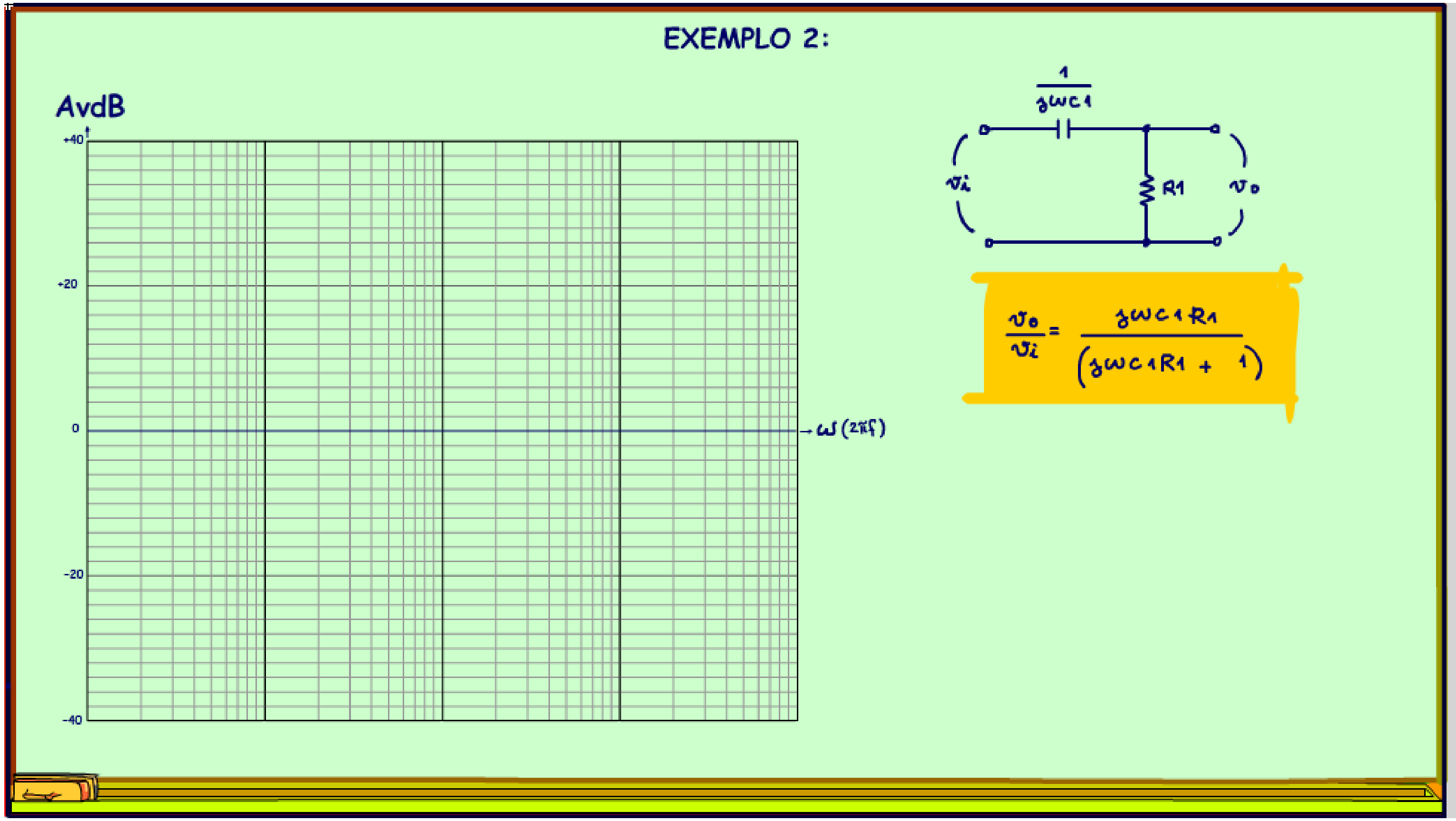


Figura 78

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Tem um polo com a velocidade angular na frequência de corte igual a um sobre R1 C1, igual o polo do circuito anterior.

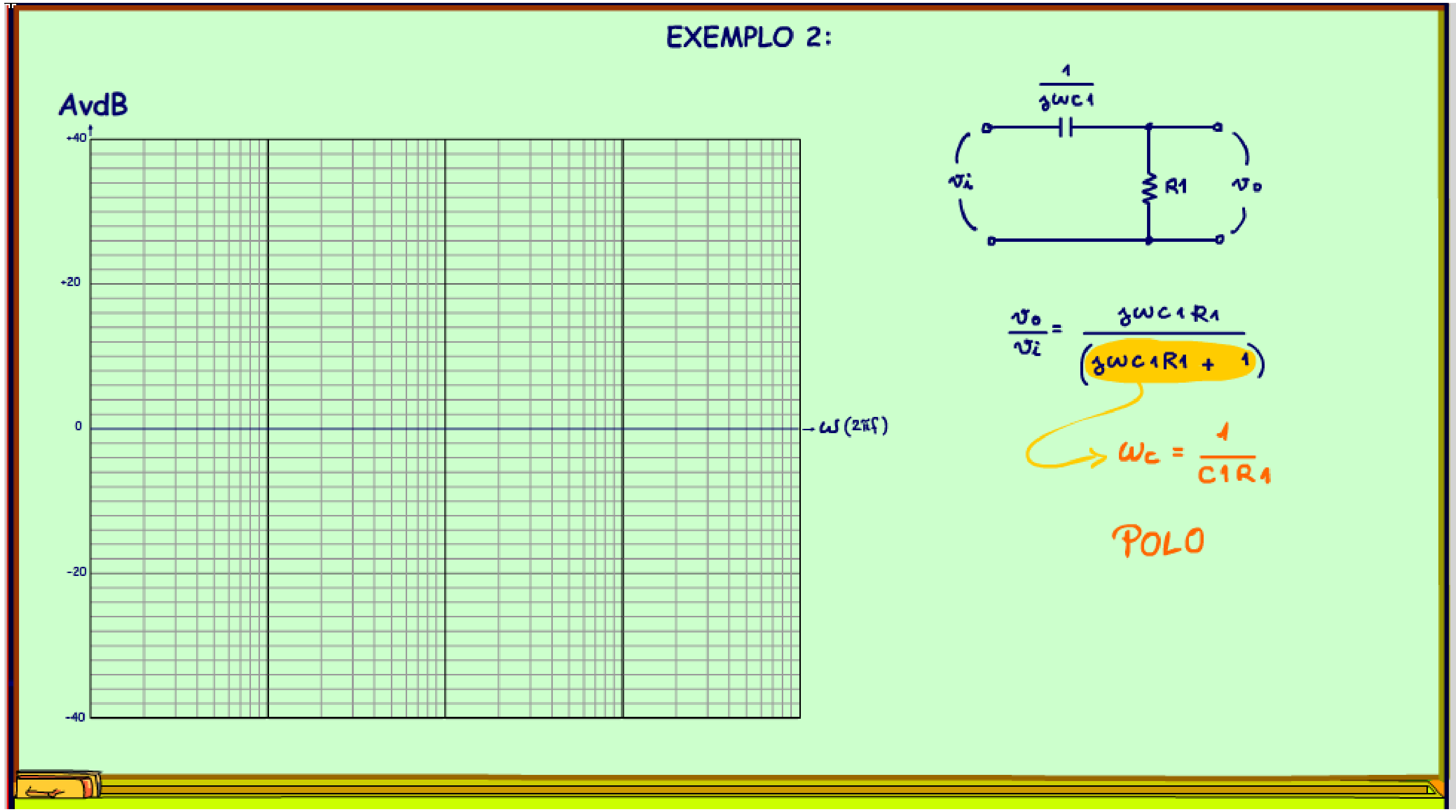


Figura 79

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E tem um zero na origem, com velocidade angular na frequência de corte igual a um sobre R1 C1, a mesma do polo.

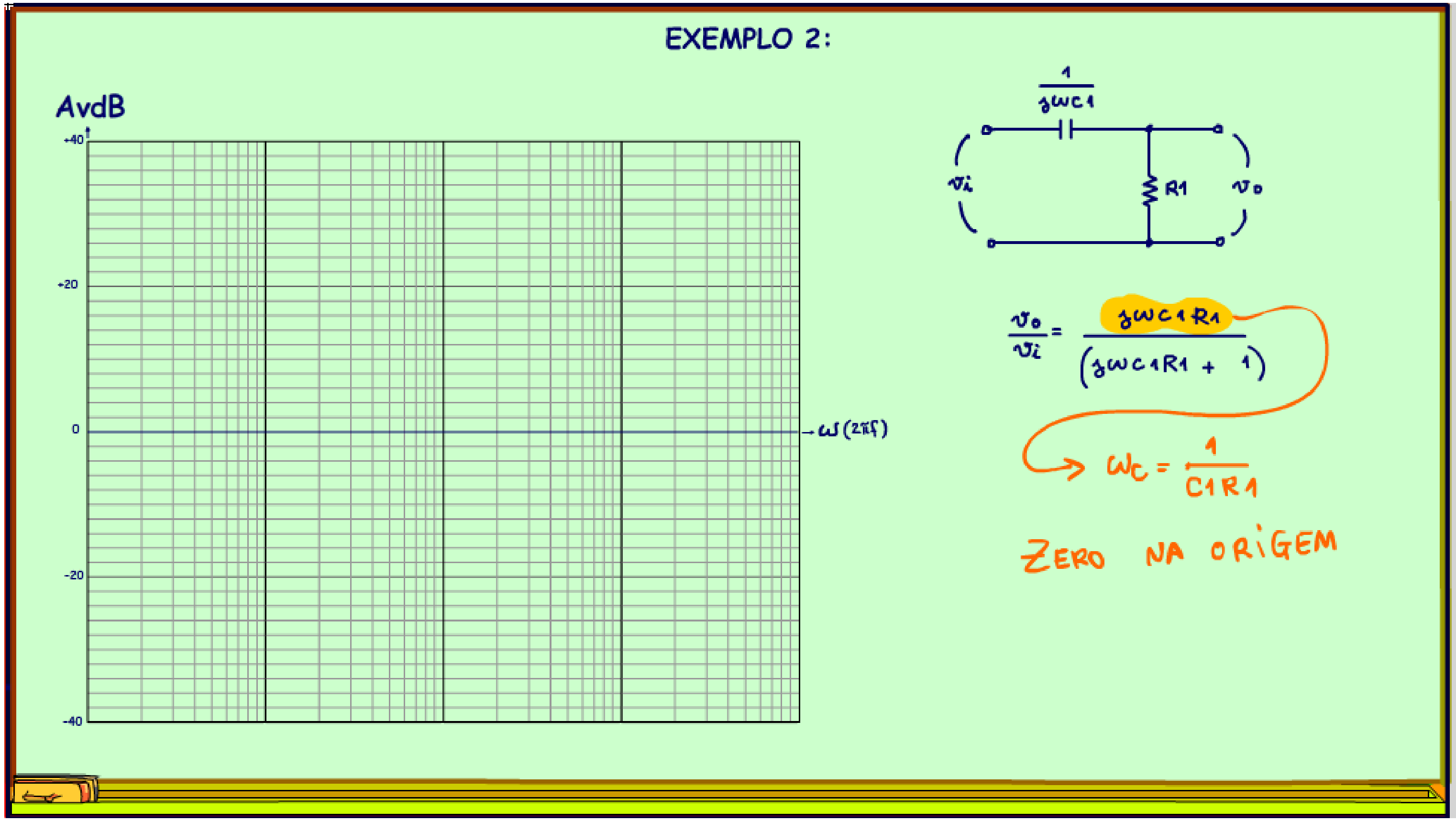


Figura 80

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora você vai ver a mágica acontecer, vou desenhar os dois gráficos, primeiro o polo em vermelho na frequência de corte com velocidade angular igual a um sobre C1R1.

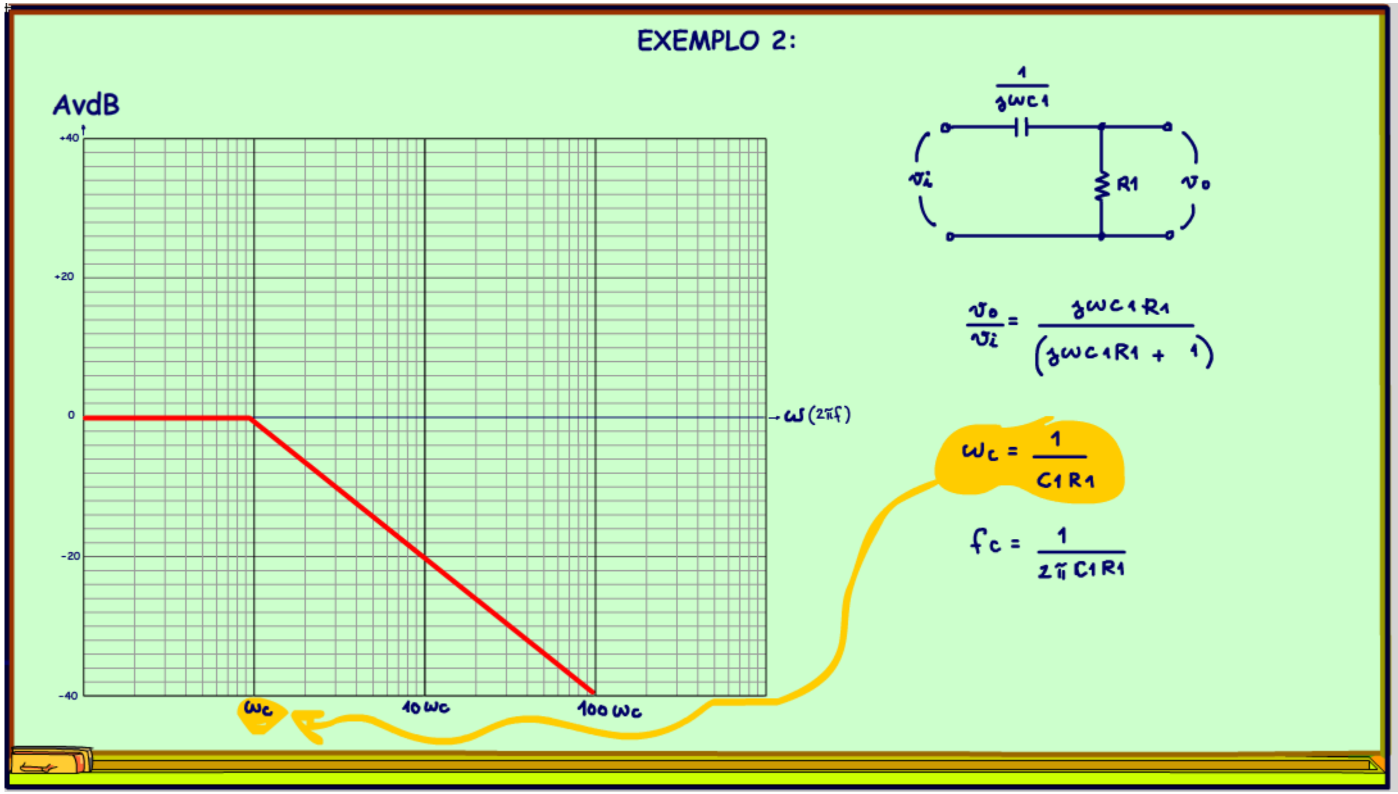


Figura 81

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora vou desenhar o gráfico padrão em verde para o zero na origem, lembra a curva inclinada que sobe sempre e passa por zero exatamente na velocidade angular da frequência de corte, que é a mesma do polo, a inclinação mais 20 db, é só usar os modelinhos.

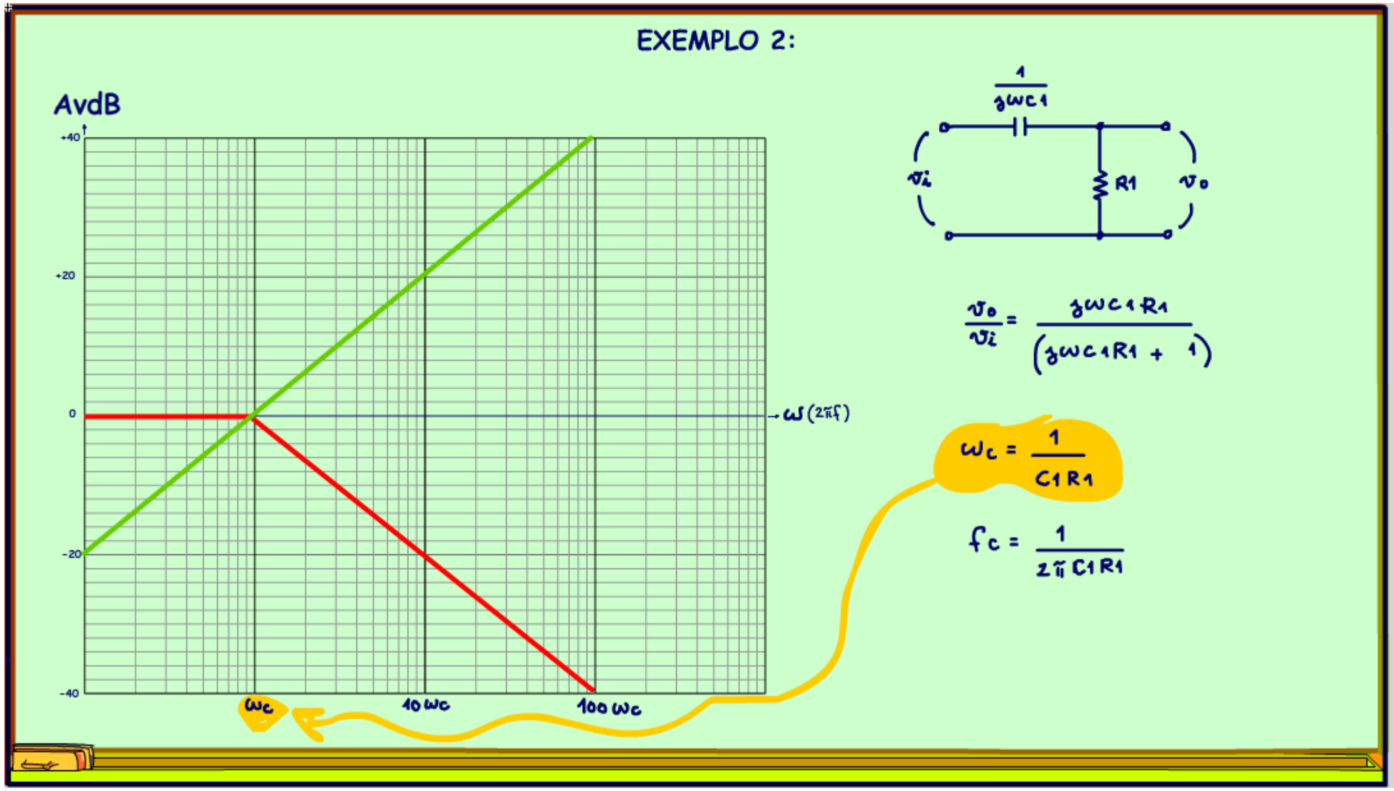


Figura 82

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora a mágica final, a resposta final do circuito é simplesmente a soma dos dois gráficos, ponto a ponto, então para as frequências antes da frequência de corte, o gráfico do polo em vermelho não soma nada, é zero o tempo todo, então, é só gráfico verde do zero na origem é vai influir no resultado.

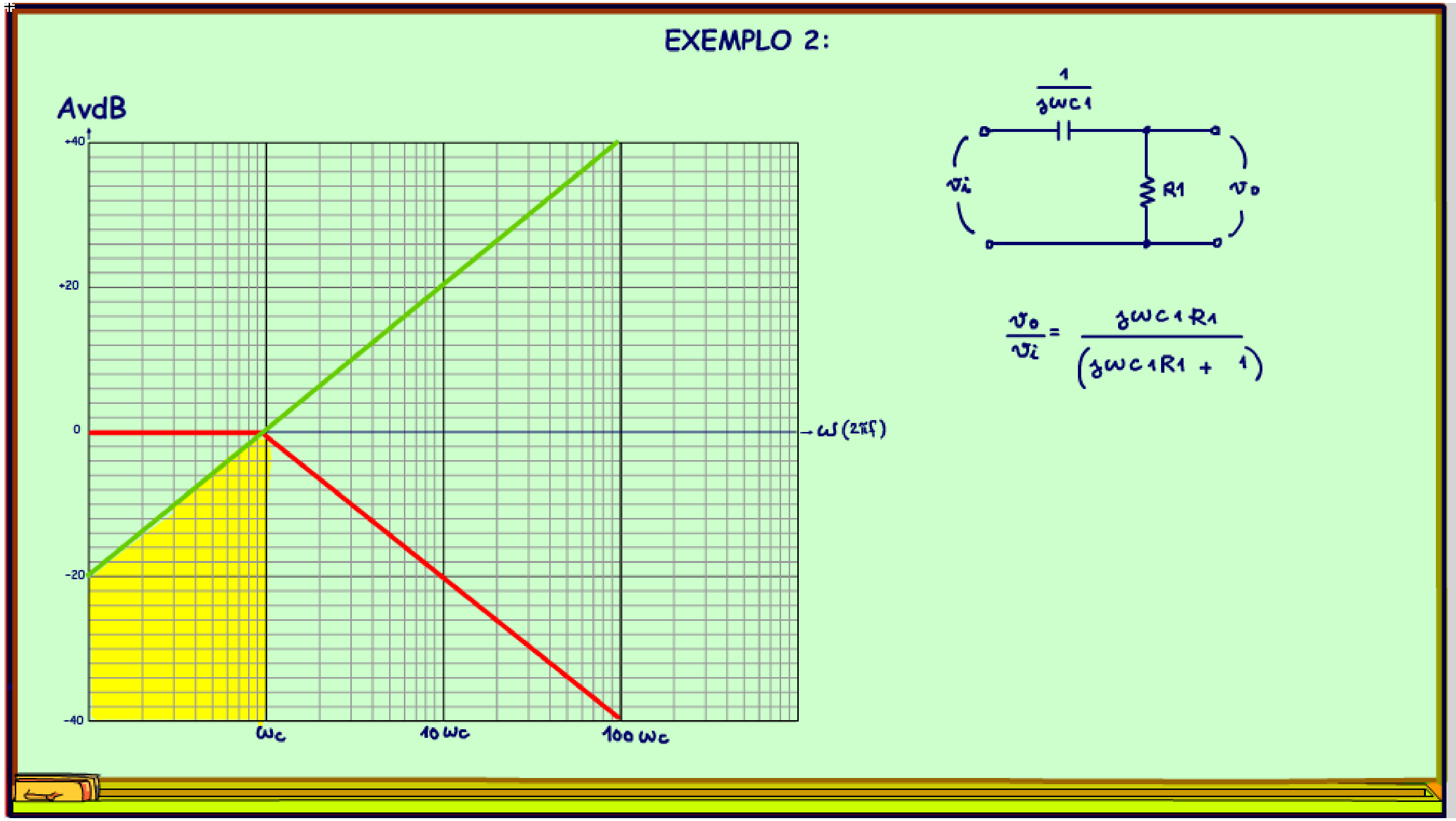


Figura 83

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Por exemplo, bem no início tem o valor zero do polo, menos 20db do zero e pronto a soma dá menos 20 db.

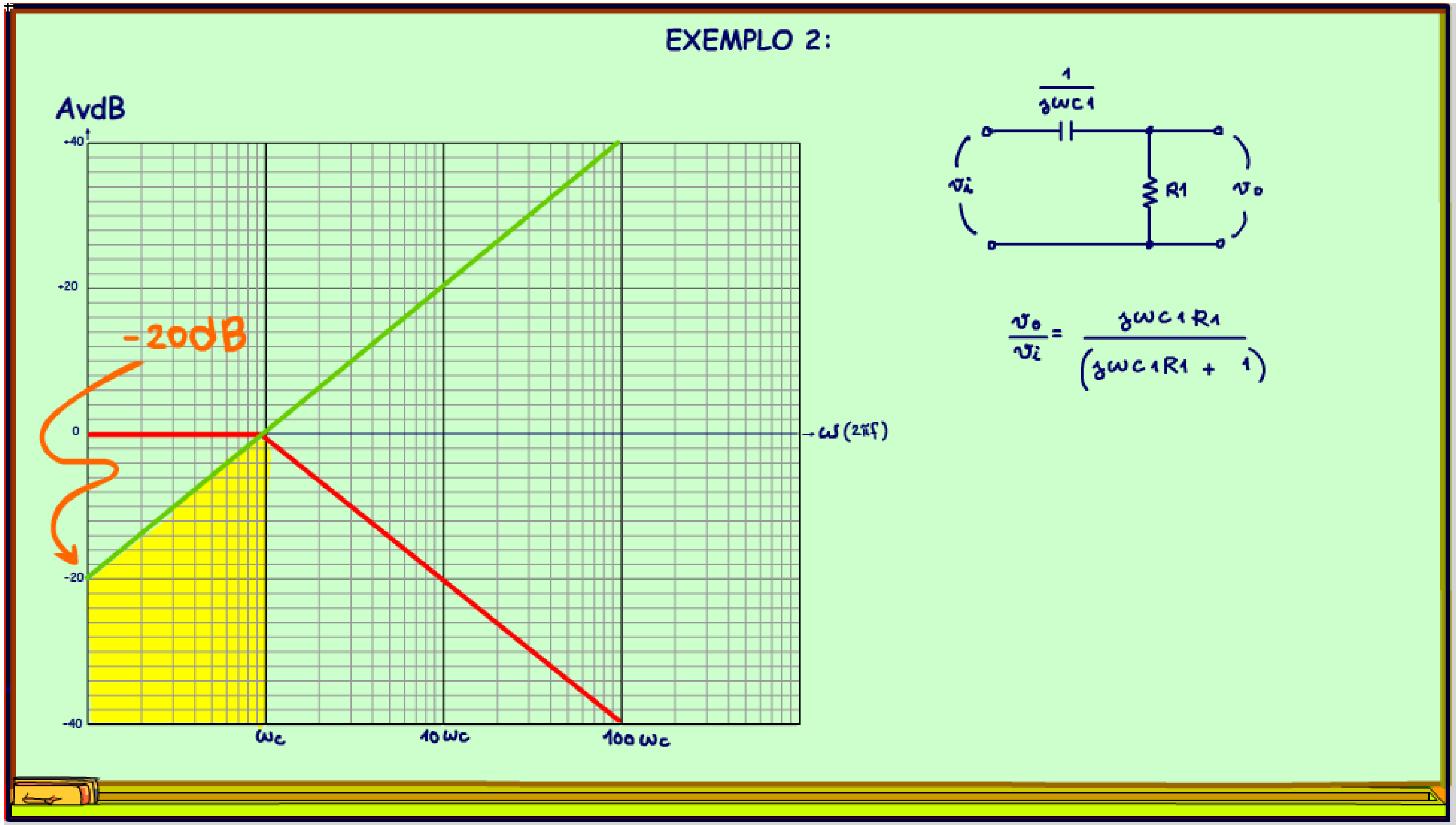


Figura 84

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Veja o milagre acontecendo acima da frequência de corte, agora o polo desce -20 db por década, mas o zero puxa a curva para cima no mesmo ritmo, resultado é zero.

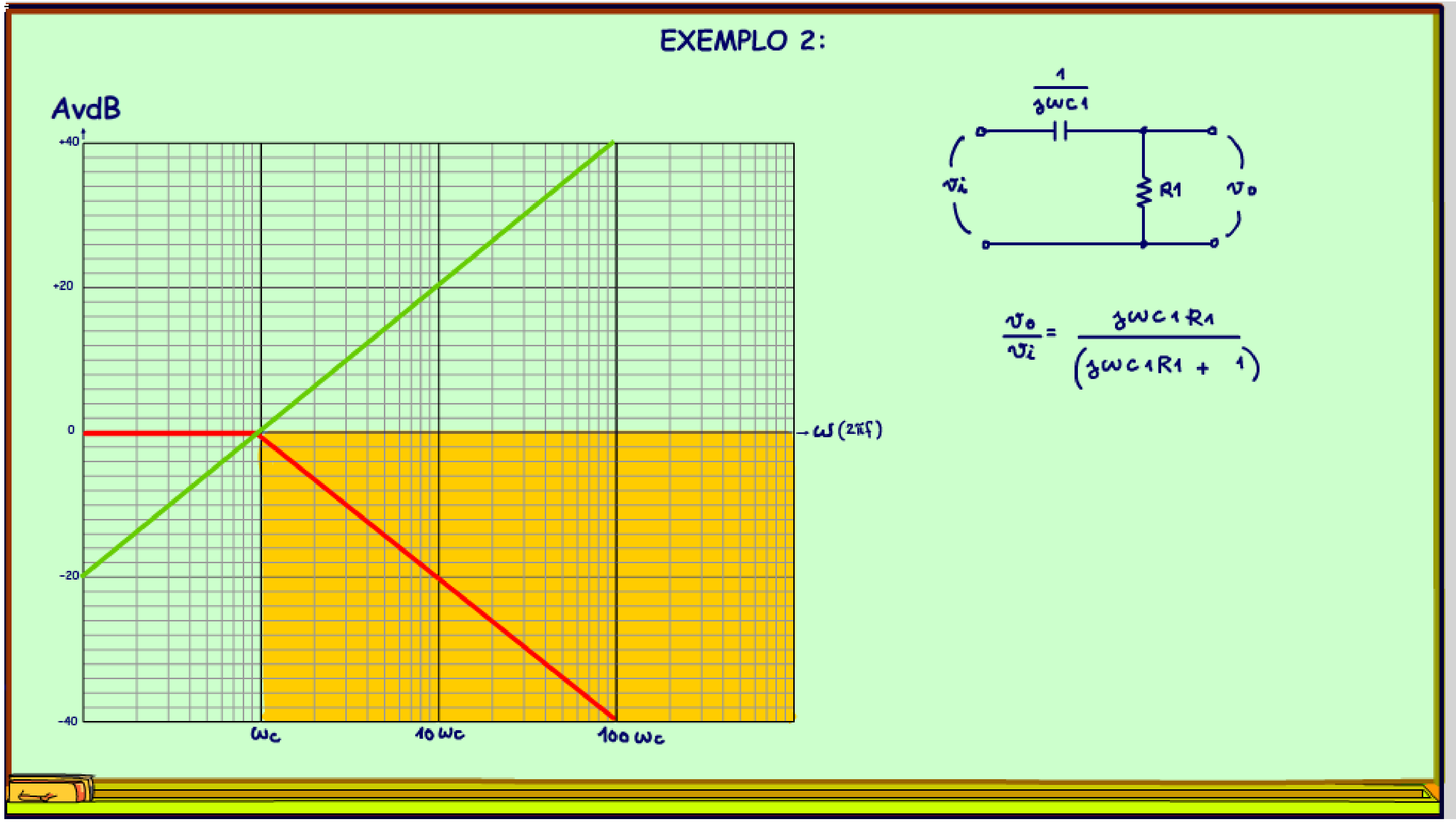


Figura 85

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Então a solução é muito simples de computar, é só somar os polos e zeros das curvas, nesse circuito abaixo da frequência de corte o sinal de saída é atenuado, e acima se mantém firme, esse é um filtro passa alto.

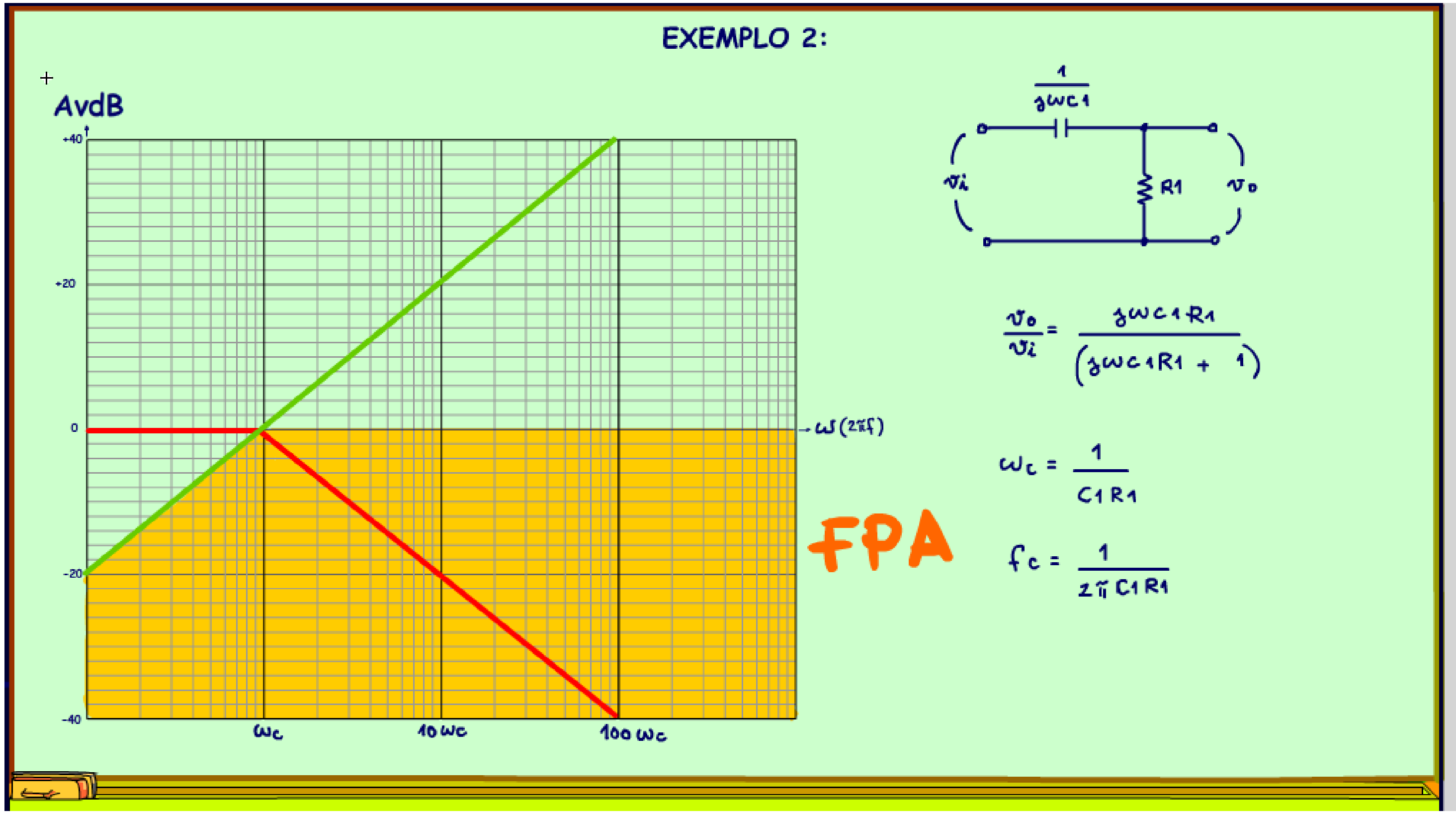


Figura 86

1.10 EXEMPLO 3:

E agora depois de duzentos anos eu vou responder ao seguidor José Tavares, vou mostrar a análise e levantar a curva de transferência do circuito sugerido por ele, o circuito da figura.

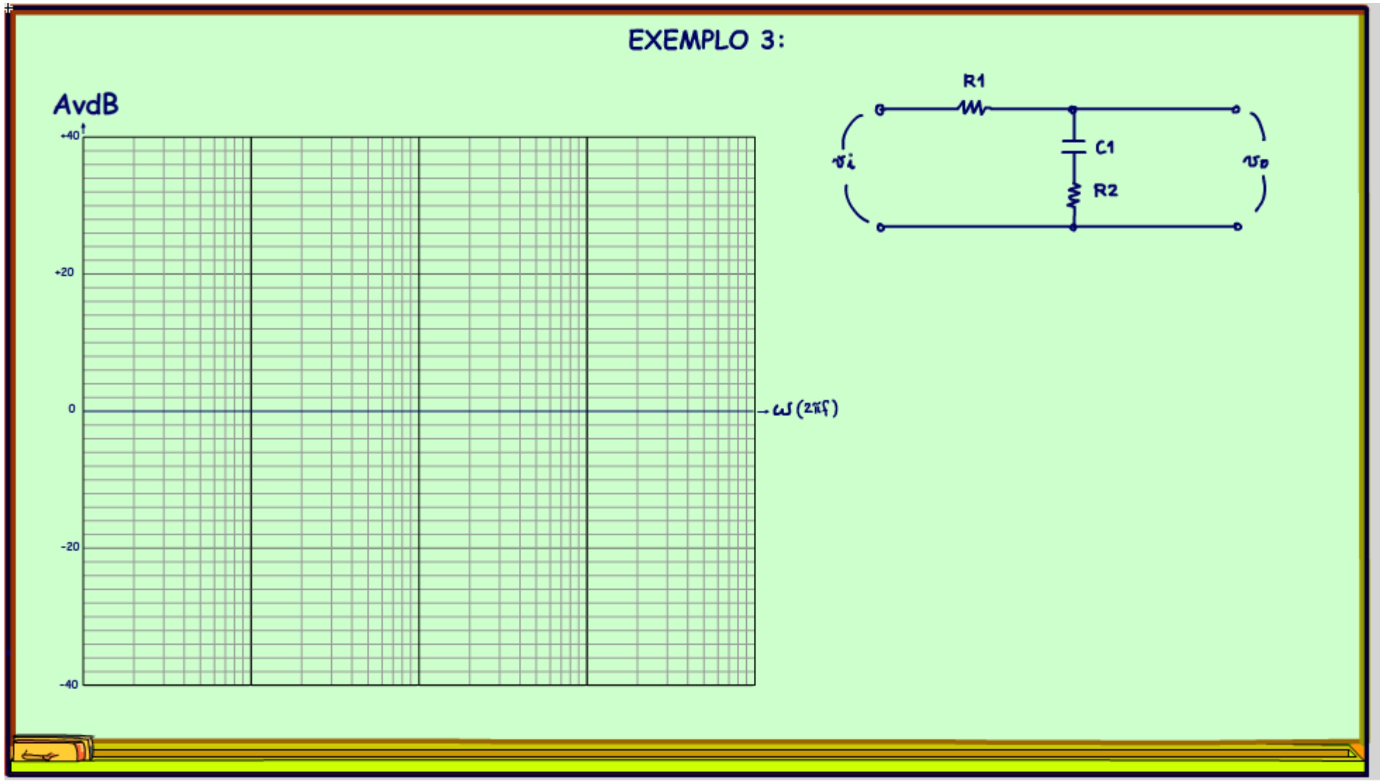


Figura 87

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Você já sabe o primeiro passo, passar para o plano das impedâncias, eu preciso dos jotas para os zero e polos das equações.

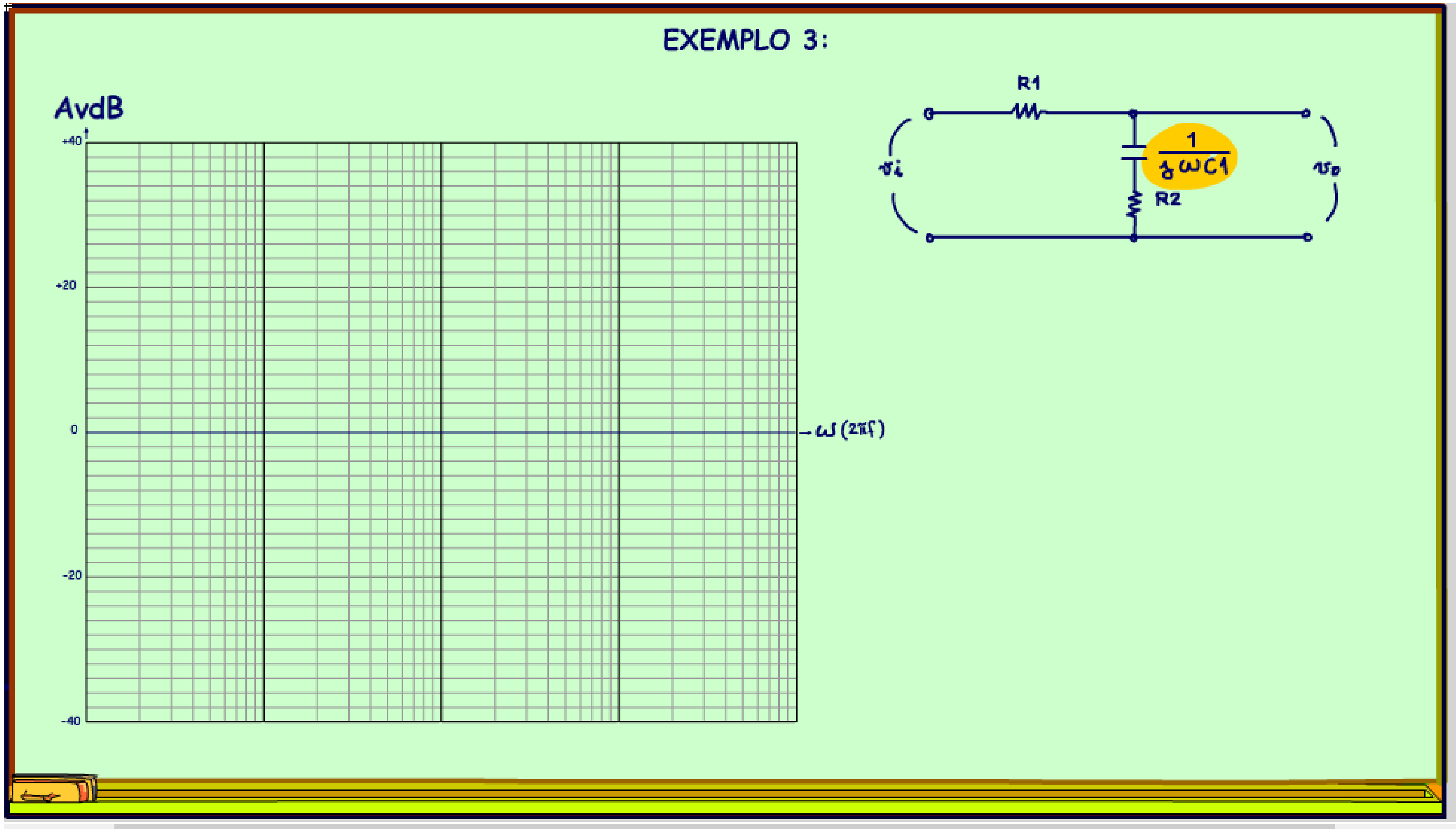


Figura 88

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

A solução é similar, já vou adiantando e vou escrever a equação em função de vo sobre vi o ganho de tensão.

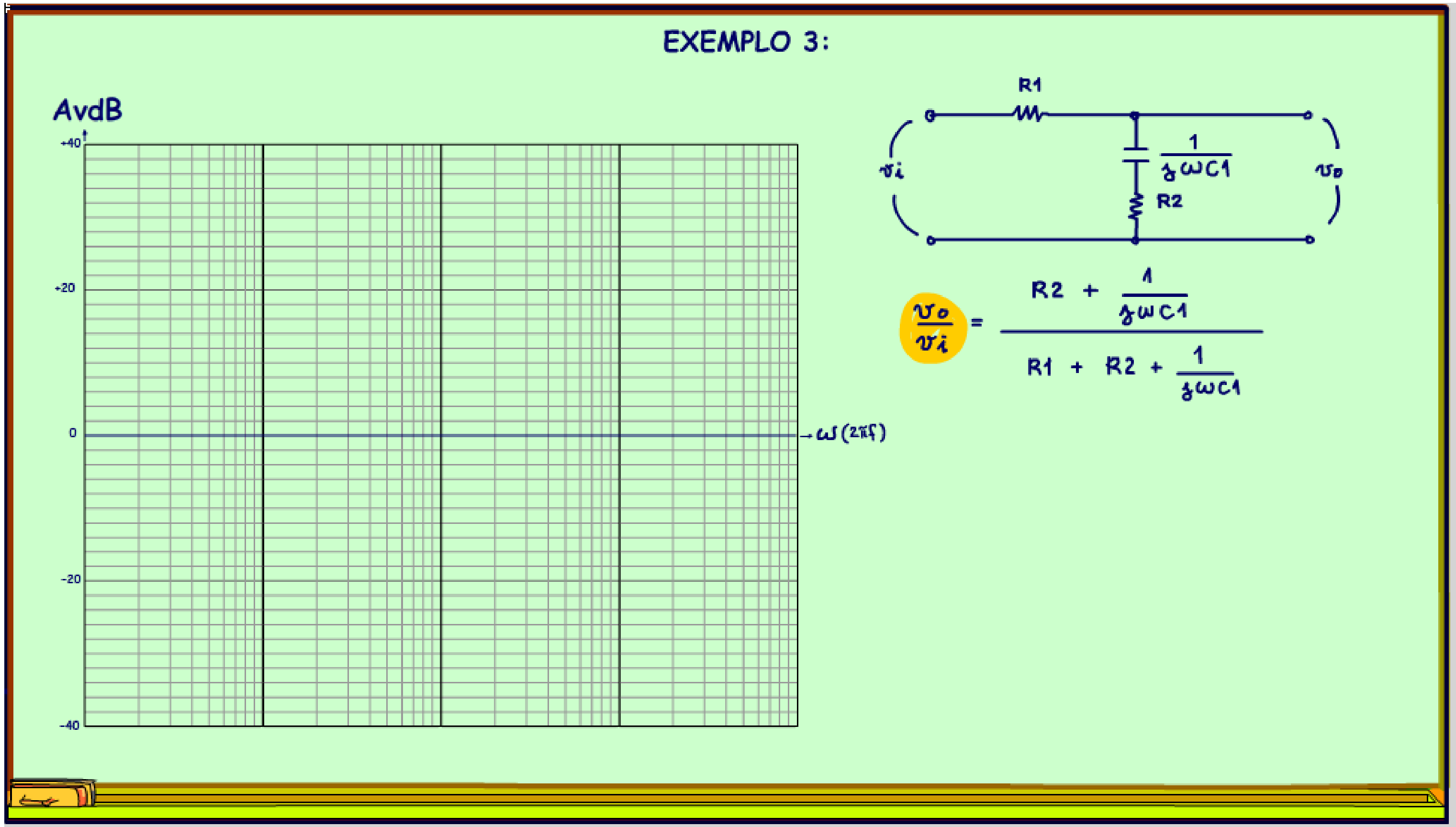


Figura 89

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Vou usar novamente o divisor de tensão, mas cuidado a impedância em paralelo com a saída agora é a soma de R2 com C1.

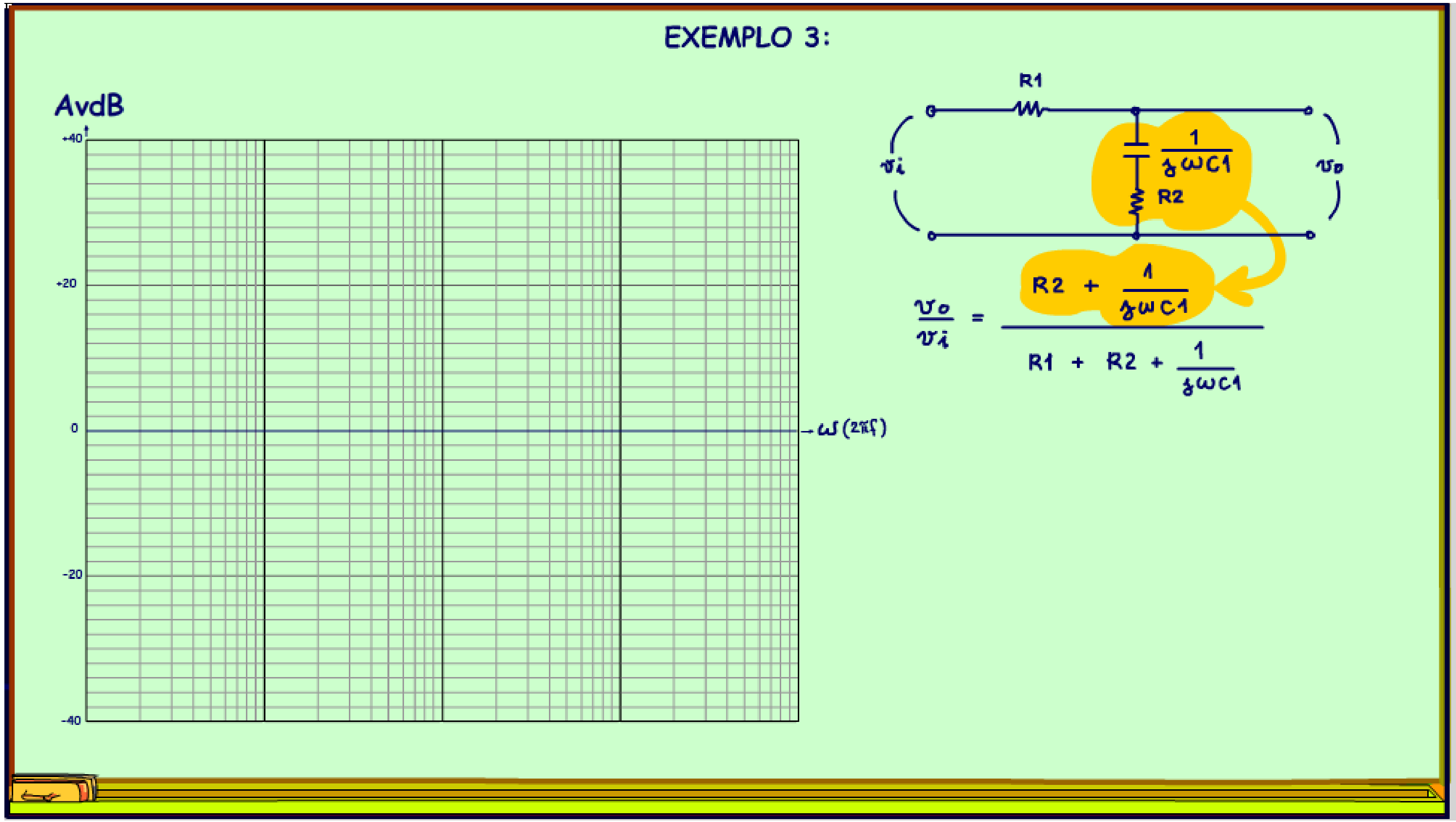


Figura 90

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

No denumerador a soma de R1 com a impedância em paralelo, simples assim.

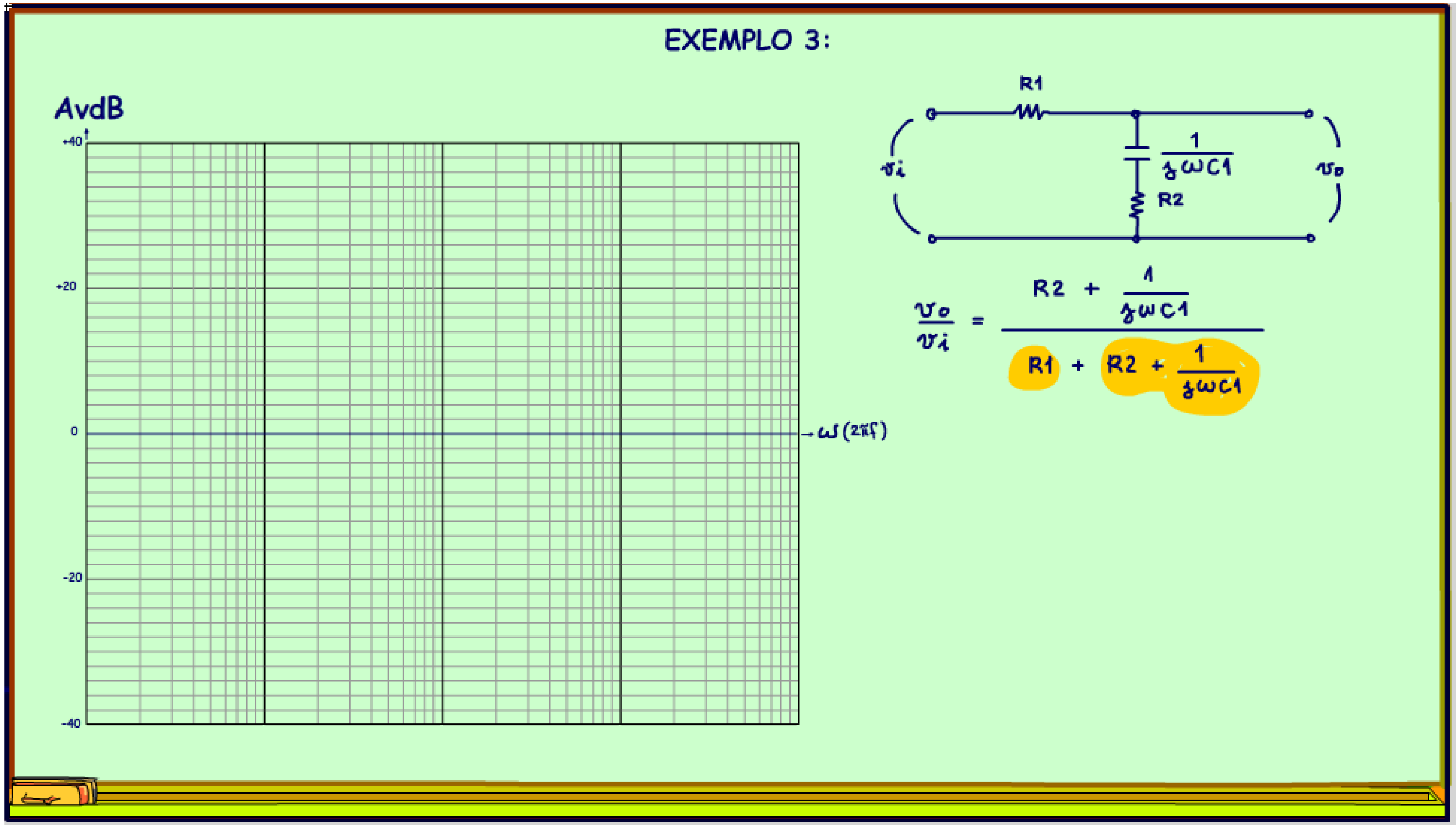


Figura 91

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora é matemática, e pode ter mais de uma forma de resolver, eu vou primeiro somar a fração do numerador, já fizemos isso antes, viu como as operações vão se repetindo, então tem que praticar.

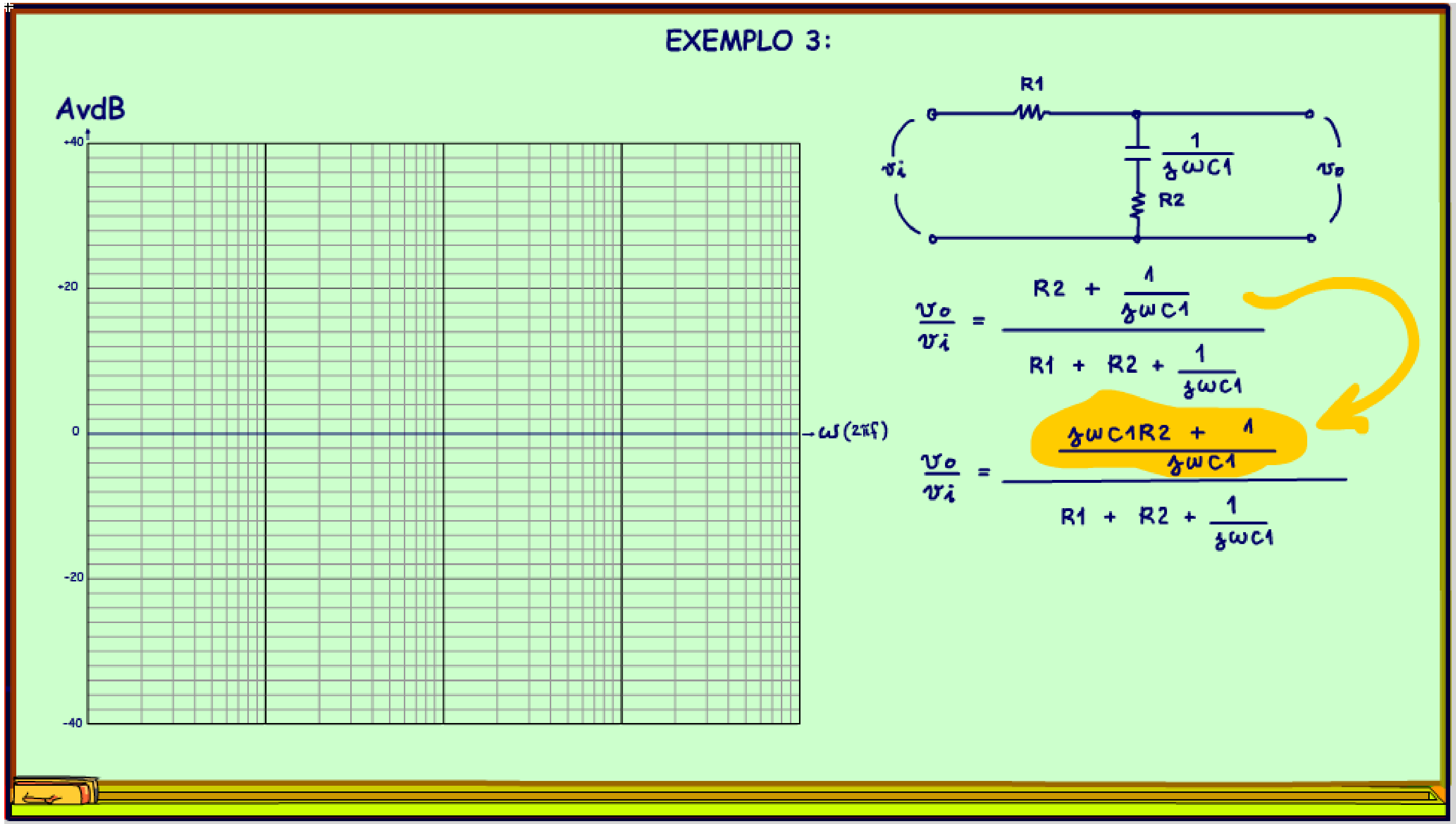


Figura 92

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Vou fazer o mesmo no denominador, o mínimo múltiplo comum vai multiplicar R1 mais R2, por isso ficou entre parênteses.

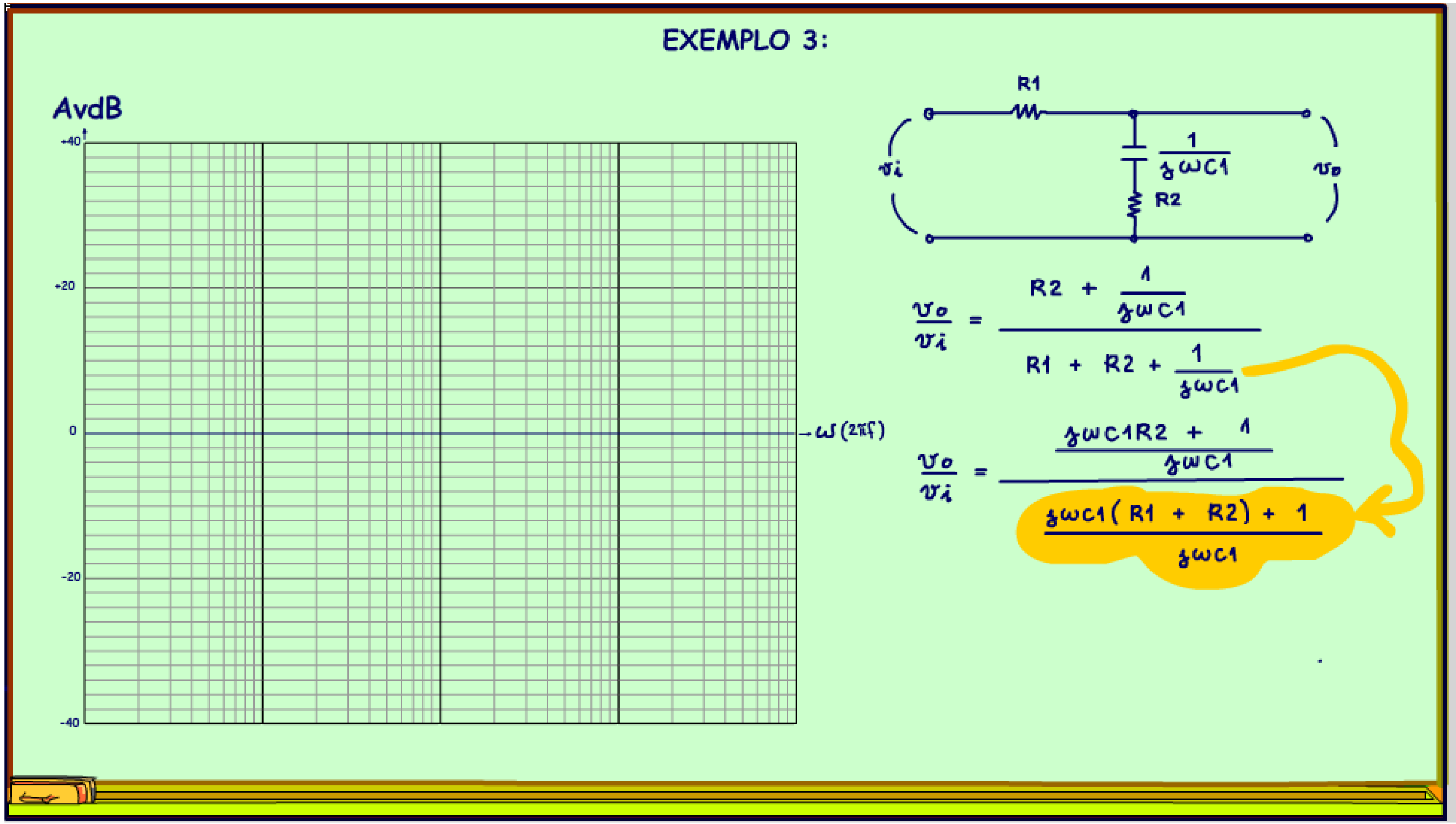


Figura 93

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora a divisão de frações, o numerador multiplicando o denominador invertido, tudo se repetindo, divisão de frações lá do primário.

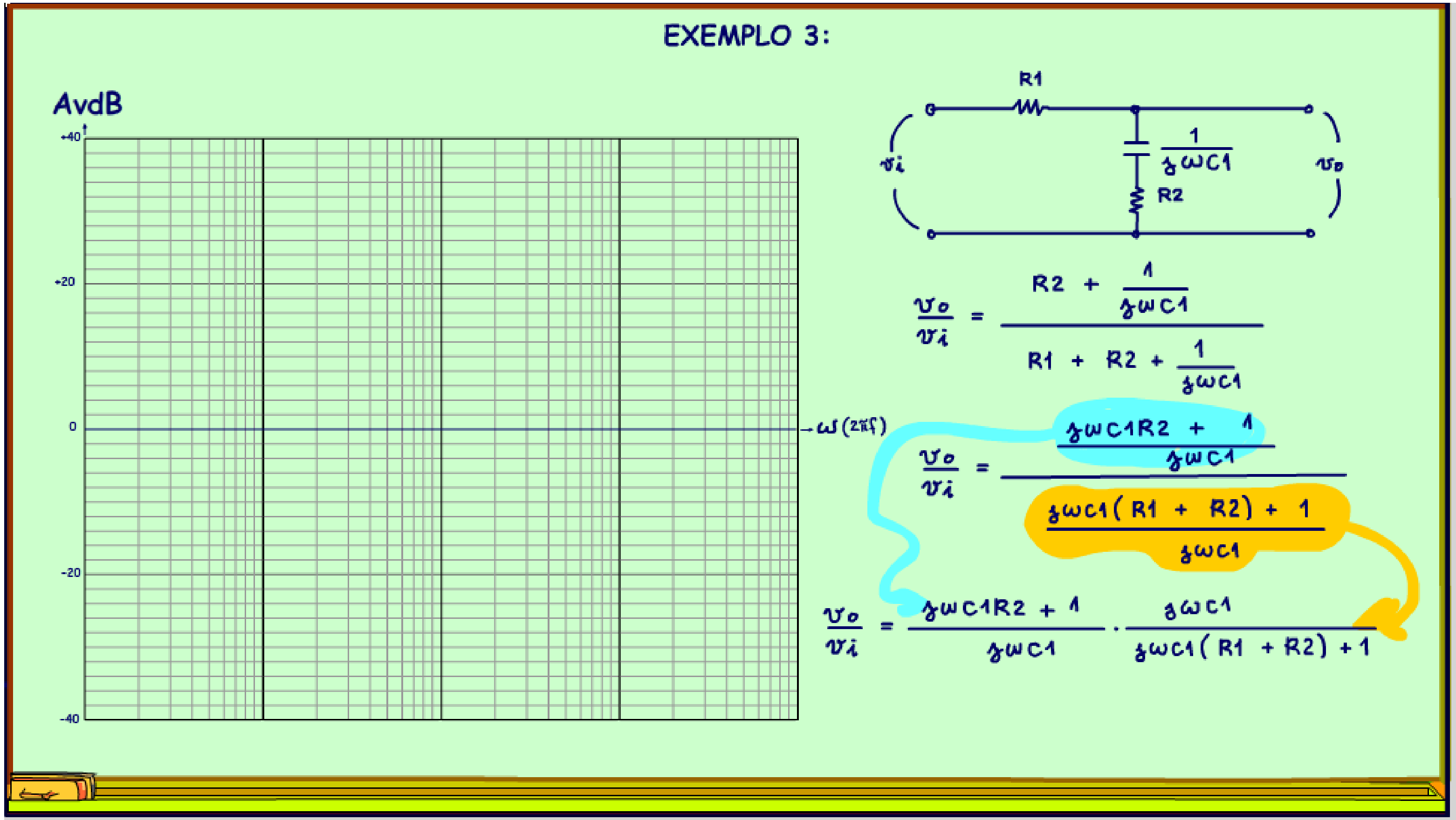


Figura 94

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Vocês conseguem ver a simplificação ali?

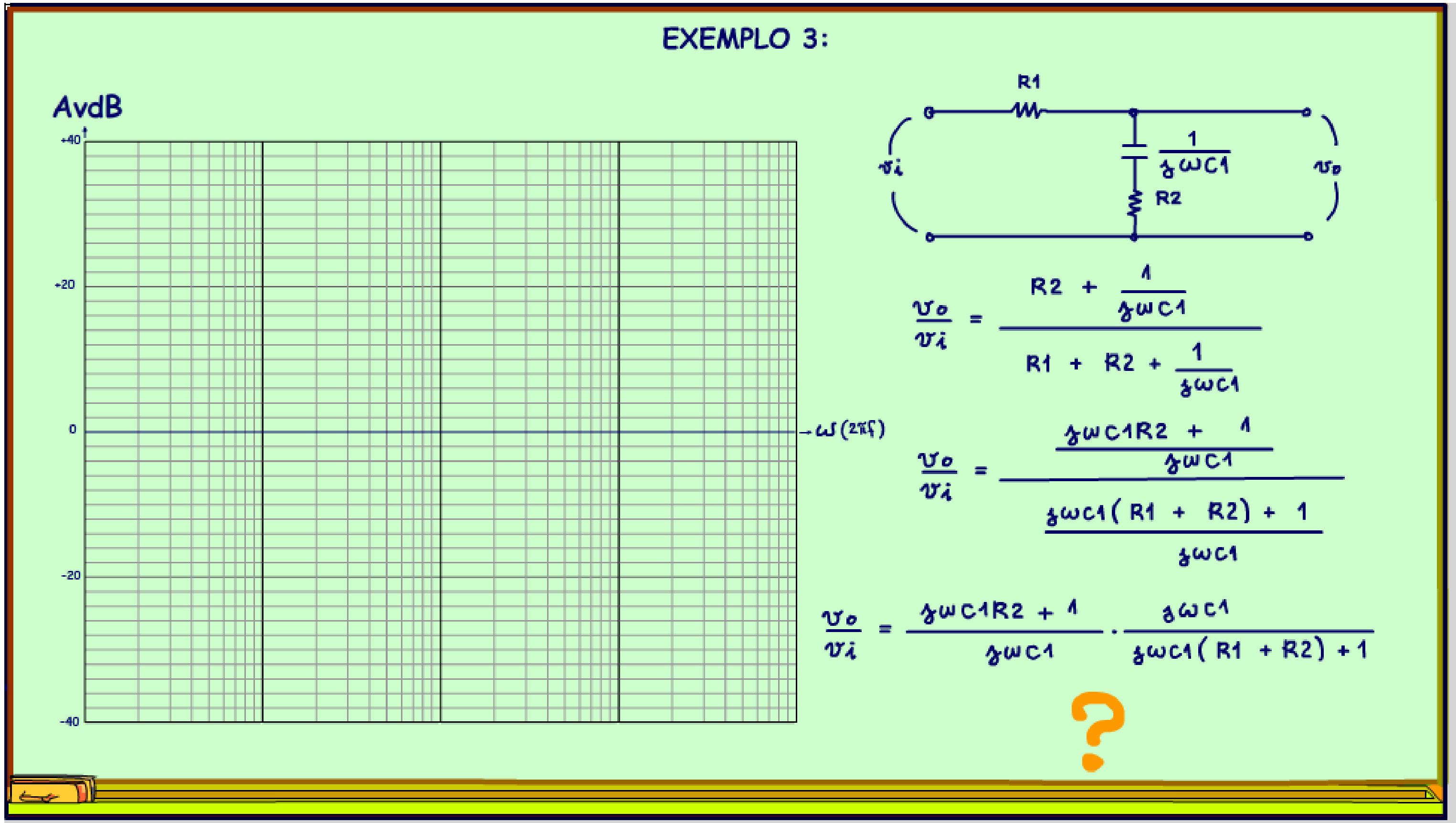


Figura 95

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Sim, o jwc1 na primeira fração, simplifica com o jwc1 da segunda fração.

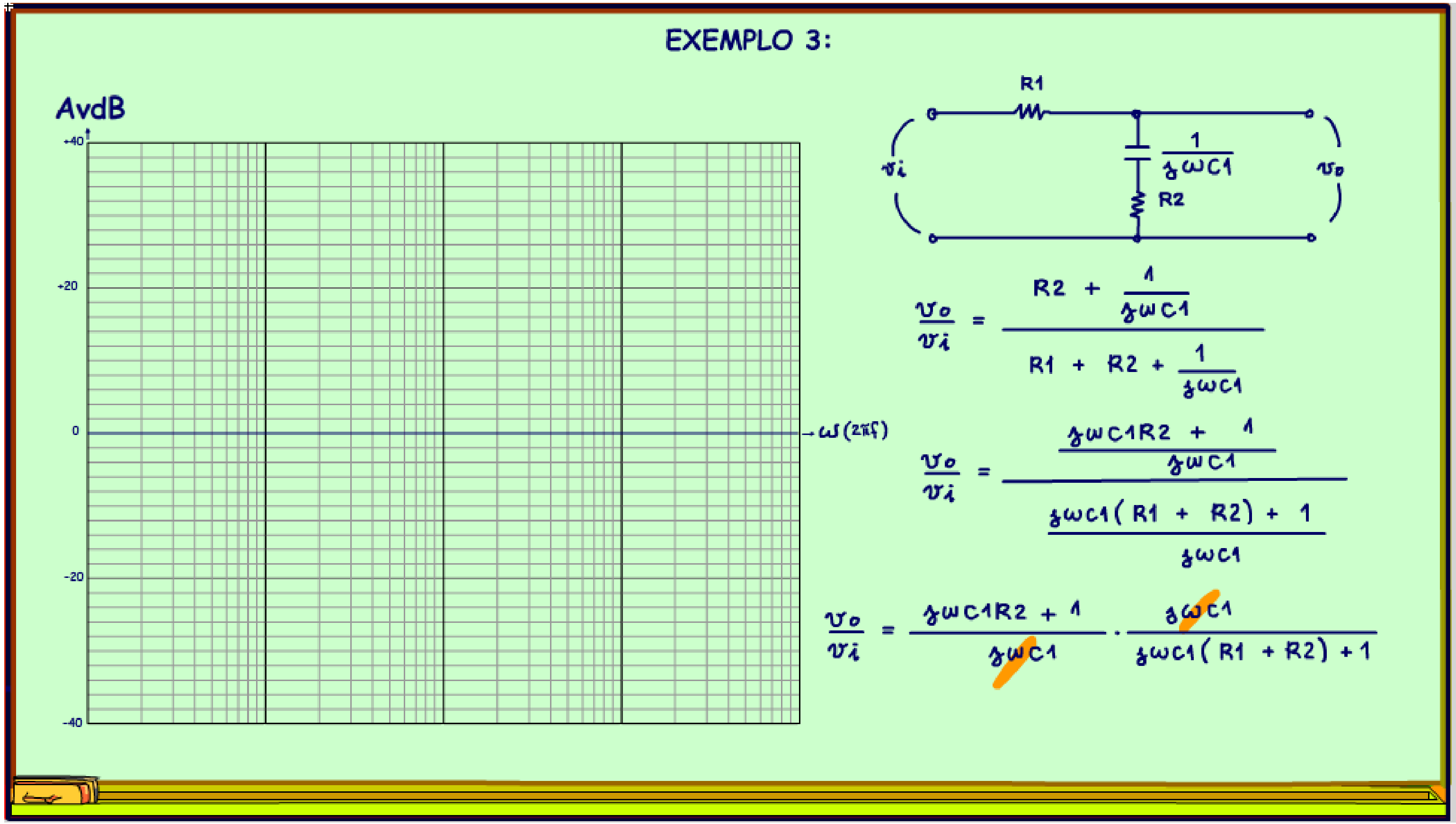
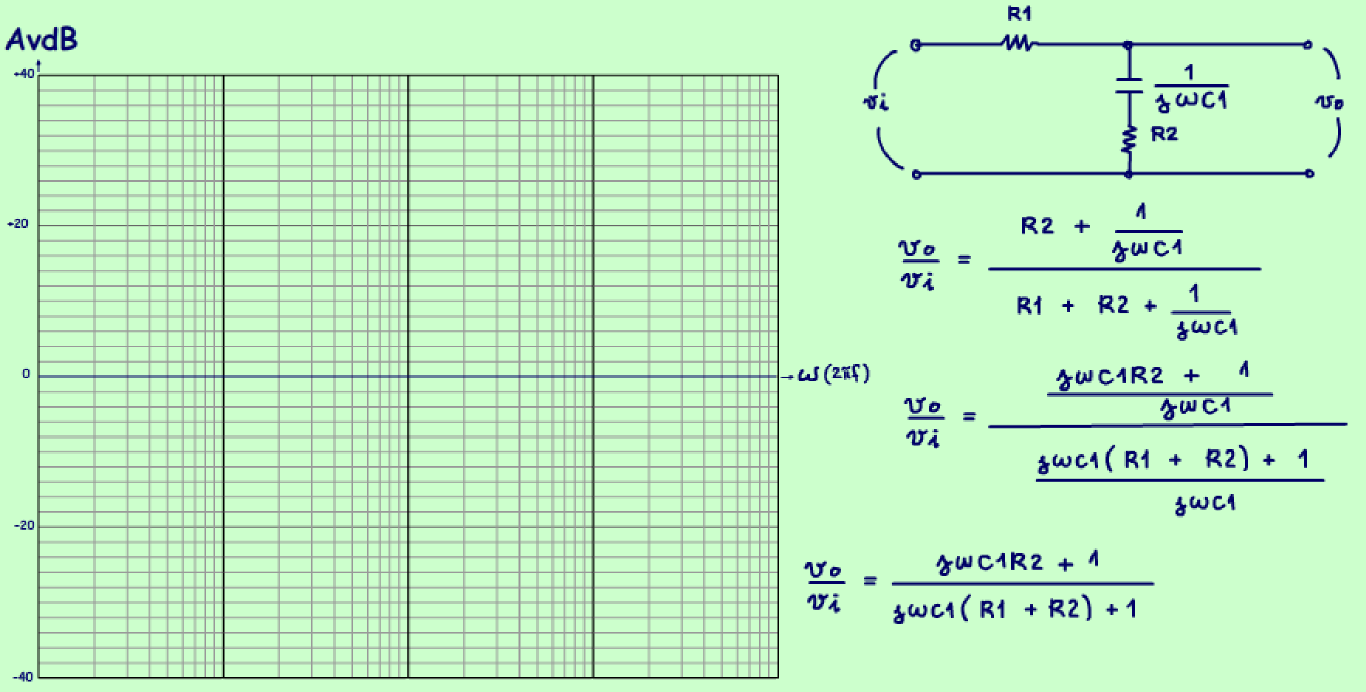


Figura 96

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E pronto a mágica aconteceu, temos uma equação bem do jeitinho que precisamos para desenhar a curva de BODE, você até já está identificando os polos e zeros!



$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R2 + \frac{1}{j\omega C1}}{R1 + R2 + \frac{1}{j\omega C1}}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{\frac{j\omega C1R2 + 1}{j\omega C1}}{\frac{j\omega C1(R1 + R2) + 1}{j\omega C1}}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{j\omega C1R2 + 1}{j\omega C1(R1 + R2) + 1}$$

Figura 97

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Pronto essa é a solução do circuito.

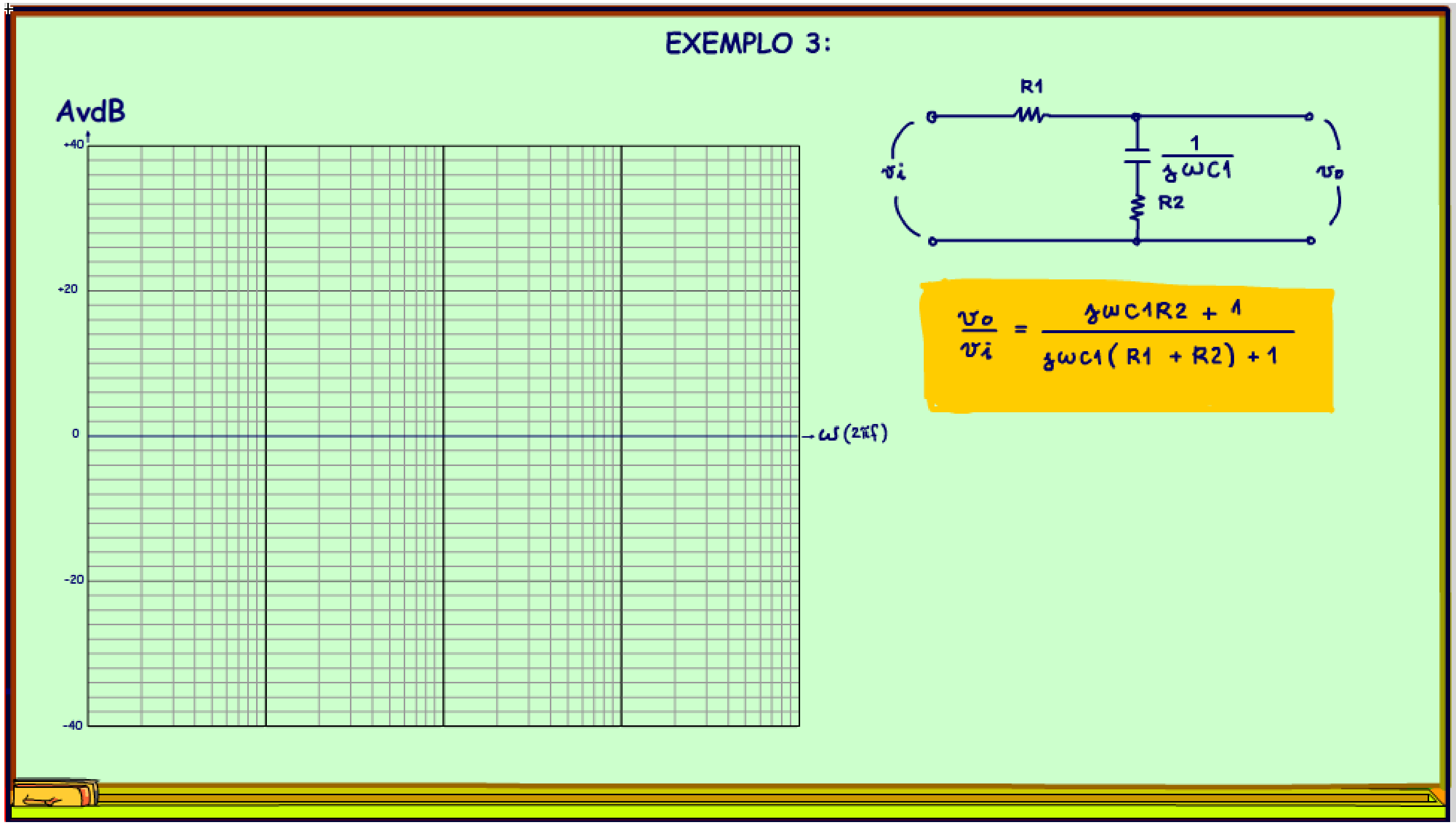


Figura 98

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Uma equação com um polo.

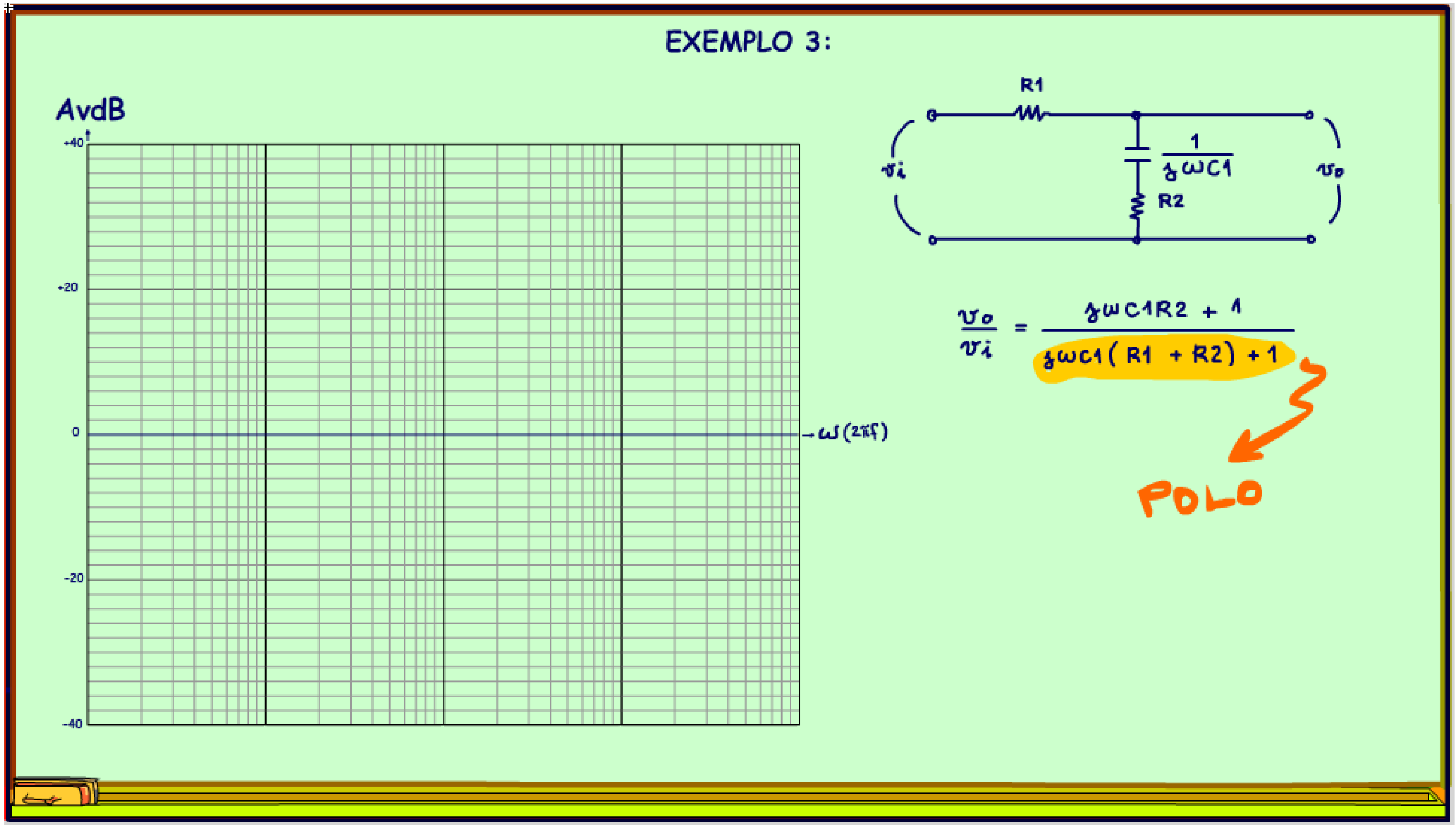


Figura 99

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E um zero.

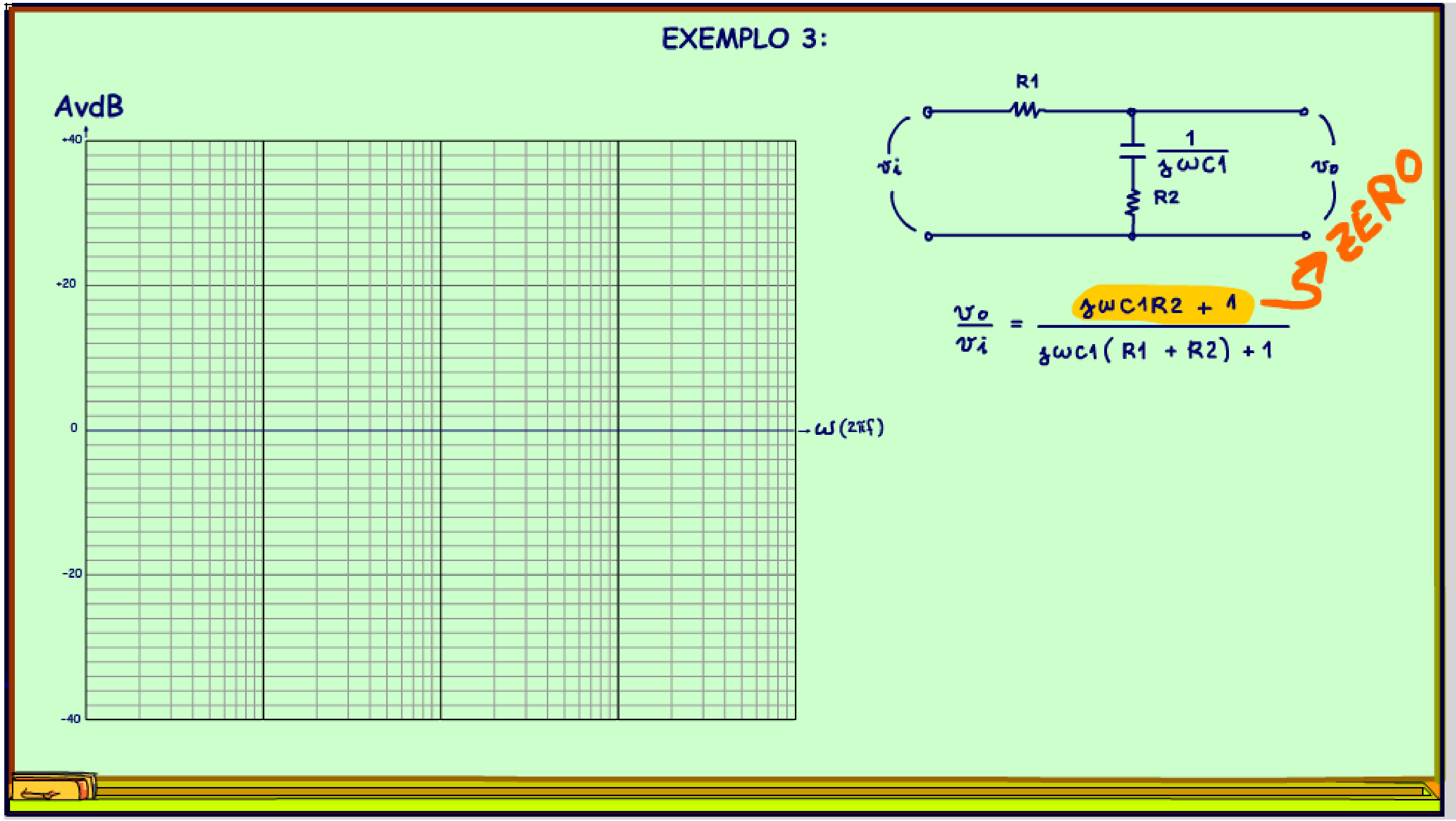


Figura 100

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

A velocidade angular na frequência de corte do polo é dada por um sobre C1 que multiplica R1 mais R2.

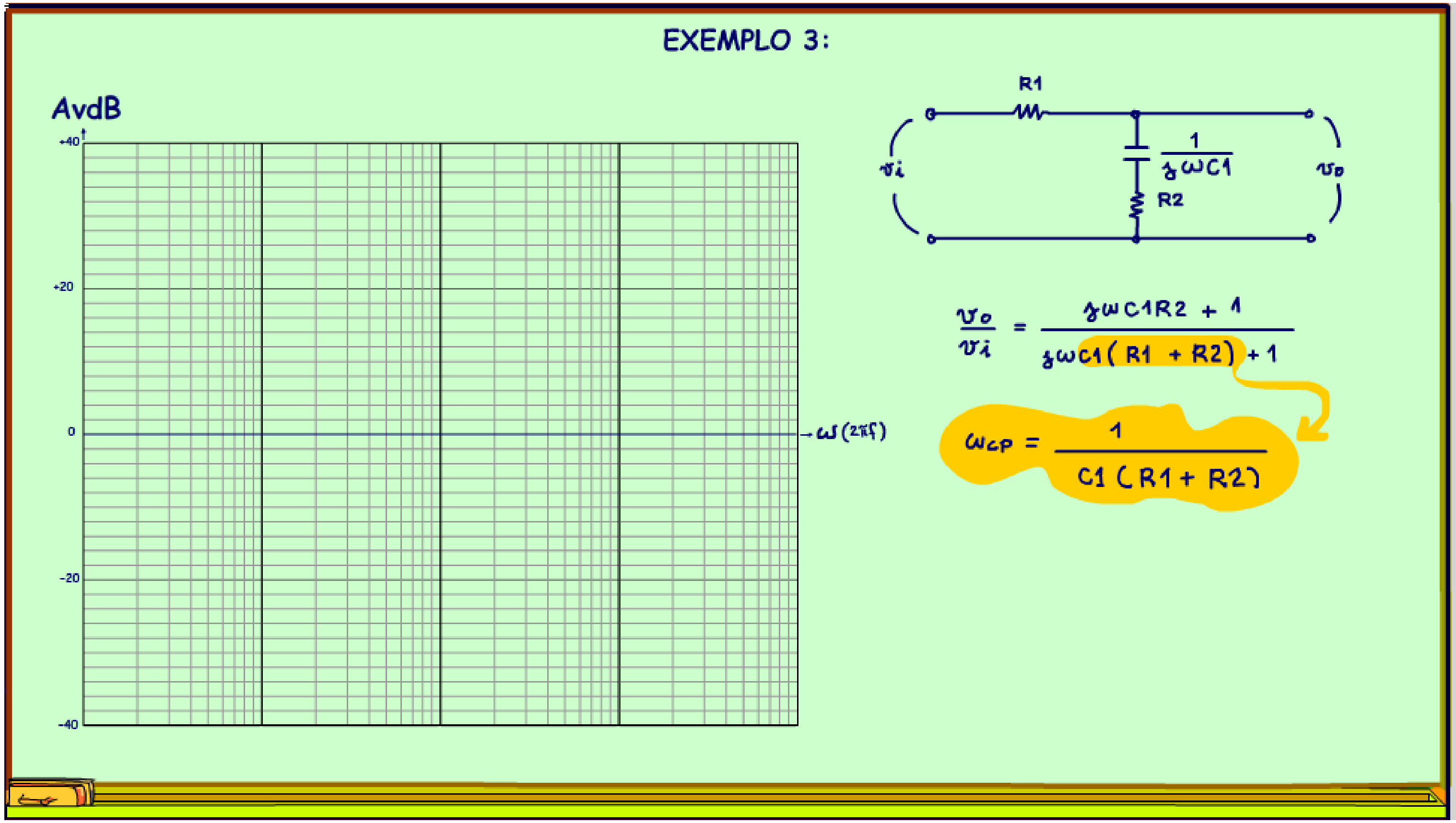


Figura 101

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Viu como a constante de tempo pode ser bem diferente, vai depender só do circuito.

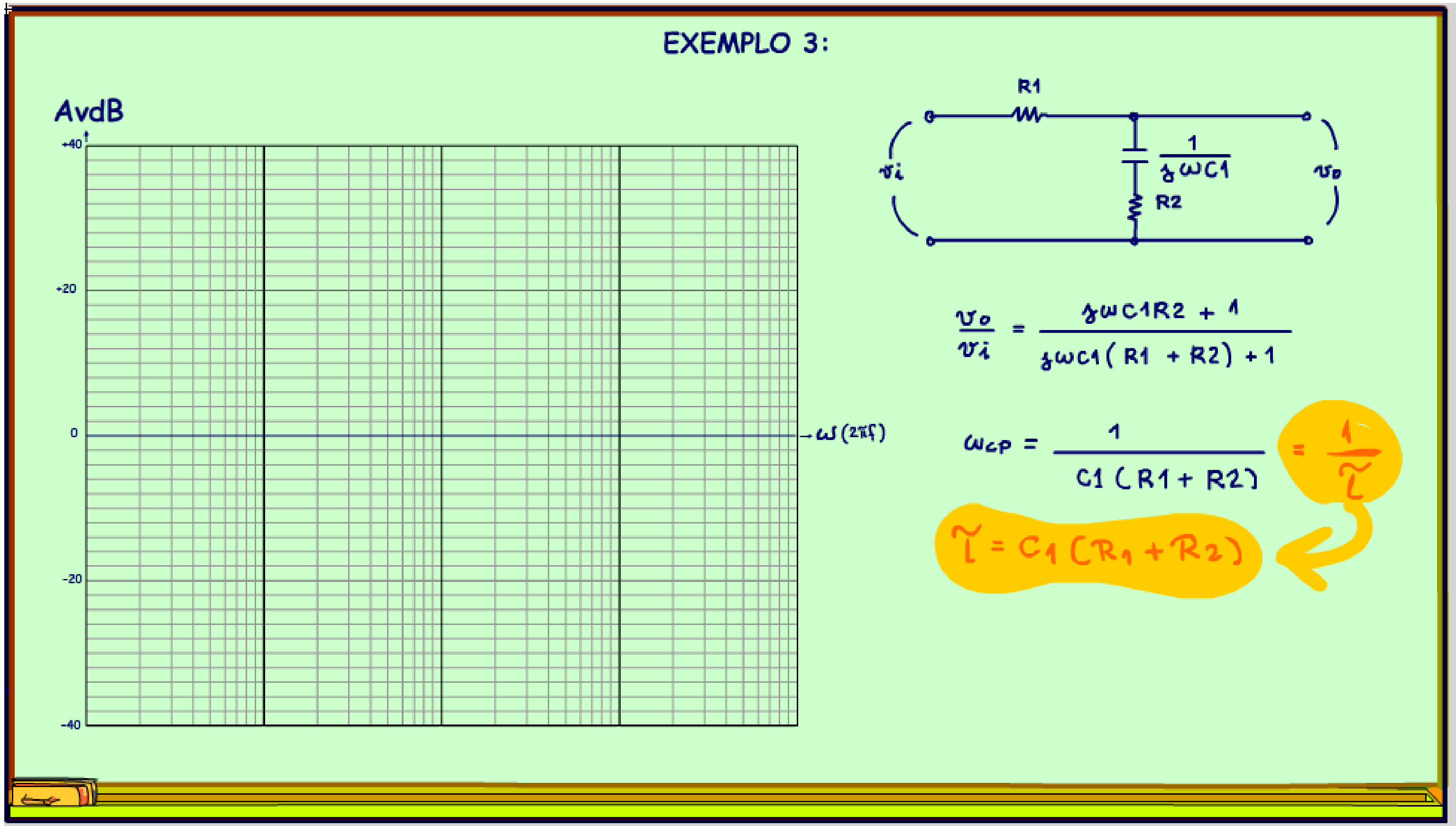


Figura 102

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Já a velocidade angular na frequência de corte do zero é igual a um sobre C1 vezes R2, mais normalzinha.

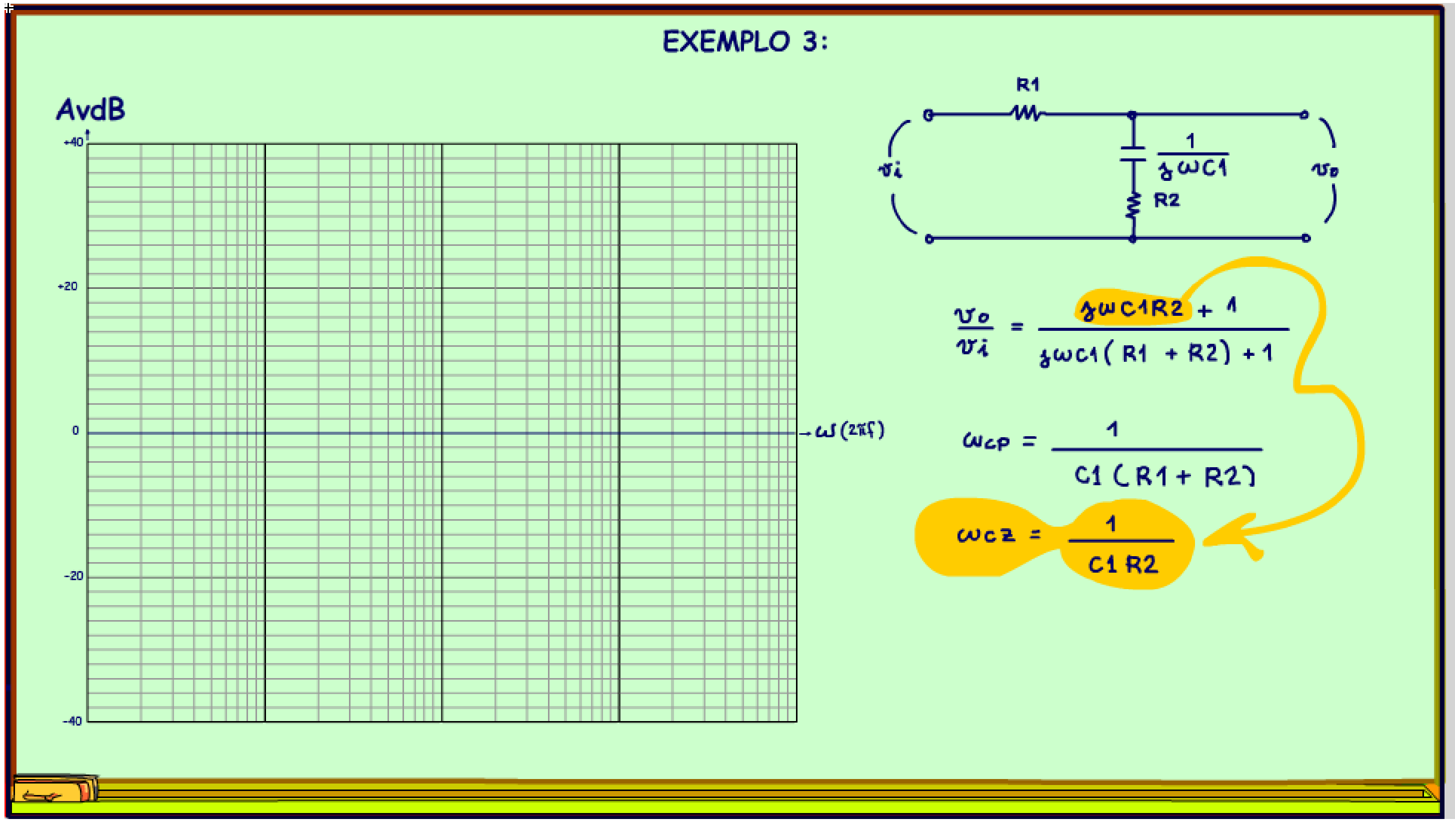


Figura 103

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Como eu não dei os valores não posso dizer o ponto exato que as velocidades angulares das frequências de cortes estarão localizadas, mas eu posso dizer que a velocidade angular da frequência de corte do polo é menor do que a velocidade angular da frequência de corte do zero.

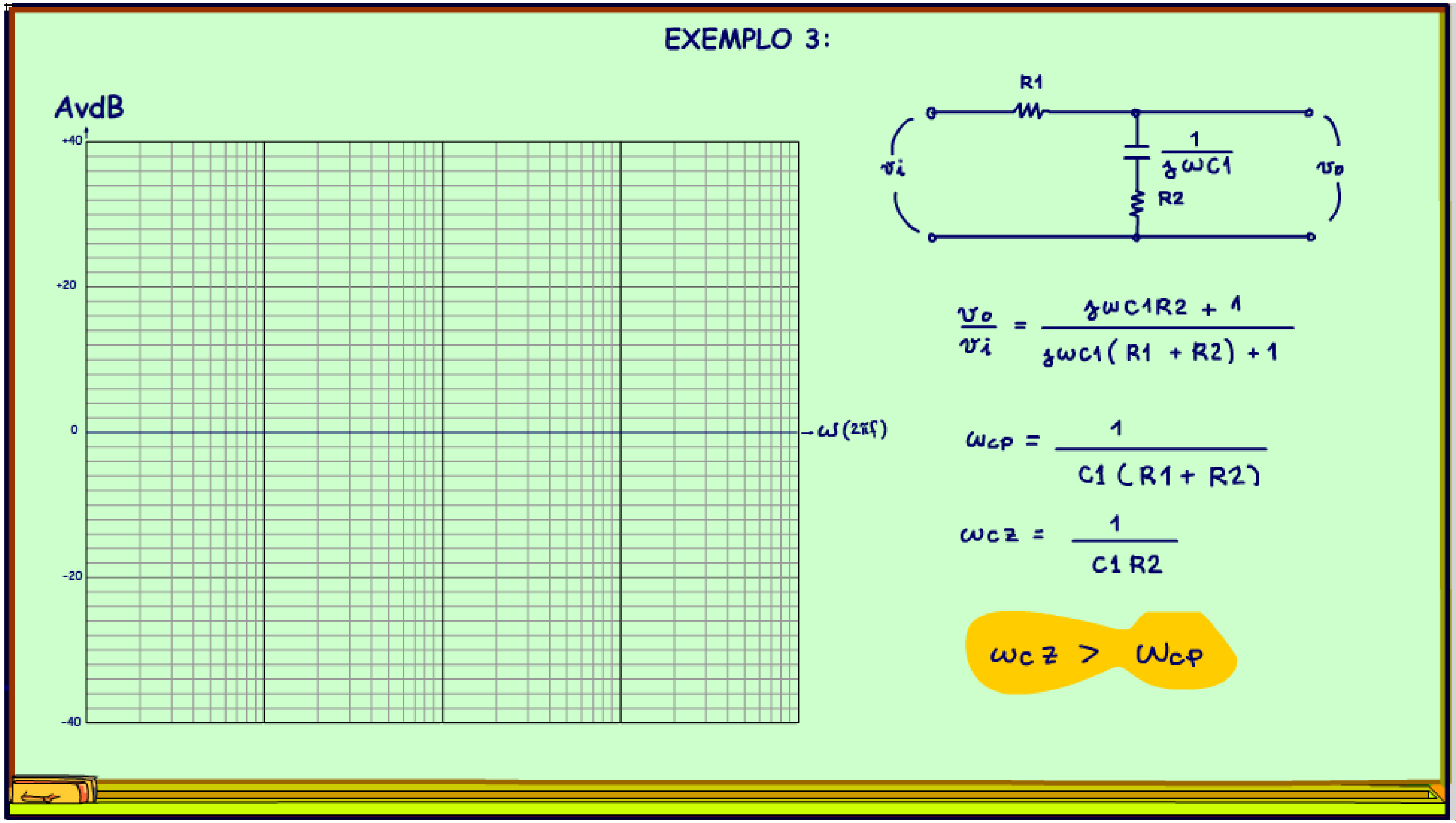


Figura 104

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Isso implica que no gráfico vou ter duas velocidades angulares nas frequências de cortes, a do polo mais à esquerda e a do zero mais à direita, no desenho eu posicionei assim para ressaltar o resultado.

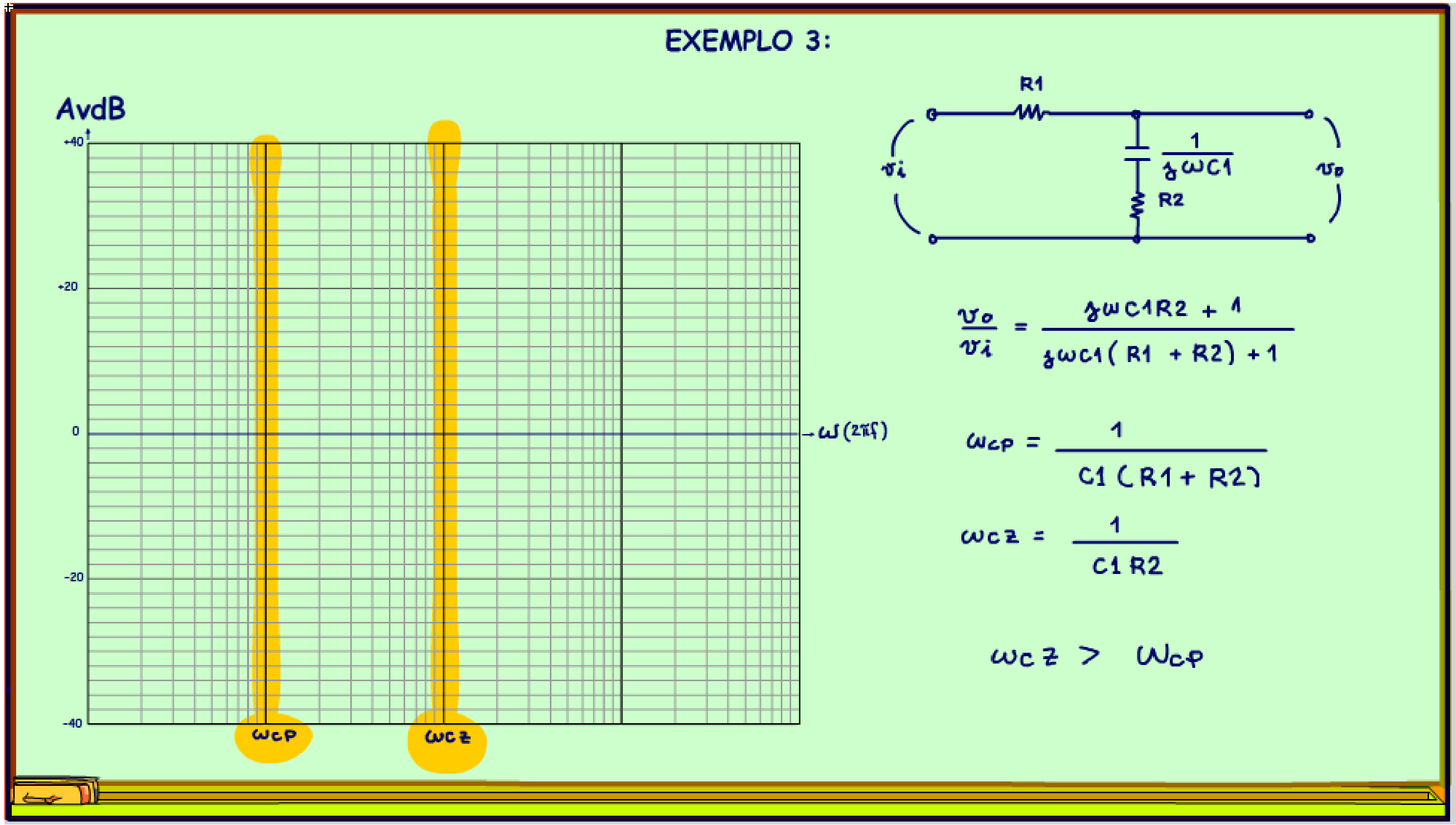


Figura 105

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Os gráficos você já sabe desenhar, é a parte mais fácil, não tem segredo, é só desenhar os gráficos padrões, primeiro em vermelho para o polo, quebrando na velocidade angular da frequência de corte do polo e descendo com inclinação de menos 20 db por década.

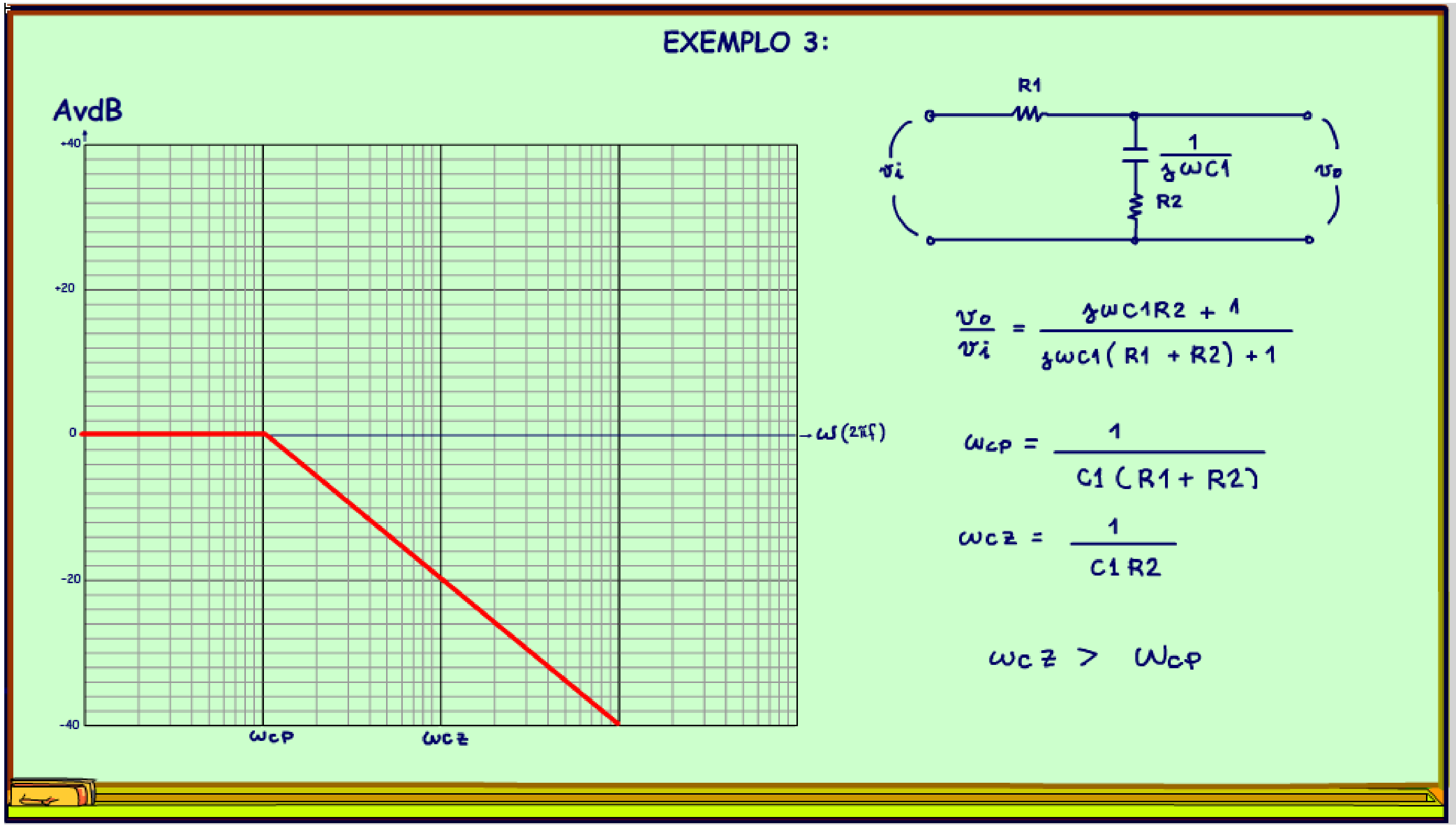


Figura 106

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Depois você desenha o zero quebrando na velocidade angular da frequência de corte do zero, e subindo com inclinação de mais 20 db por década, vou desenhar em verde.

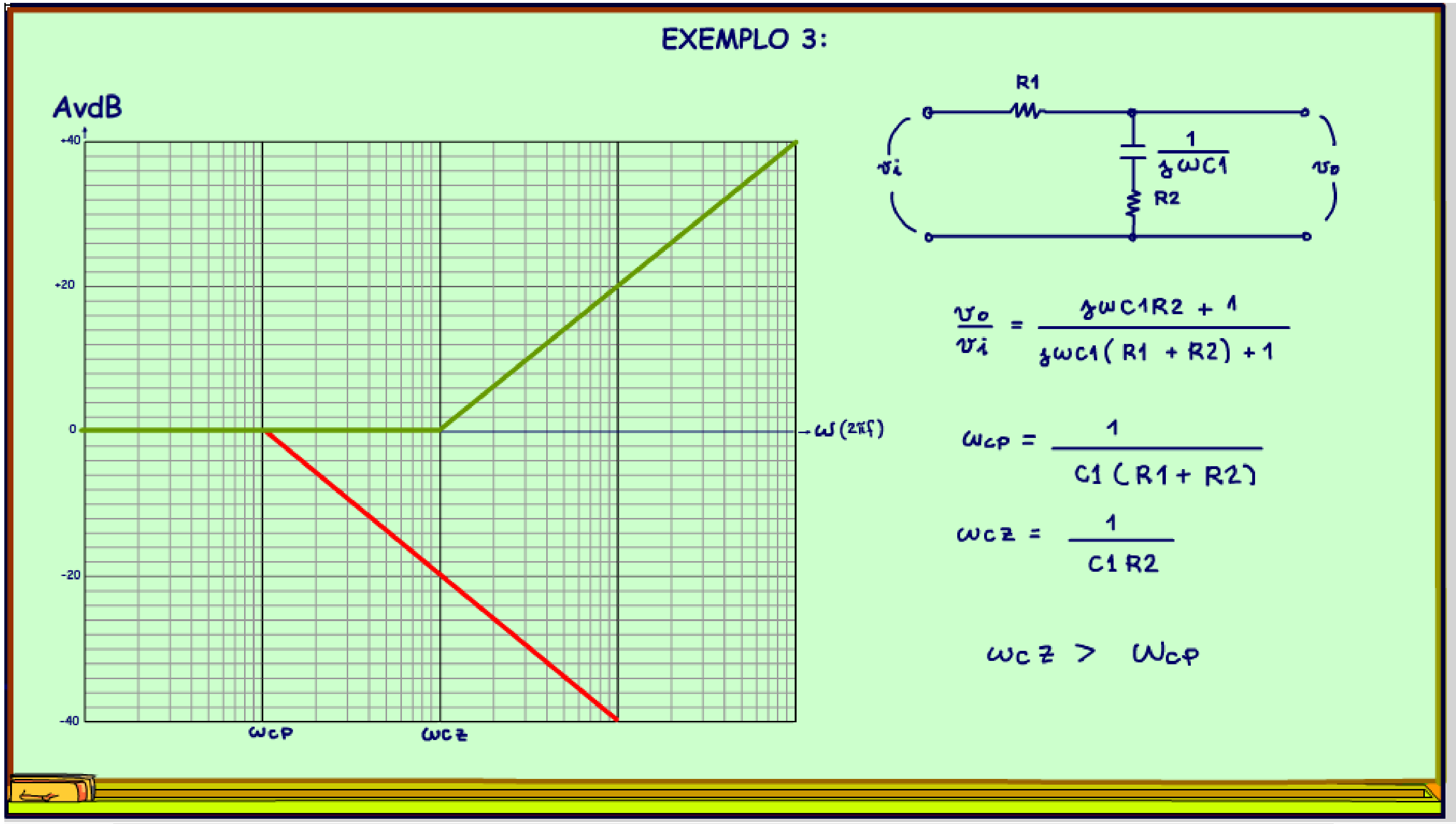


Figura 107

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Agora é só somar tudo ponto a ponto.

Antes da velocidade angular da frequência de corte do polo, soma zero com zero não muda nada.

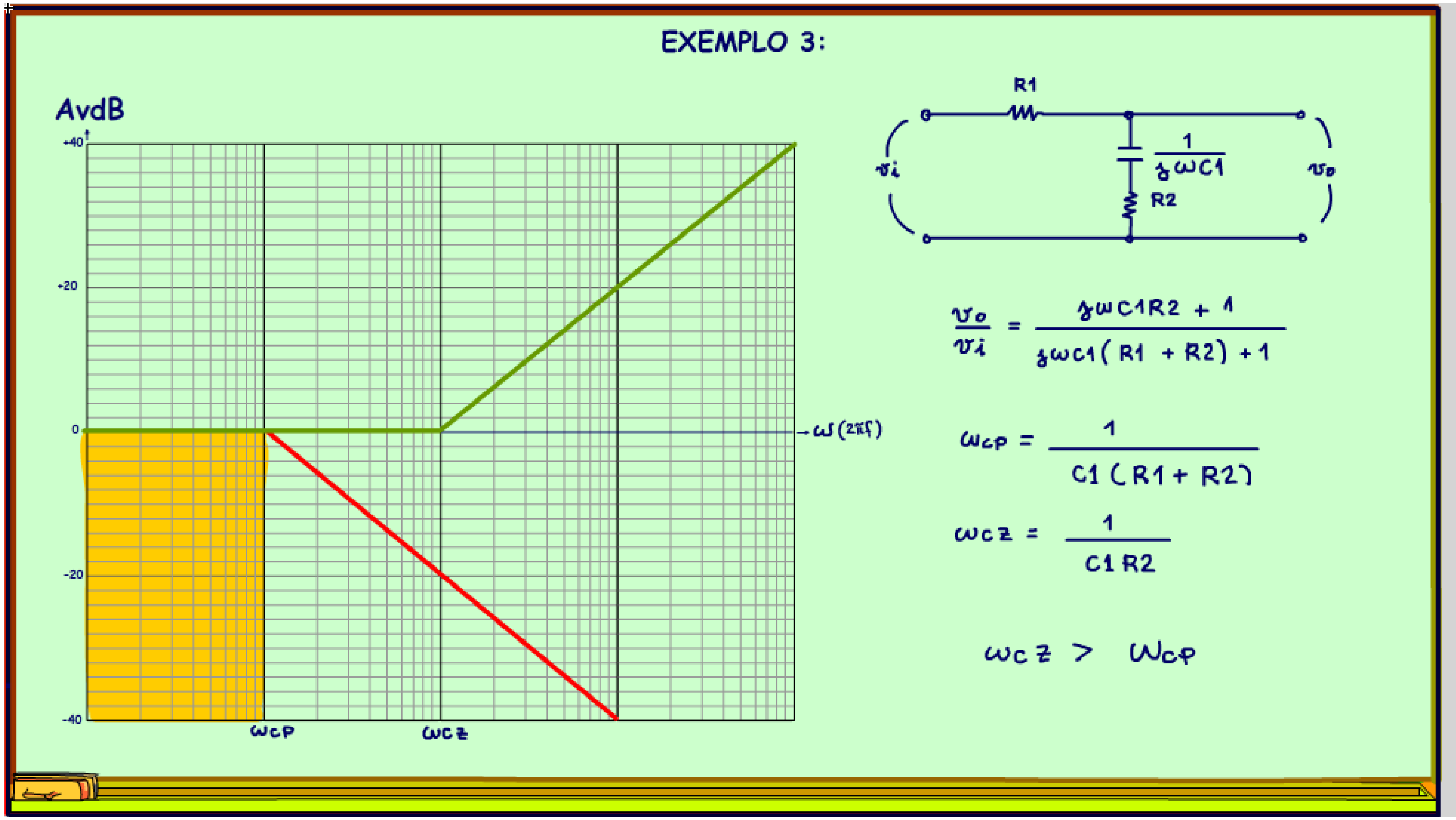


Figura 108

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Entre a velocidade angular da frequência de corte do polo e do zero somente a reta do polo puxa a curva para baixo descendo a 20 db por década até encontrar a velocidade angular da frequência de corte do zero.

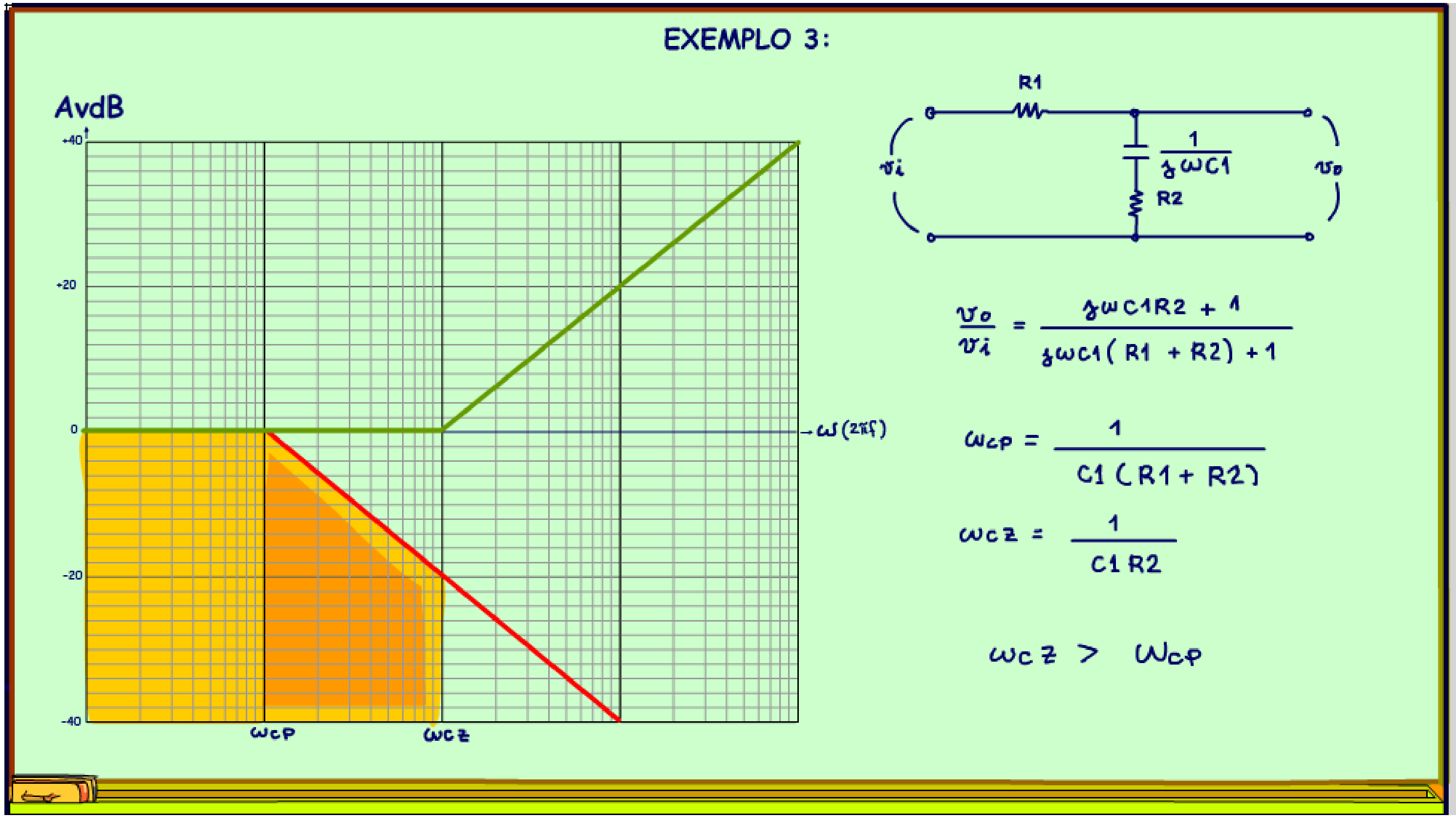


Figura 109

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Depois da velocidade angular da frequência de corte do zero você já sabe o que vai acontecer, a curva do polo puxa para baixo e a curva do zero puxa para cima, resultado, a amplitude se mantém constante, a saída não é atenuada.

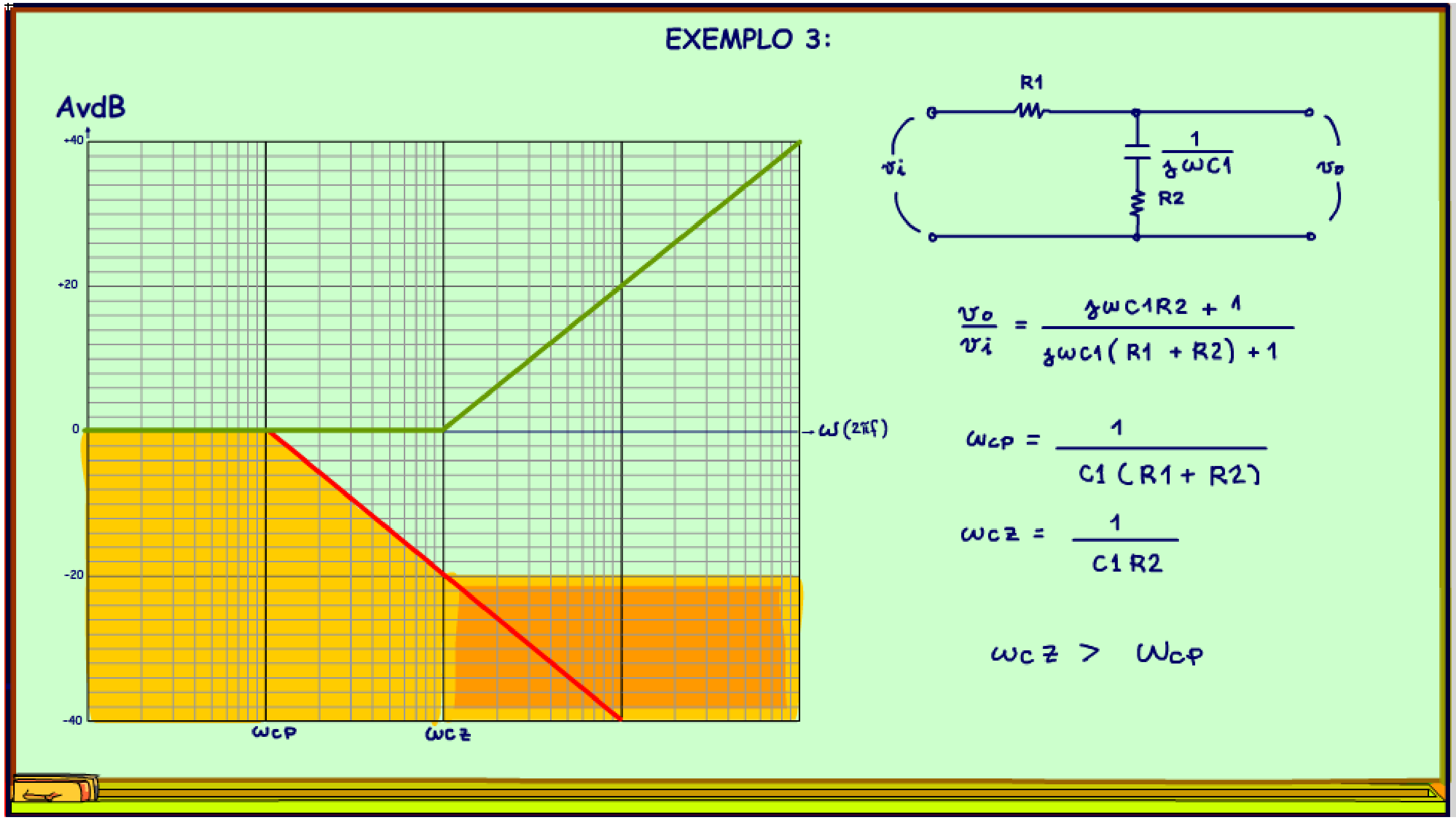


Figura 110

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

E esta é a resposta em frequência desse circuito, sem o desenho da curva de BODE seria quase impossível explicar esse comportamento.

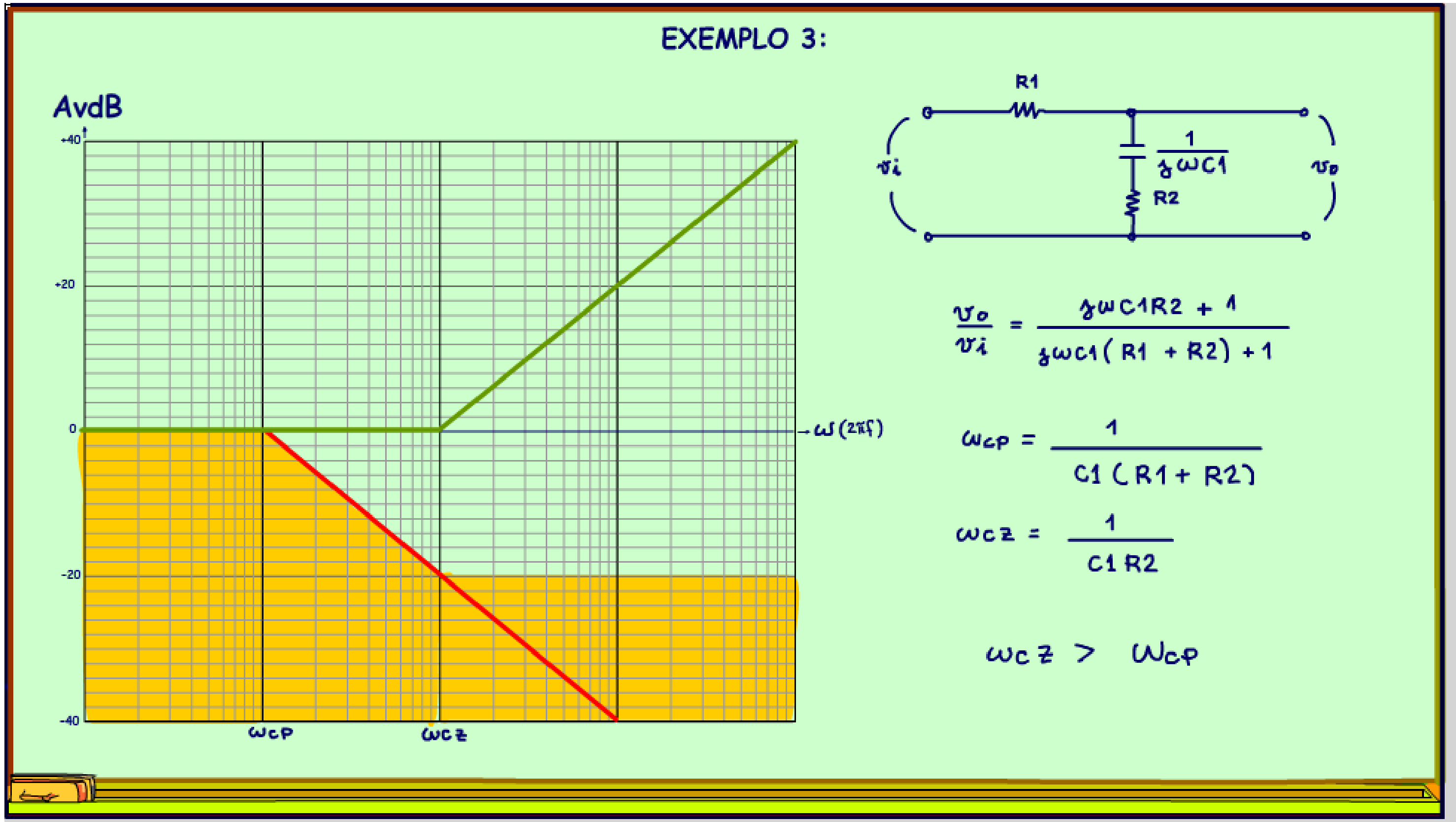


Figura 111

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Antes da velocidade angular da frequência de corte do zero, o circuito se comporta como um filtro passa baixo RC convencional, com a velocidade angular da frequência de corte exatamente na velocidade angular da frequência de corte do polo.

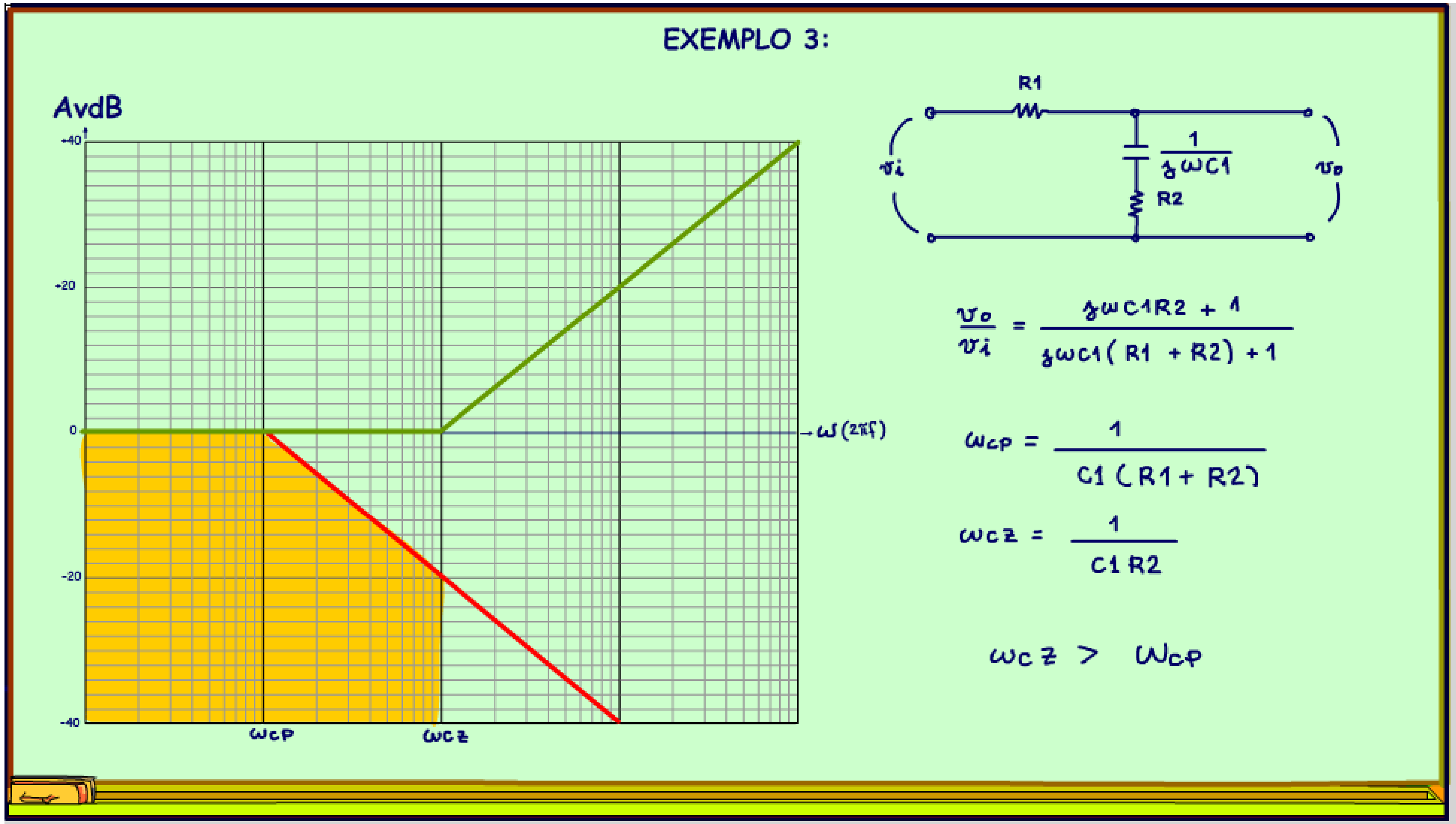


Figura 112

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

A partir da velocidade angular da frequência de corte do zero o circuito estabiliza, mantém uma saída mínima, não atenua totalmente o sinal de entrada.

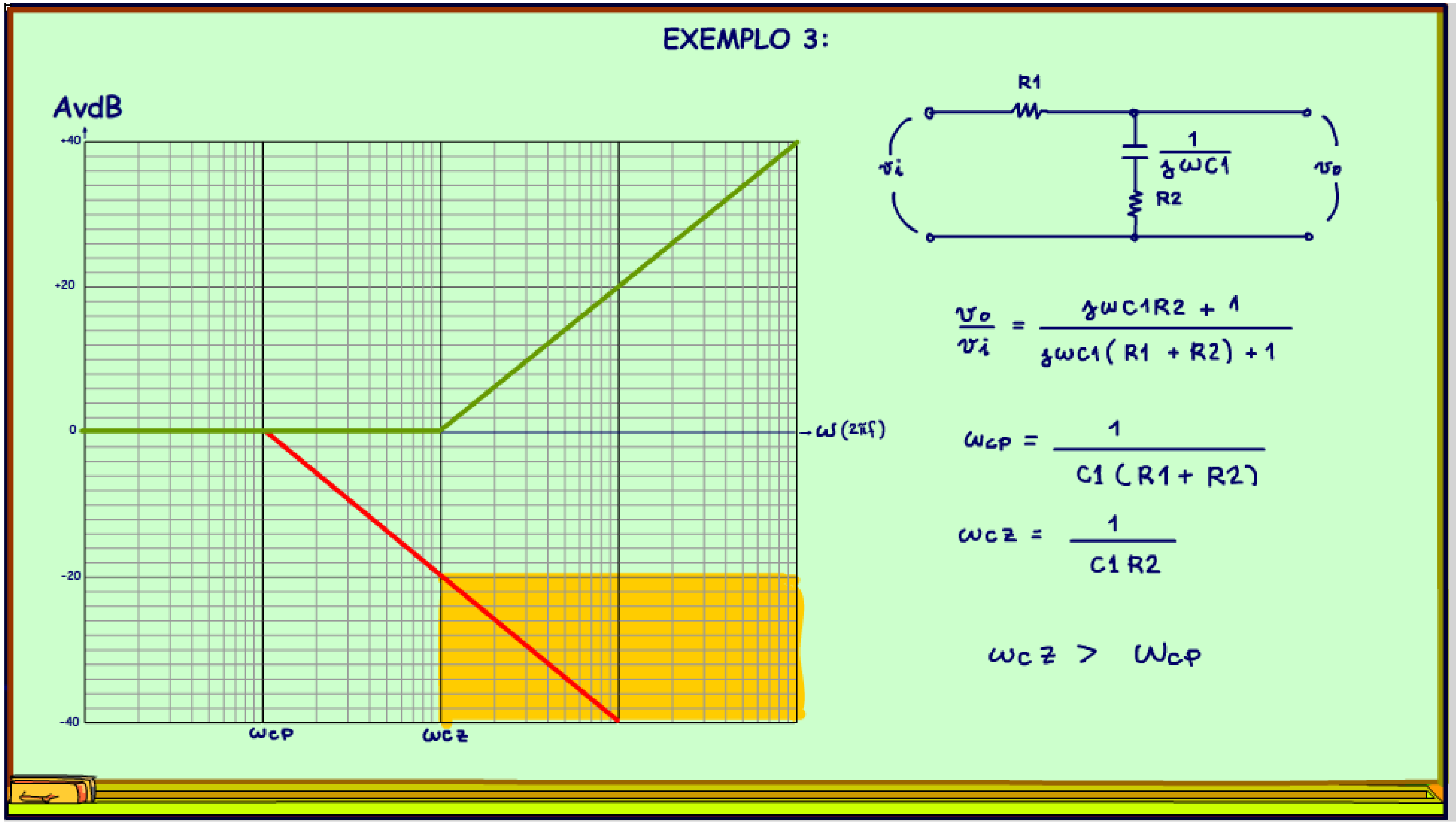


Figura 113

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

Muito interessante esse circuito sugerido pelo José Tavares, obrigado.

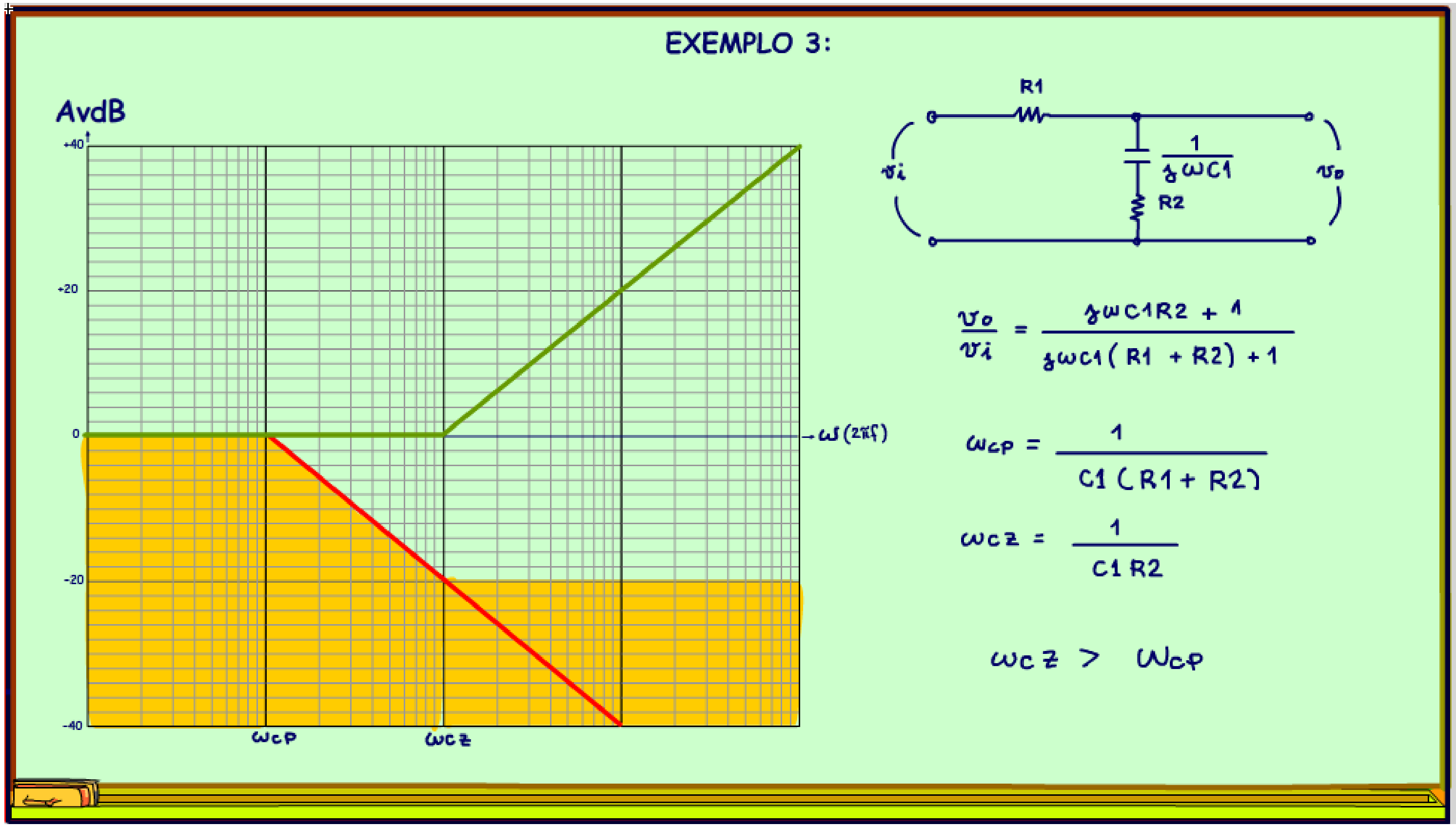


Figura 114

1.11 Conclusão.

Você viu nesse tutorial a introdução as curvas de BODE, vou fazer muitos exemplos nos próximos tutoriais, e ainda mostrar que existem tabelas prontinhas com as equações e tudo mais.

No próximo tutorial vou falar da questão da defasagem, do ângulo na saída do circuito aguarde.

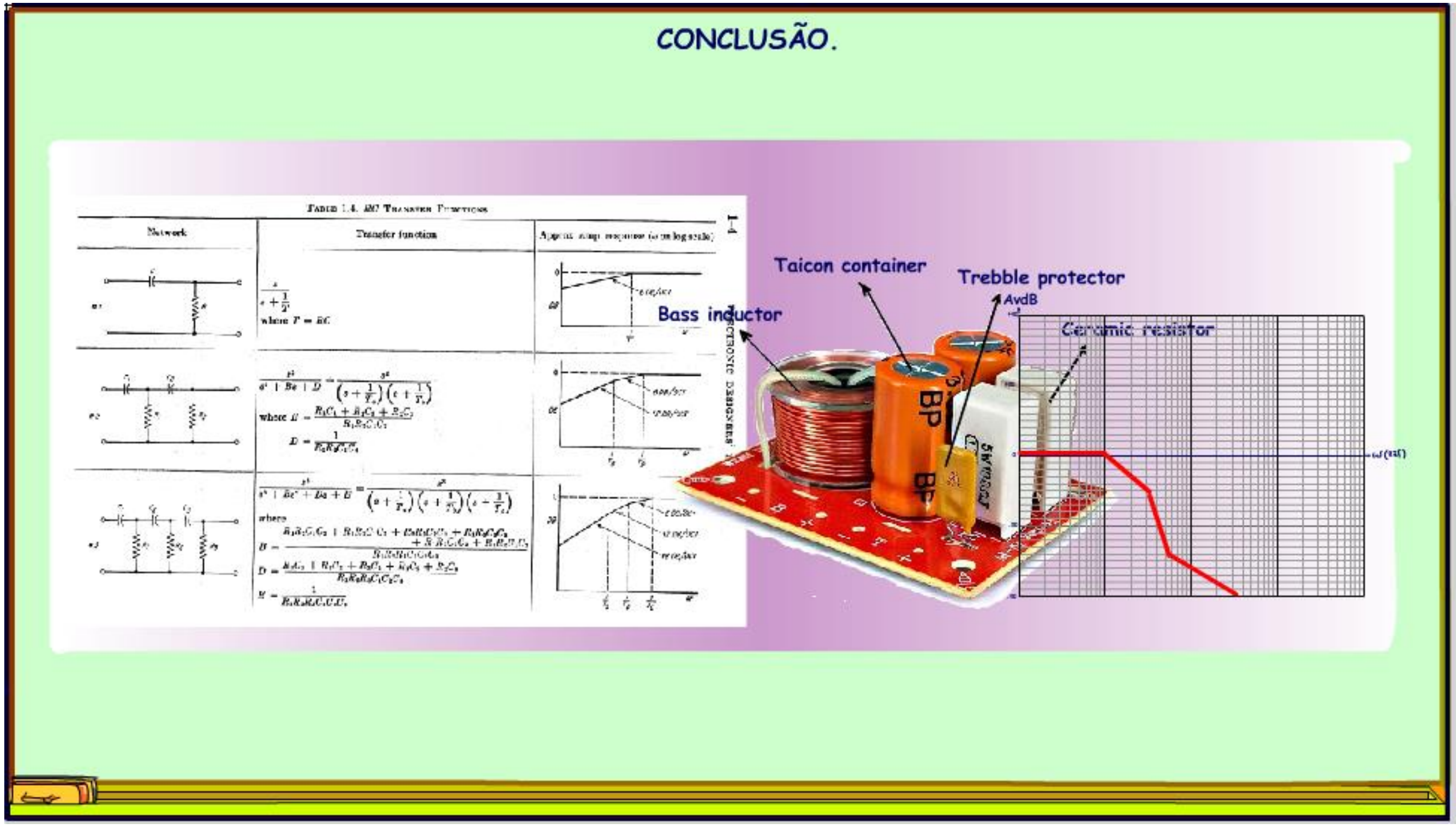


Figura 115

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

1.12 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 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!

BODE- Introdução ao método Bairros para levantar as curvas (PARTE 01)

www.bairrospd.com
https://www.youtube.com/channel/UC_ttfxnYdBh4IbiR9twtpPA