

Amanda do Carmo || Gabriela Mitu || Theo Rodrigues

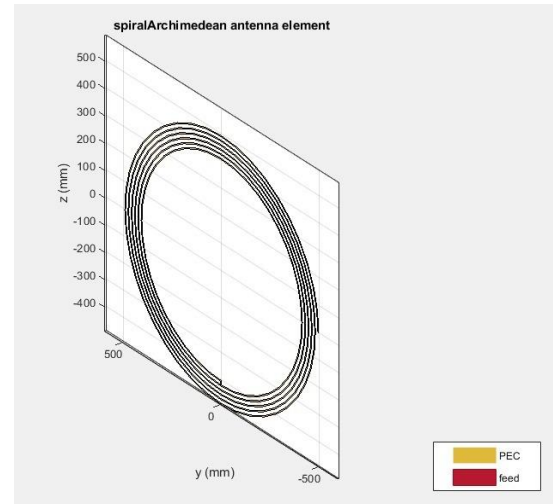
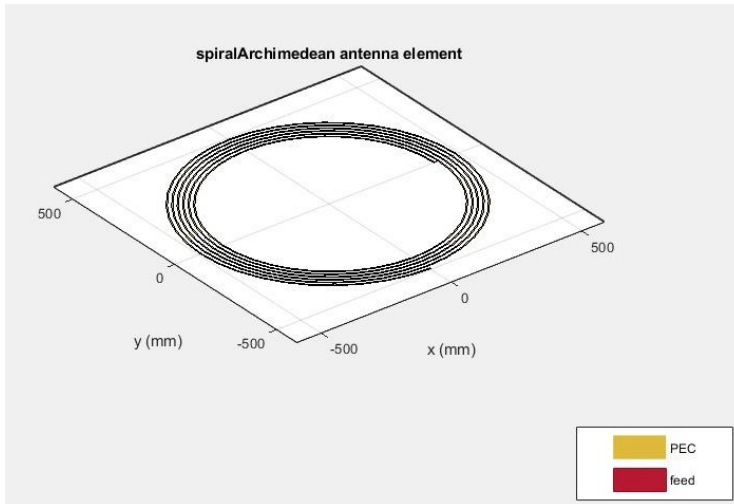
ELETROMAGNETISMO E ONDULATÓRIA

CARREGADORES ELÉTRICOS SEM FIO

1. Modelando a antena

Características principais da antena:

- Raio interno: 0.4 m
- Raio externo: 0.5 m
- Número de voltas: 6



Plot de antenas com as características descritas acima, cada uma com uma diferença de 90°

2. Calcule a impedância de sua antena

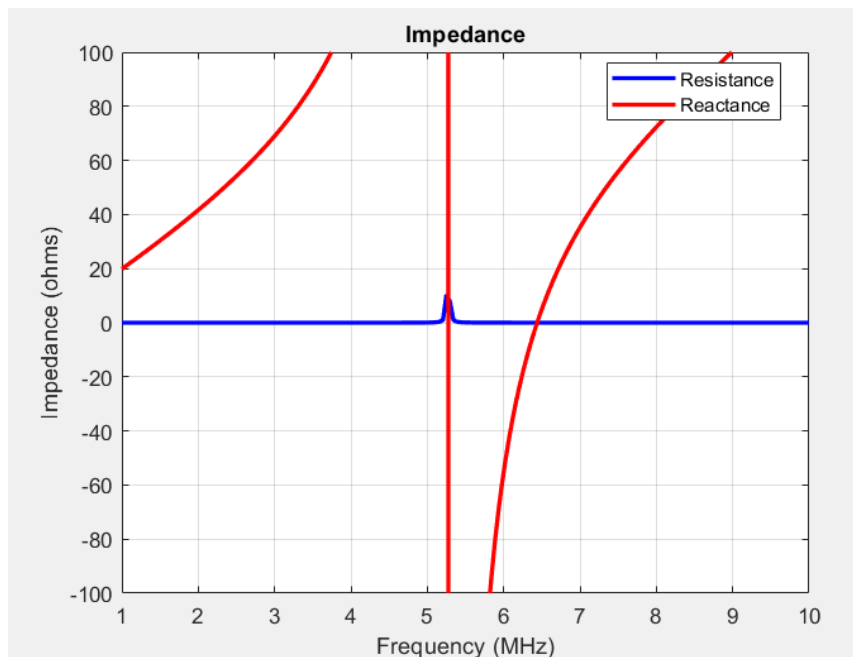


Gráfico da Impedância variando com a frequência

No gráfico é possível notar a dependência da parte imaginária/complexa em relação à frequência de quem alimentou o circuito. Essa relação pode ser analisada também por meio da fórmula:

$$Z = R + Im$$

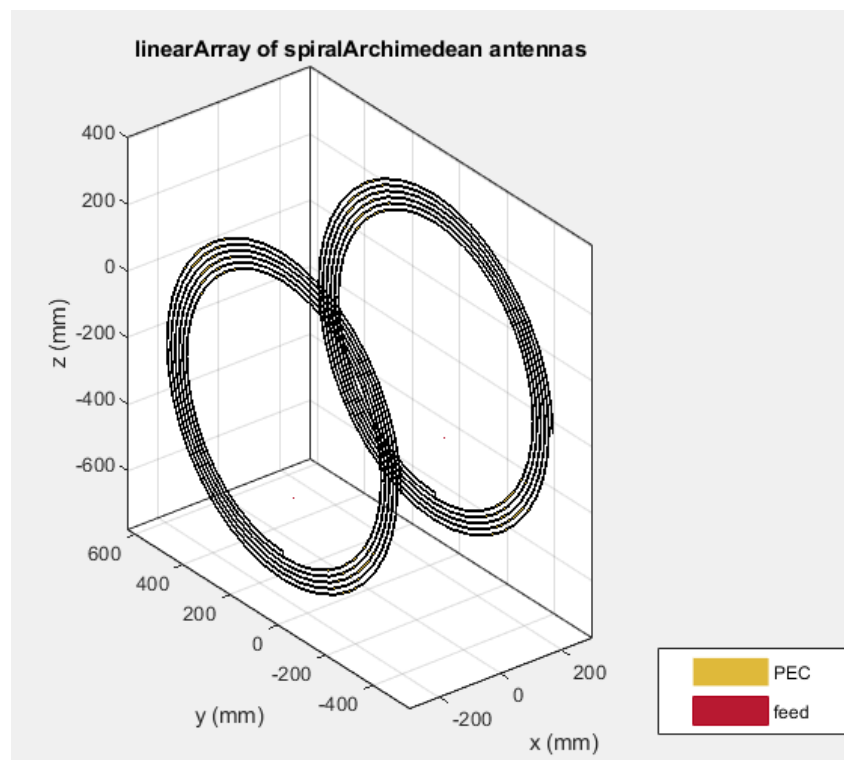
No gráfico a parte em azul representa a Resistência (R) e a parte em vermelho representa a parte Imaginária/complexa (Im).

Nesse gráfico dá para ver também que há um valor de frequência em que a parte imaginária ficou próximo de zero, a qual representa a frequência de ressonância. Além disso, esse comportamento da parte imaginária indo para mais infinito e menos infinito se deve a uma associação em paralelo que pode ser representado por:

$$Z = \frac{j\omega L \cdot \frac{j}{\omega C}}{j\omega L - \frac{j}{\omega C}}$$

E quando há o caso de da parte imaginária ficar próximo de zero, o denominador deste cálculo tende a zero.

3. Antena receptora



4. Simulando o acoplamento

O ganho para a gama de frequências utilizadas anteriormente foi calculado com a função *sparameters* do matlab e será utilizado para visualizar os ganhos.

5. Visualizando os ganhos

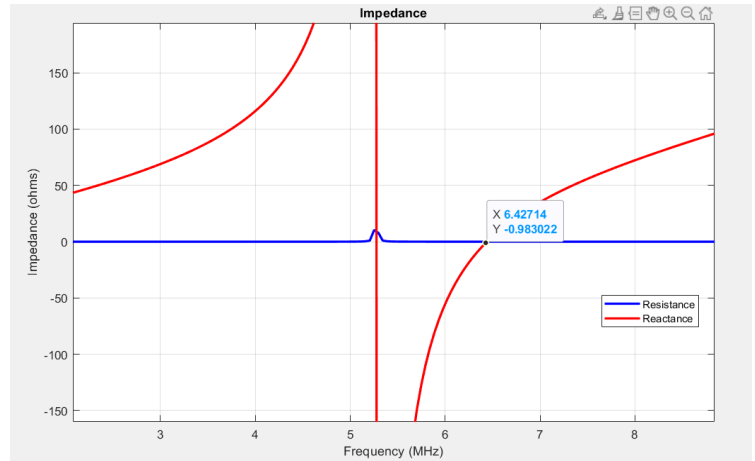
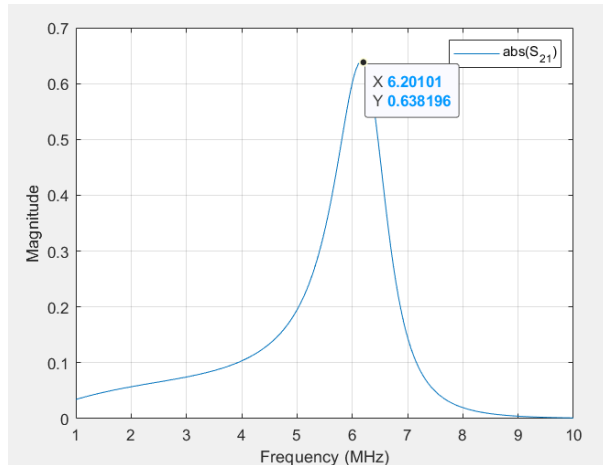
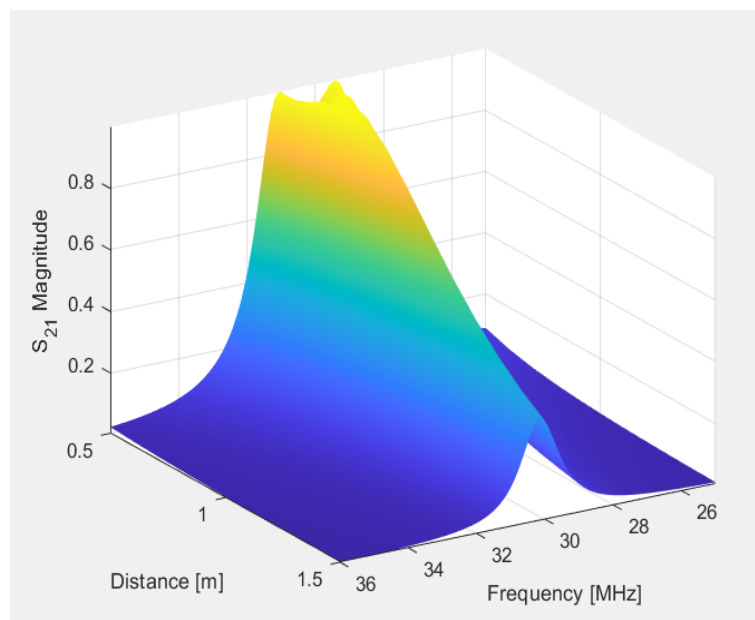


Gráfico à esquerda plotado nesse exercício e gráfico da direita plotado do item 2

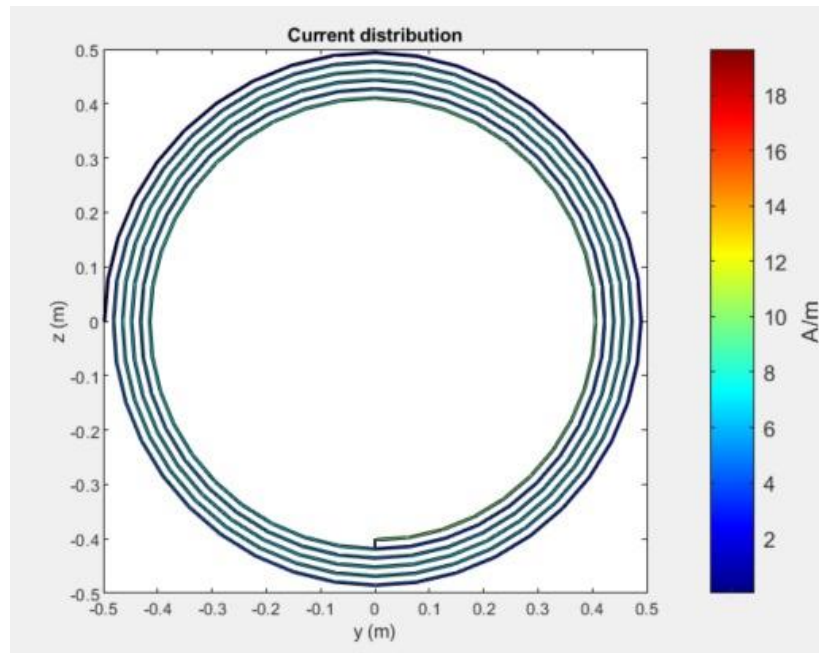
Nesse gráfico foi encontrado um valor de frequência de ressonância próximo daquele encontrado no item 2 - respectivamente 6.2MHz e 6.4MHz como é possível observar nas imagens acima. Esses valores representam a frequência de ressonância, uma frequência na qual a reatância chega em 0, além de ter um valor aproximado ao da resistência.

6. Visualização 3D

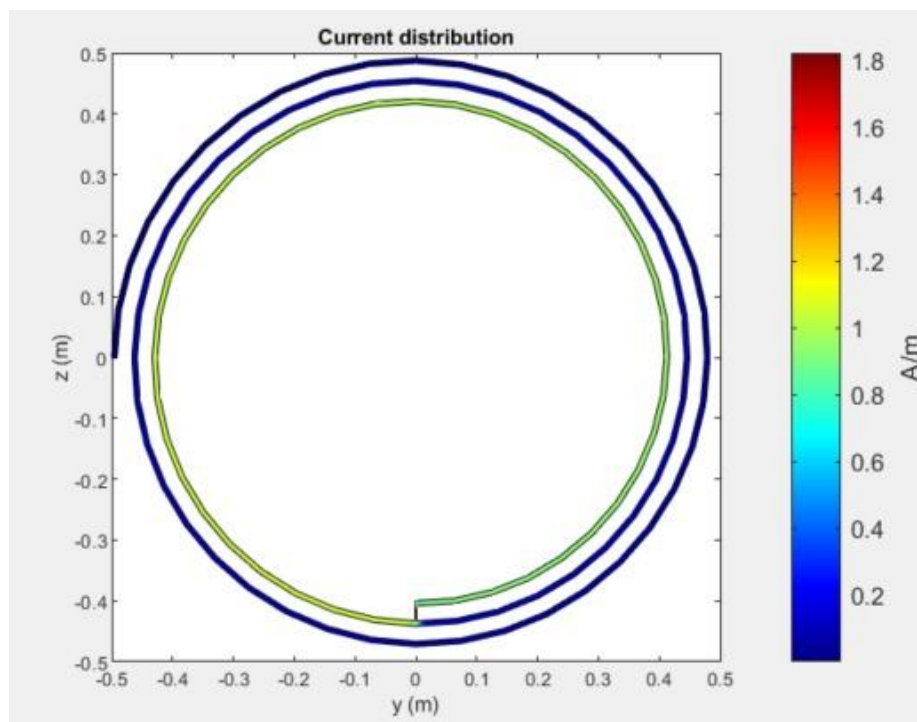


7. Corrente Ressonante

A fim de analisar o comportamento da distribuição de uma corrente na superfície da antena, foi feito um gráfico no qual foi utilizado a frequência de 6.2MHz (frequência de ressonância).



Entretanto, como na antena utilizada de 6 voltas é mais difícil a visualização e análise, foi plotado uma outra antena com as mesmas especificações, mas com um número de voltas igual a 3 (apenas para fins didáticos):



No gráfico acima, calculamos a corrente ressonante, ou seja, a distribuição de corrente elétrica na superfície do condutor, em [A/m]. Vale notar que a distribuição obtida é

relativa à frequência de ressonância calculada. De acordo com o gráfico, quanto mais externo à superfície, menor é a distribuição da corrente.

8. Unindo dois modelos

Foi obtido sucesso em encontrar um valor próximo de frequência daquele encontrado no item 2 e 5 ao manter o valor de sigma em 20 e ao diminuir a constante da fórmula de 4 para 2:

$$\hat{z}_{antena} = \frac{j\omega L * \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} + \cancel{4j\omega L}^{2\omega L}$$

Utilizando essa fórmula para calcular a parte imaginária da impedância no circuito foi obtido um gráfico que é possível validar com os dos itens 2 e 5, que resultarem respectivamente um valor próximo de 6.4MHz e 6.2MHz quando a impedância é nula:

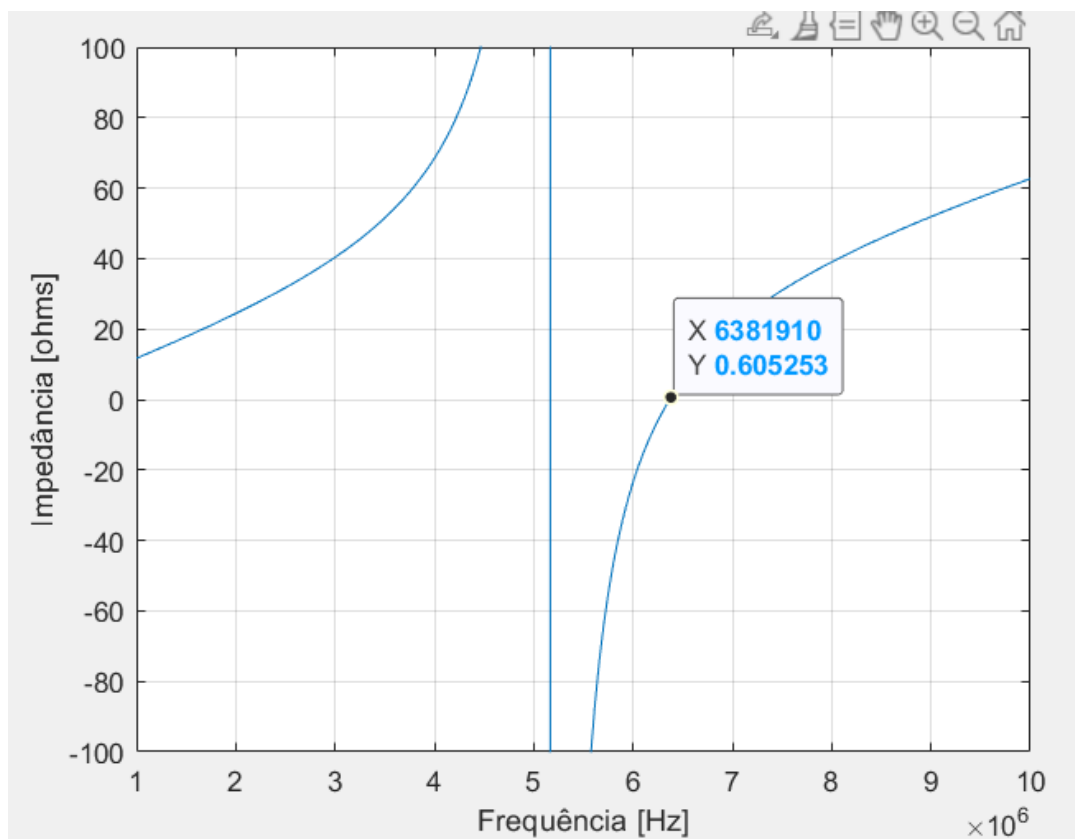


Gráfico Impedância x Frequência com frequência de ressonância de cerca de 6.3Mhz

A fim de obter uma regra matemática que modele a indutância mútua do modelo em função da distância entre as bobinas, foram realizados os seguintes passos:

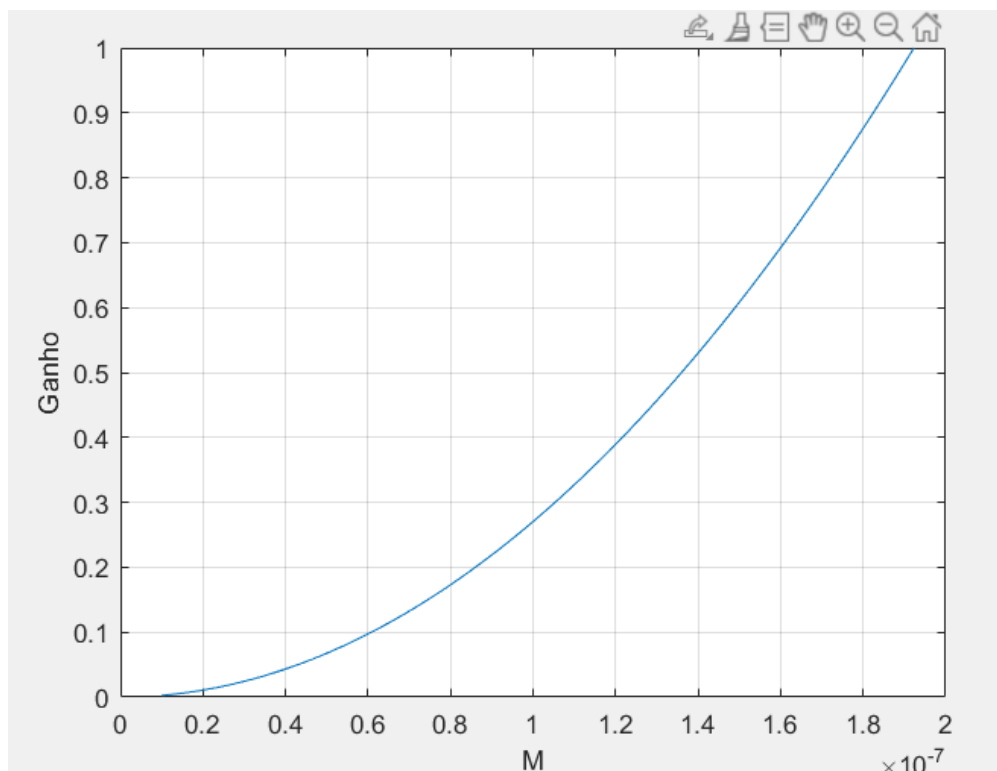
Passo 1:

Foi estabelecido o valor de indutância mútua com o inverso da frequência crítica encontrada no gráfico anterior:

$$M = \frac{1}{5.2 \cdot 10^6}$$

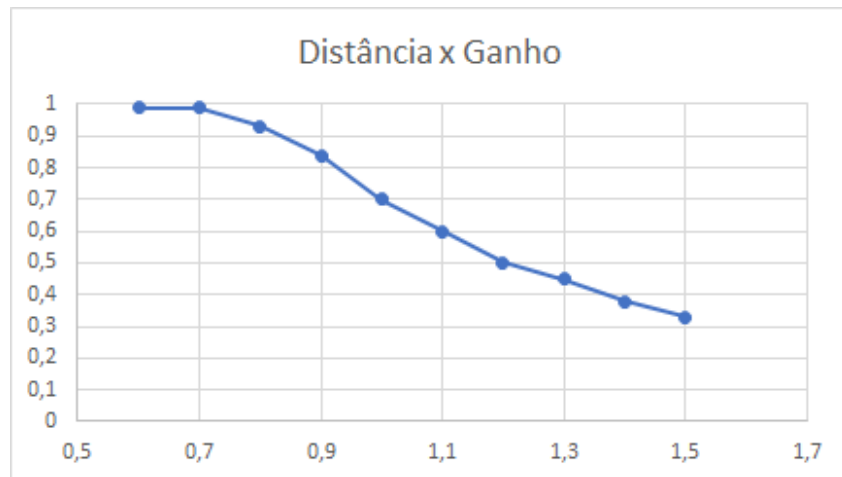
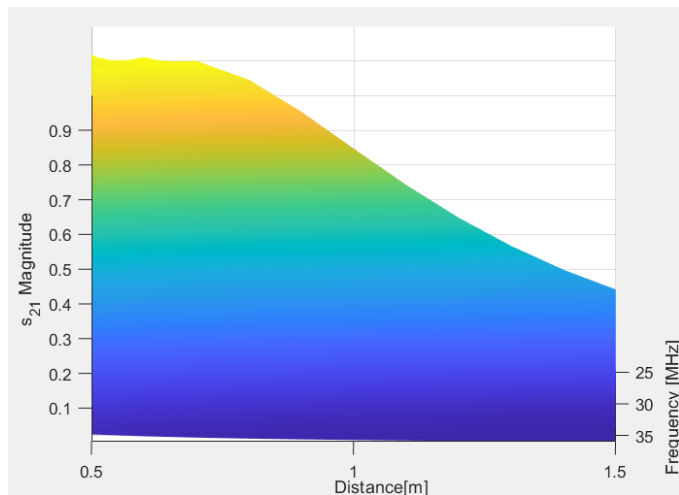
Passo 2:

Foi plotado um gráfico do ganho em função de um linspace de M, iniciando-se com seu valor(inverso da frequência crítica) e indo até $0.1 \cdot 10^{-7}$ com step de 200:



Passo 3:

A seguir, com o gráfico que foi obtido no item 6, é possível analisar a curvatura de Ganho x Distância e coletando dez pontos, foi possível obter outro gráfico através do Excel, desta vez em 2D.



Na direita o gráfico 3D do item 6 com foco apenas no ganho x distância e na esquerda o mesmo gráfico com menos pontos feito no excel

Passo 4:

Esse mesmo procedimento de plotar um gráfico no Excel foi feito com o gráfico obtido no Passo 2, do qual cada valor foi retirado do próprio Ganho e M calculados pelo Matlab e também foi adaptada a frequência de Hz para MHz:

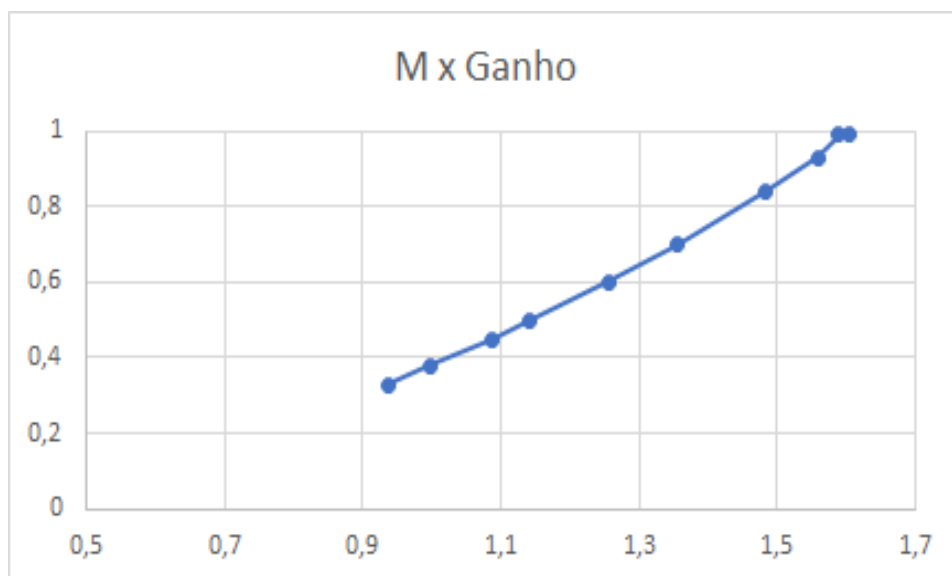


Gráfico M x Ganho no excel

Passo 5:

Ao final, foram juntados os dois gráficos:

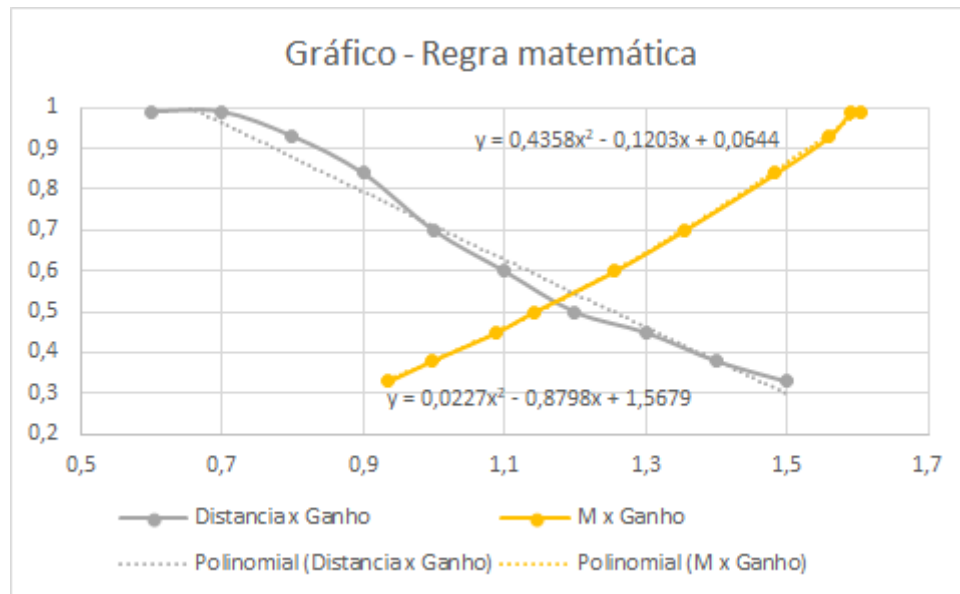


Gráfico onde é possível obter a regra matemática final

Ao analisá-lo, percebe-se que os dois gráficos têm um ponto de intersecção, tal ponto é o principal objetivo de realizar todos esses passos. No gráfico em cinza, a variável X corresponde à indutância mútua (M) e o Y é o ganho. No gráfico amarelo, a variável X corresponde à distância e o Y é o ganho. Ou seja, para obter o ponto de intersecção é só igualar as duas equações:

$$0,4358d^2 - 0,1203d + 0,0644 = 0,0227M^2 - 0,8798M + 1,5679$$

Portanto, foi adquirido uma regra matemática em função de distância (d) e indutância mútua (M).