



Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
e a luta contra o Câncer
Cerebral Infantil

Fomento a Pesquisa PRP do
IFSP via Edital nº. 823/2018



www.LabMax.org

Metodologia de Projeto de Antena Patch Acessível

Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico.

Dr. Alexandre Maniçoba de Oliveira



Vantagens da Antena Patch

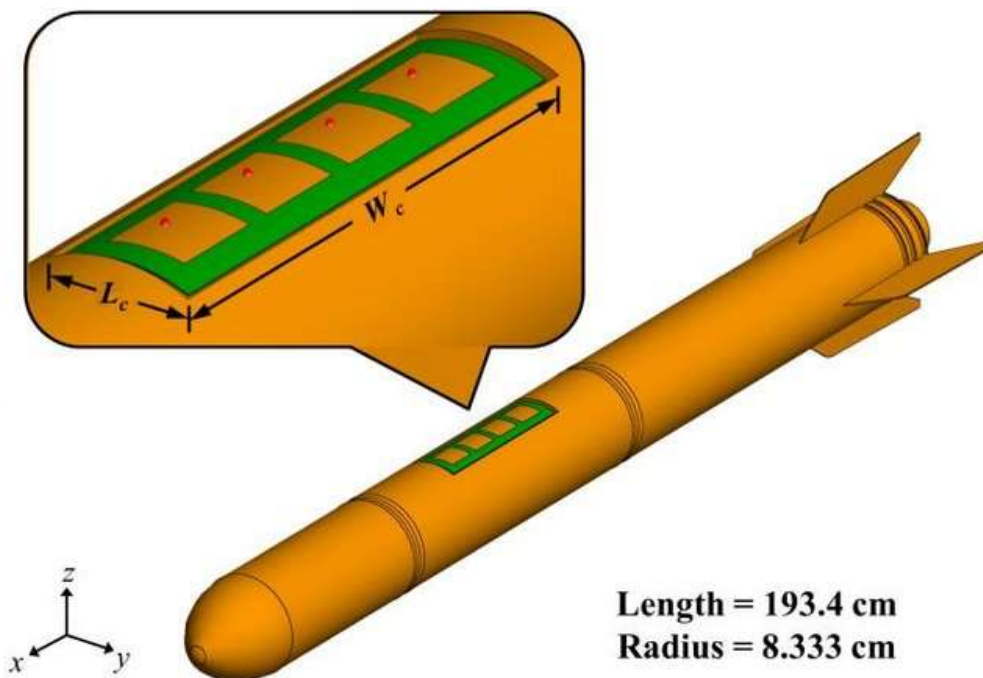
- Simples geometria baseada em microlinha de transmissão em fita;
- Fabricação compatível com PCB e Circuito Integrado Monolítico;
- Pequenas dimensões e peso;
- Compacta e consideravelmente barata;
- Compatível com Configuração em Arranjo.

Fonte: MACI e GENTILI, 1997; PAPAPOLYMEROU, DRAYTON e KATEHI, 1998; YANG et al., 2001; LEE e TONG, 2012.



Aplicações da Antena Patch

Em veículos de altíssima velocidade, como mísseis e foguetes, aviões a jato e mesmo em espaçonaves (LEE e TONG, 2012).

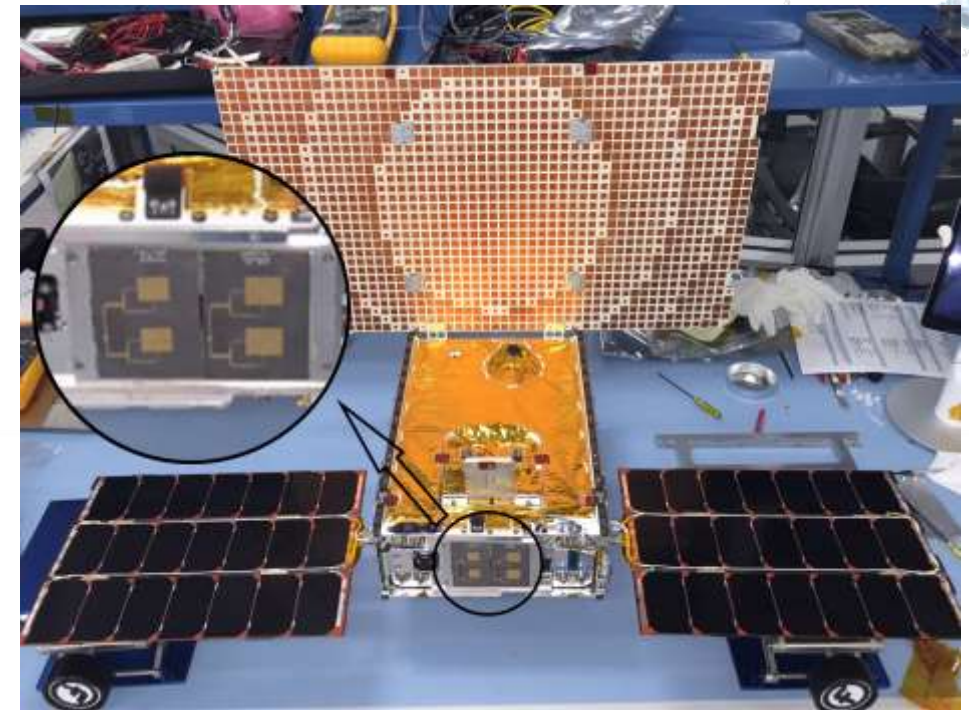


Fonte: S. -P. Gao, B. Wang, H. Zhao, W. -J. Zhao and C. E. Png, "Installed Radiation Pattern of Patch Antennas: Prediction based on a novel equivalent model," in IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 57, no. 3, pp. 81-94, June 2015, doi: 10.1109/MAP.2015.2437275.



Aplicações da Antena Patch

Sistemas de comunicação, radar, telemetria, navegação, sistemas biomédicos, links de satélites, GPS, automotivo e comunicação WiFi (MACI e GENTILI, 1997; PAPAPOLYMEROU, DRAYTON e KATEHI, 1998).



Fonte: <https://spectrum.ieee.org/new-antennas-will-take-cubesats-to-mars-and-beyond>



Algumas definições

- **dB**- Decibel- Relação entre dois valores.
- **dBx** em que **x** =
 - **m** = comparado com 1 **milliwatt** (0 dBm=1 mW)
 - **i** = comparado com a antena **isotrópica**
 - **d** = comparado com uma antena **dipolo**
 - **w** = comparado com 1 **watt** (0 dBw = 1 watt)

Fonte: Olga Torstensson - Halmstad University – Cisco Systems, Inc. 2003



Algumas definições

Antena:

Dispositivo utilizado para melhorar o casamento de impedância entre dois meios distintos garantindo a transferência eficiente de energia, irradiada ou recebida, na forma de ondas eletromagnéticas fundamentalmente como parte de um sistema transmissor ou receptor.

Fonte: IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. Standard 145-1993, 1993



Algumas definições

Diretividade:

Razão entre a intensidade de energia irradiada em uma direção específica, pela antena, e a intensidade energia irradiada média de todas as demais direções.

www.LabMax.org

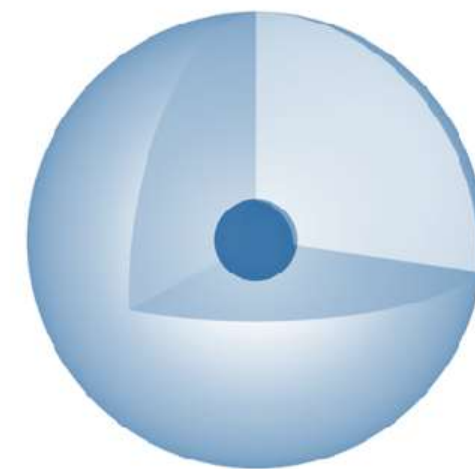
Fonte: IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. Standard 145-1993, 1993



Algumas definições

Ganho:

Razão entre a intensidade de energia irradiada em uma direção específica e a intensidade de energia irradiada esperada com potência equivalente obtida pelo uso de uma antena isotrópica.

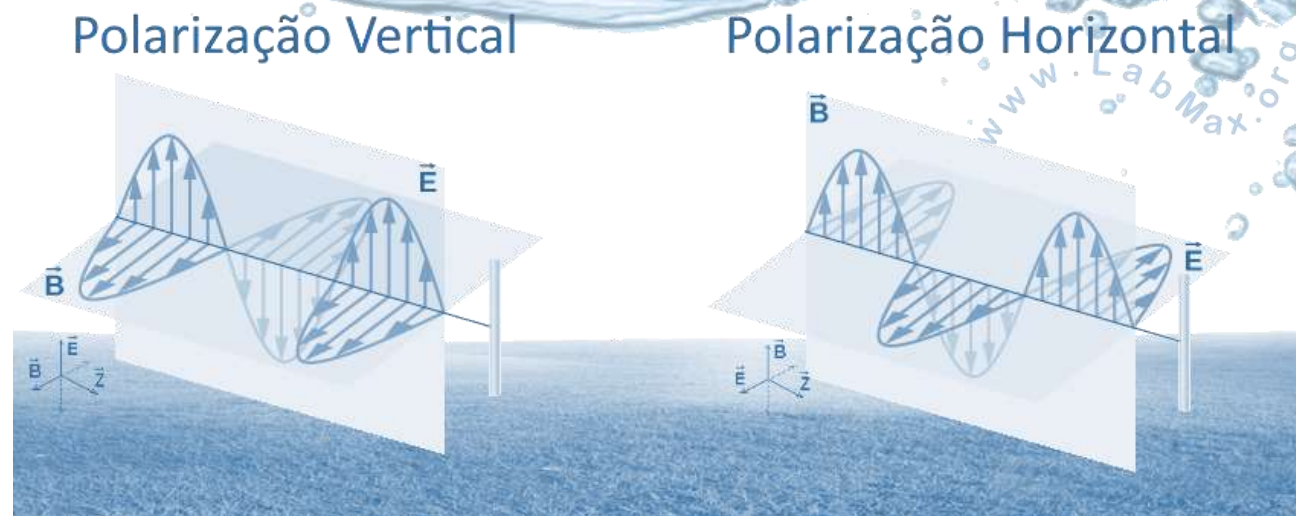


Fonte: IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. Standard 145-1993, 1993 & HILL, J. E. Gain of Directional Antennas. In Watkins-Johnson Tech-notes, 1976, vol. 3.



Algumas definições

Polarização:



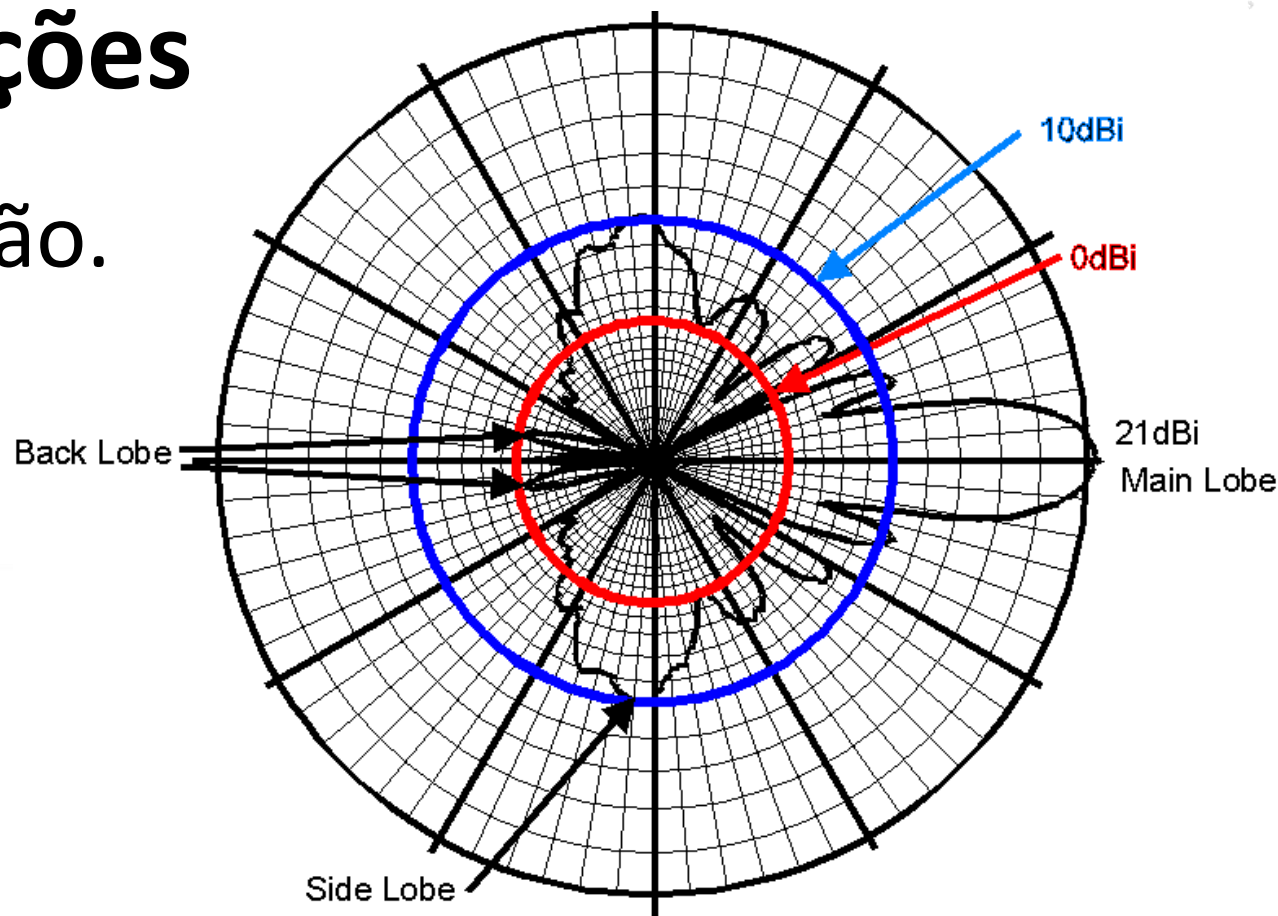
Corresponde a orientação do plano formado pelo campo \vec{E} e o eixo de propagação longitudinal \vec{Z} da onda eletromagnética relativa ao plano Terra. Esta orientação se deve por características intrínsecas da antena. Quando este plano é paralelo ao plano Terra a polarização é horizontal, quando é ortogonal, a polarização é vertical.

Fonte: IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. Standard 145-1993, 1993



Algumas definições

Feixes de irradiação.



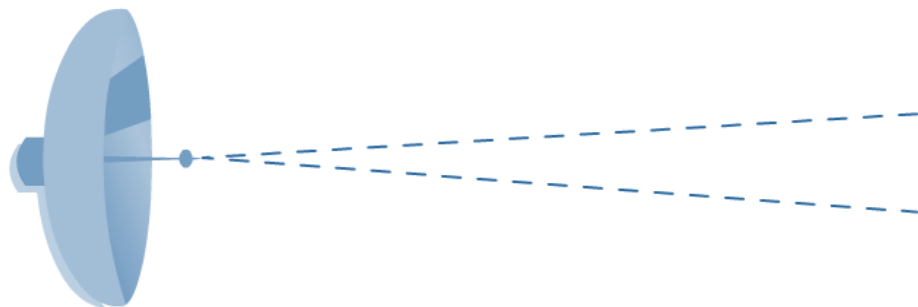
www.LabMax.org

Fonte: Olga Torstensson - Halmstad University – Cisco Systems, Inc. 2003

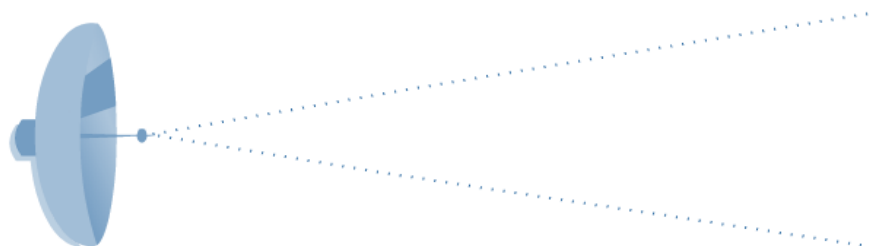


Algumas definições

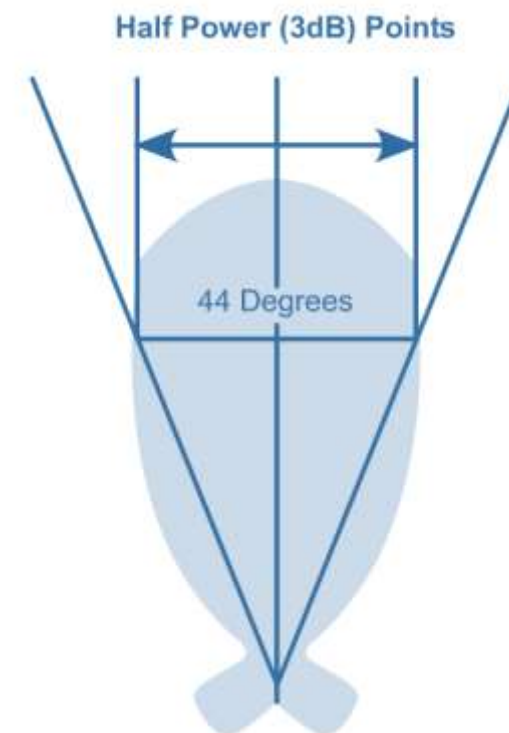
Beamwidth



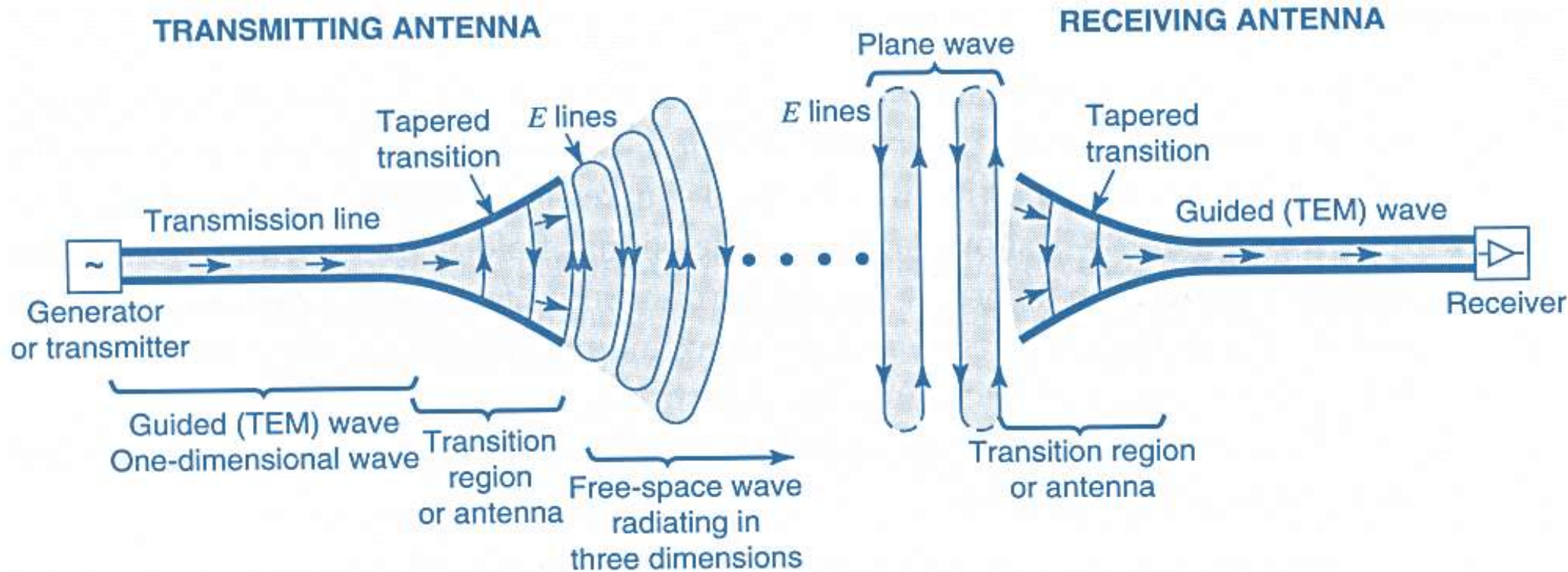
Higher-gain antennas have narrower beamwidths and less chance of receiving interference.



Lower-gain antennas have wider beamwidths and a greater chance of receiving interference.



Fonte: IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. Standard 145-1993, 1993 & Olga Torstensson - Halmstad University – Cisco Systems, Inc. 2003



Fonte: IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. Standard 145-1993, 1993 & Olga Torstenson - Halmstad University – Cisco Systems, Inc. 2003



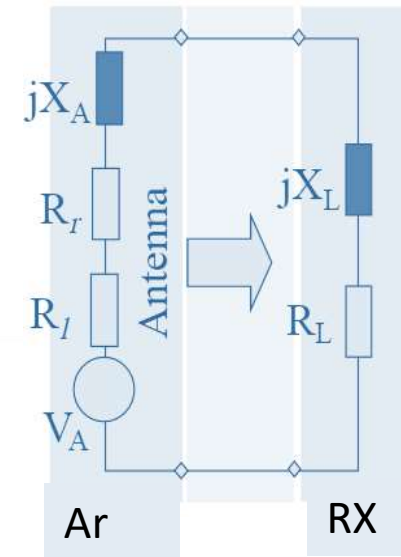
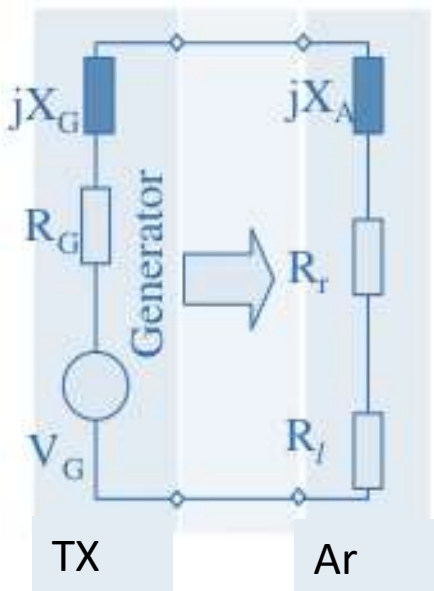
CIRCUITO RLC EQUIVALENTE DO UM SISTEMA DE MICRO-ONDAS POR RF

Impedância intrínseca do espaço livre, E/H

$$\begin{aligned} \eta_0 &= \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} \\ &= 120 \pi \\ &\cong 376.7 \Omega \end{aligned}$$

Impedância característica (Z_0) de uma linha de transmissão, V/I
 Um valor típico para Z_0 é 50Ω .

Para garantir o casamento de impedância entre a linha de transmissão e o ar livre, utiliza-se a antena.





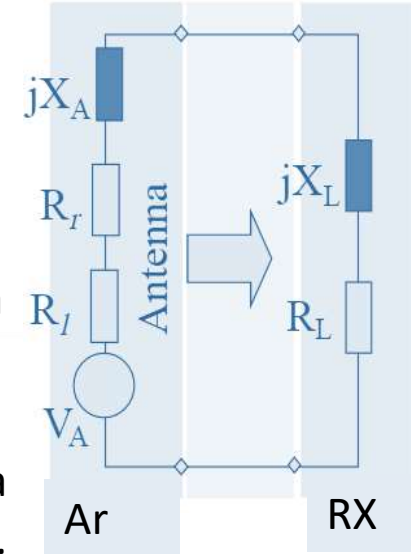
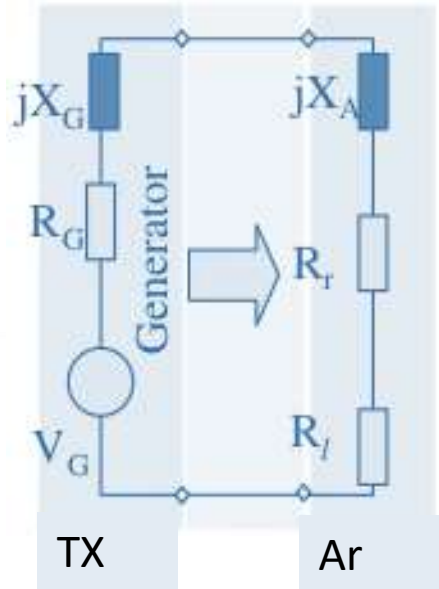
CIRCUITO RLC EQUIVALENTE DO UM SISTEMA DE MICRO-ONDAS POR RF

jX_A representa a energia contida nas componentes elétricas (E_E) e magnéticas (E_M) da onda (componentes Near-field); Se $|E_E| = |E_M|$ então $X_A = 0$ pois a antena está ressoante.

R_t representa a energia irradiada no espaço livre (Componentes Far-field).

R_l representa a energia na forma de perdas, por exemplo: Calor irradiado na estrutura da antena.

V_A (induzida pela onda incidente) é a diferença de potencial nos terminais da antena determinada em eu a antena está em modo de circuito aberto.
 representa a energia na forma de perdas, por exemplo: Calor irradiado na estrutura da antena.





Microstrip Antennas

In high-performance aircraft, spacecraft, satellite, and missile applications, where size, weight, cost, performance, ease of installation, and aerodynamic profile are constraints, low-profile antennas may be required. Presently there are many other government and commercial applications, such as mobile radio and wireless communications, that have similar specifications. To meet these requirements, microstrip antennas [1]–[38] can be used. These antennas are low profile, conformable to planar and nonplanar surfaces, simple and inexpensive to manufacture using modern printed-circuit technology, mechanically robust when mounted on rigid surfaces, compatible with MMIC designs, and when the particular patch shape and mode are selected, they are very versatile in terms of resonant frequency, polarization, pattern, and impedance. In addition, by adding loads between the patch and the ground plane, such as pins and varactor diodes, adaptive elements with variable resonant frequency, impedance, polarization, and pattern can be designed [18], [39]–[44].

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

www.LabMax.org

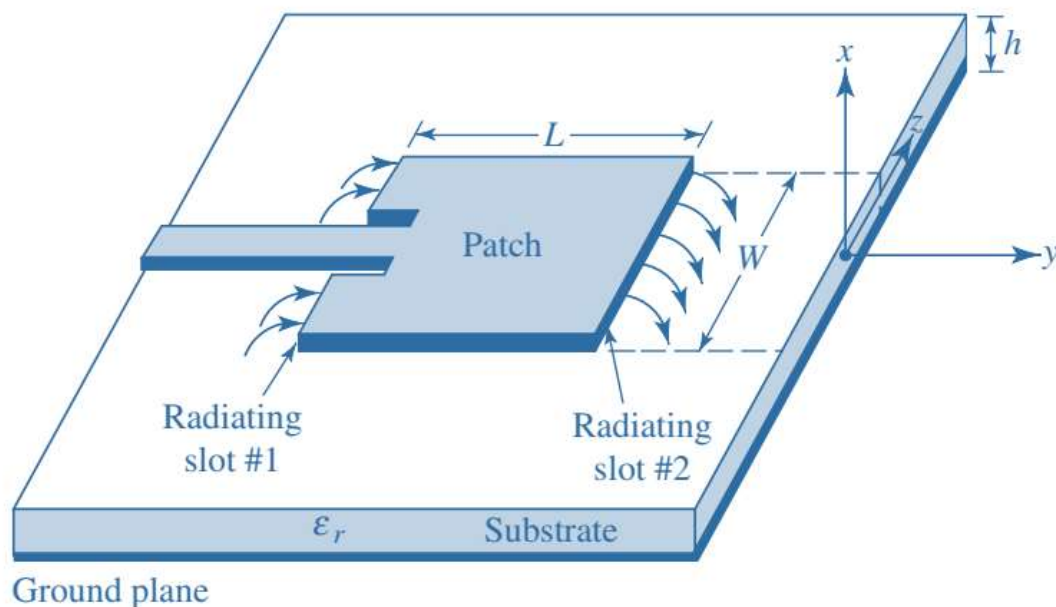


www.LabMax.org

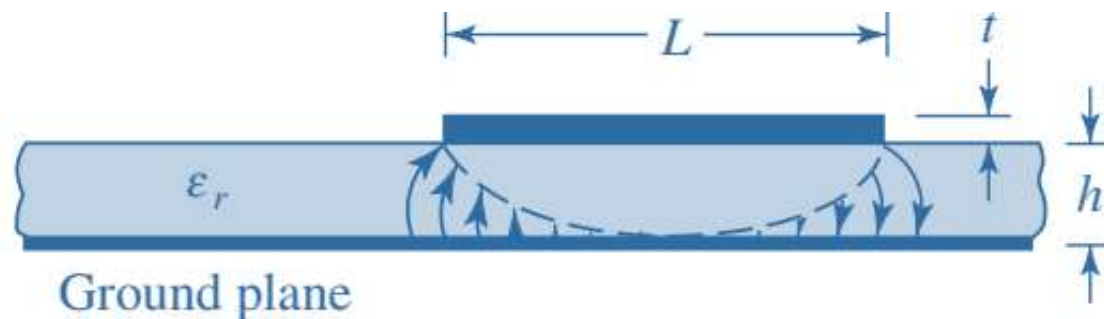
Microstrip Antennas

Basic Characteristics

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.



(a) Microstrip antenna



(b) Side view

Microstrip antenna and coordinate system.

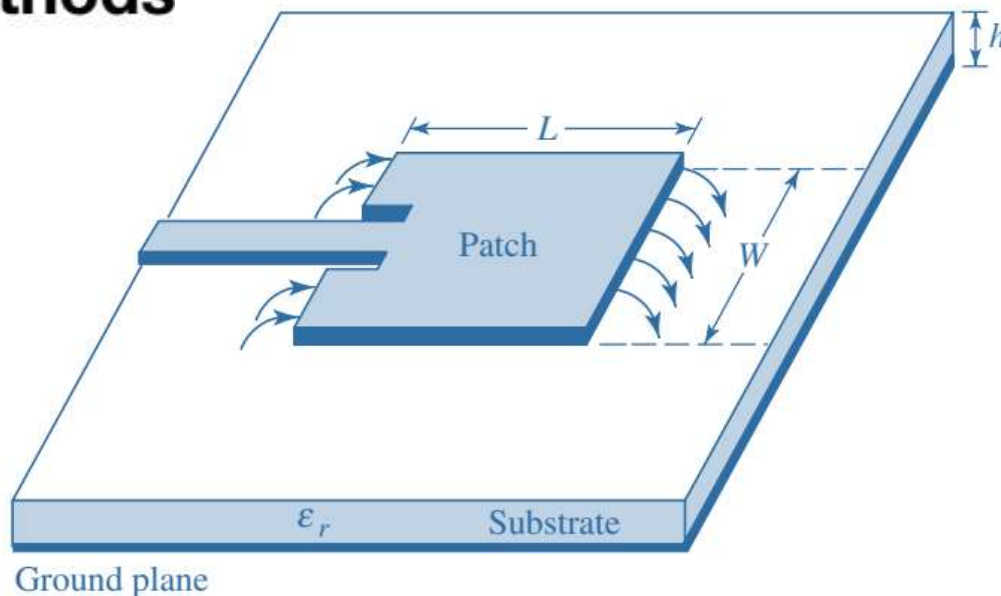


www.LabMax.org

Microstrip Antennas

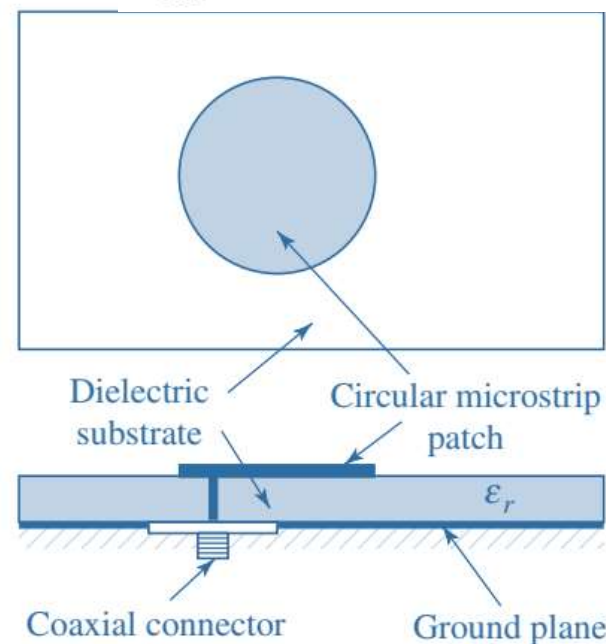
Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

Feeding Methods



(a) Microstrip line feed

Typical feeds for microstrip antennas.



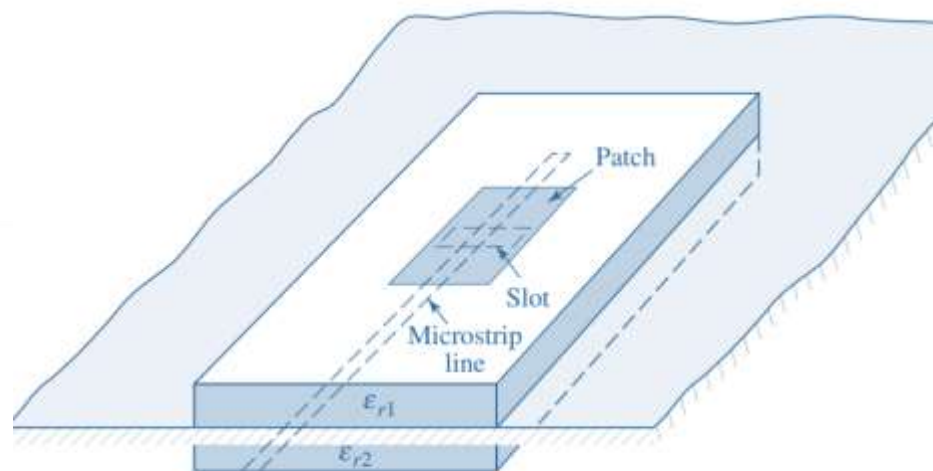
(b) Probe feed



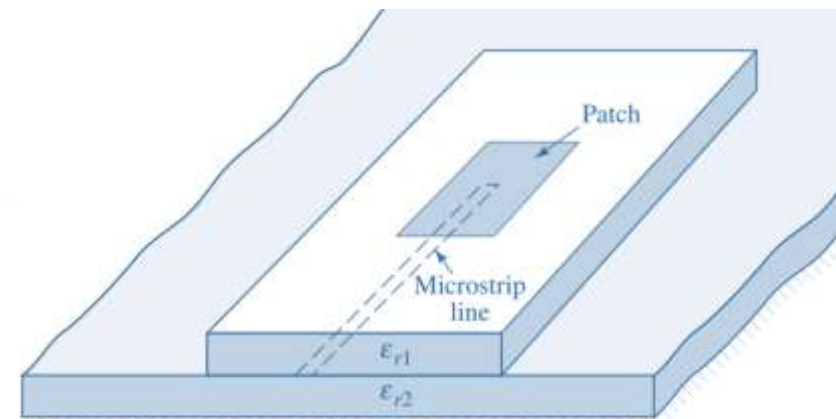
Microstrip Antennas

Feeding Methods

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.



(c) Aperture-coupled feed



(d) Proximity-coupled feed

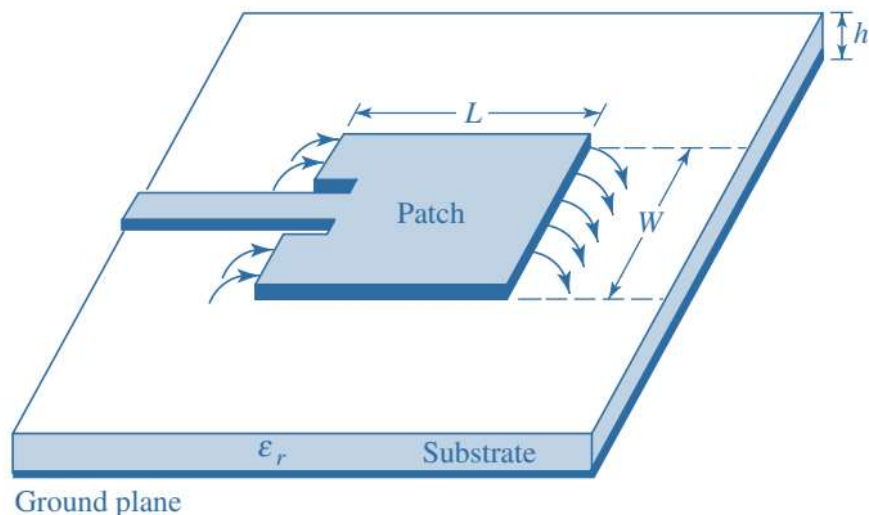
Typical feeds for microstrip antennas.



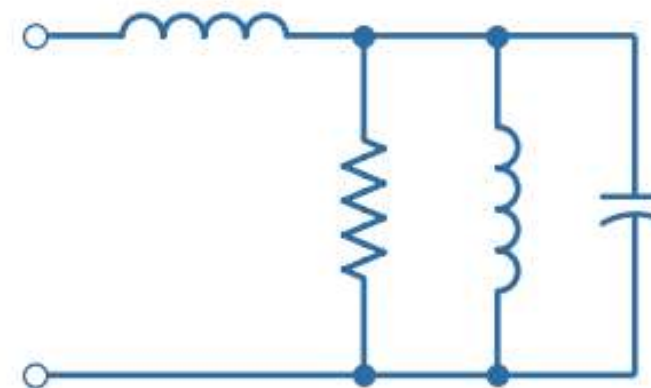
Microstrip Antennas

Feeding Methods

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.



(a) Microstrip line feed



(a) Microstrip line

Equivalent circuits for typical feeds

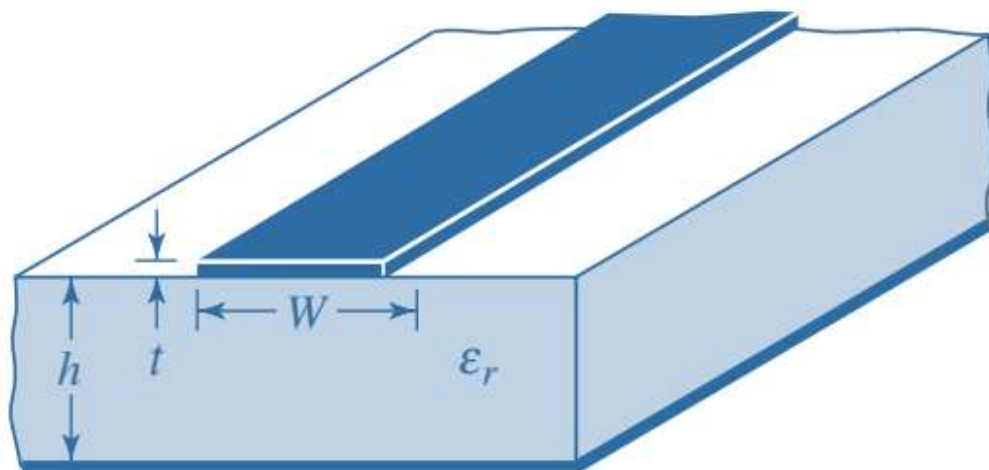


Microstrip Antennas

Feeding Methods

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

www.LabMax.org



(a) Microstrip line



Fringing Effects

(b) Electric field lines

Equivalent circuits for typical feeds



Microstrip Antennas

Transmission-Line Model

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

$$\underline{W/h > 1}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2}$$

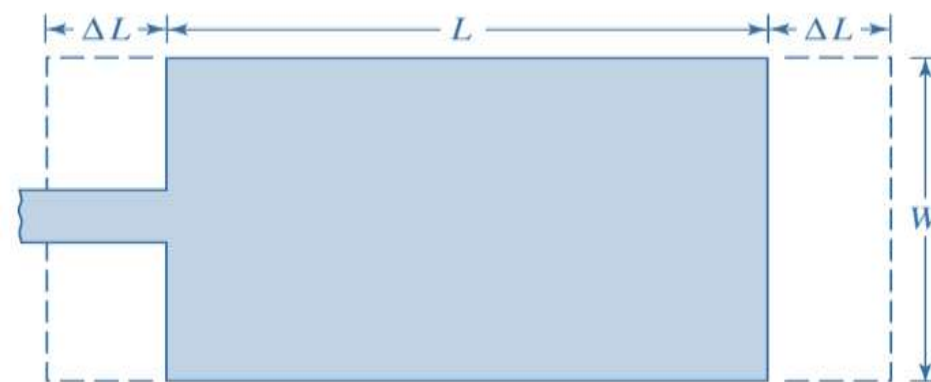
Equivalent circuits for typical feeds



www.LabMax.org

Microstrip Antennas

Transmission-Line Model



(a) Top view



(b) Side view

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

Physical and effective lengths of rectangular microstrip patch.



Microstrip Antennas

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

www.LabMax.org

Transmission-Line Model

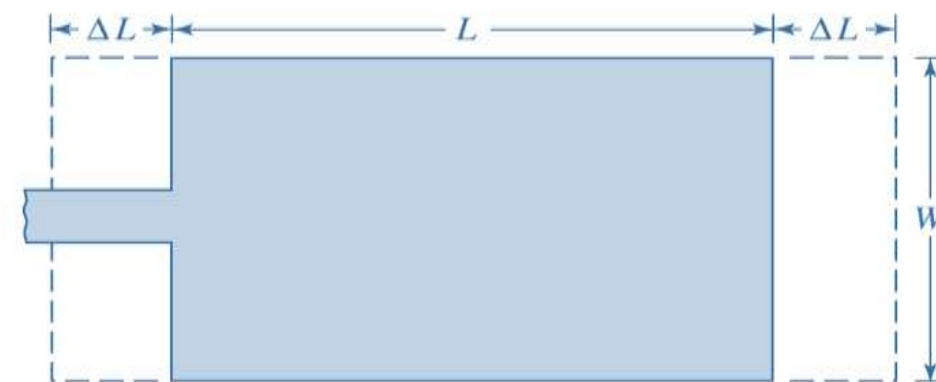
$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L$$

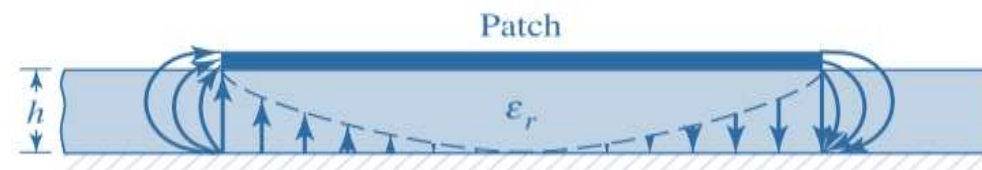
$L = \lambda/2$ for dominant TM_{010} mode with no fringing.

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}}$$

Physical and effective lengths of rectangular microstrip patch.



(a) Top view



(b) Side view



Microstrip Antennas *Design*

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

Specify:

ϵ_r , f_r (in Hz), and h

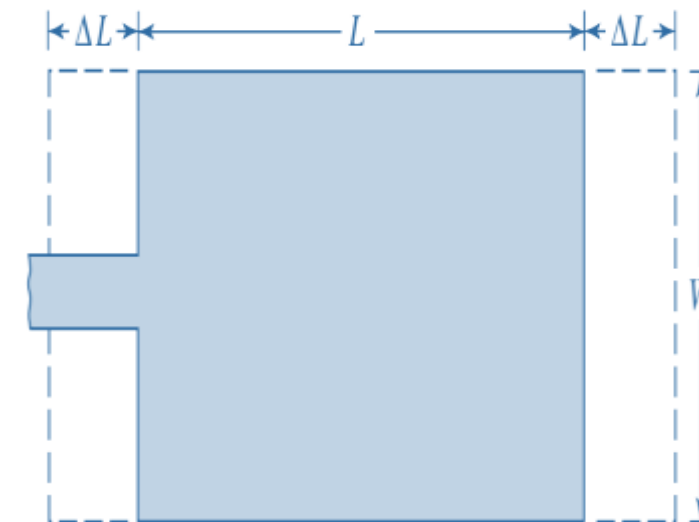
Determine:

W , L

Design procedure:

- Determine the effective dielectric constant of the microstrip antenna using

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2}$$





Microstrip Antennas *Design*

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

Specify:

ϵ_r , f_r (in Hz), and h

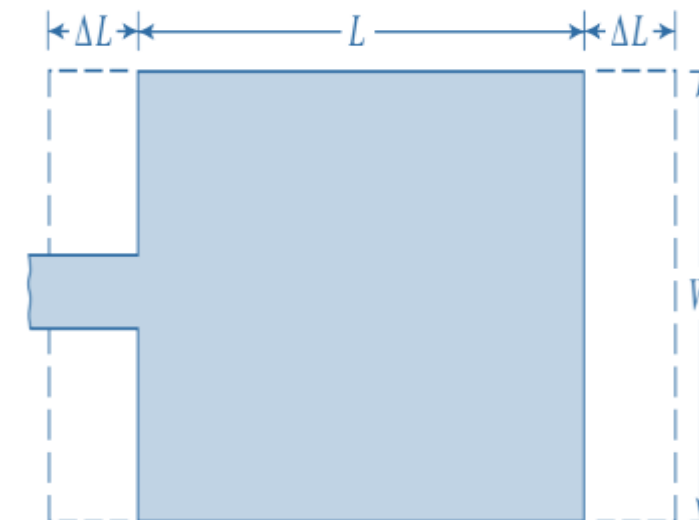
Determine:

W , L

Design procedure:

3. Once W is found determine the extension of the length ΔL using

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$





Microstrip Antennas *Design*

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

Specify:

ϵ_r , f_r (in Hz), and h

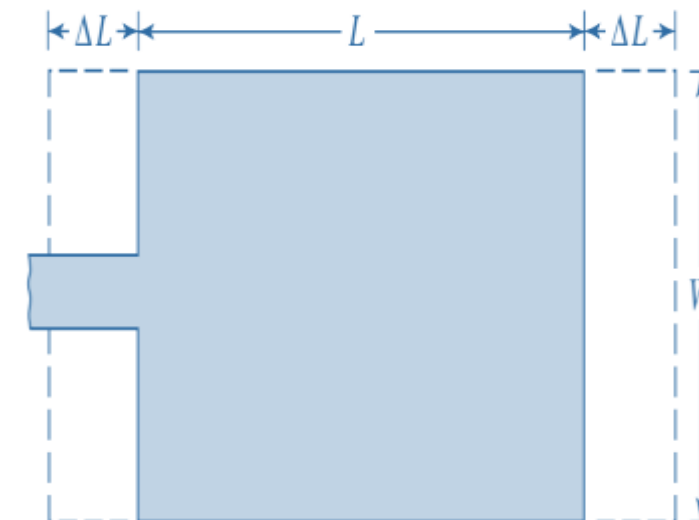
Determine:

W , L

Design procedure:

4. The actual length of the patch can now be determined by solving

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L$$





Example 14.1

Design a rectangular microstrip antenna using a substrate (RT/duroid 5880) with dielectric constant of 2.2, $h = 0.1588$ cm (0.0625 inches) so as to resonate at 10 GHz.

Solution: Using (14-6), the width W of the patch is

$$W = \frac{30}{2(10)} \sqrt{\frac{2}{2.2 + 1}} = 1.186 \text{ cm (0.467 in)}$$

The effective dielectric constant of the patch is found using (14-1), or

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{2.2 + 1}{2} + \frac{2.2 - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{0.1588}{1.186} \right)^{-1/2} = 1.972$$

Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.



Example 14.1

Design a rectangular microstrip antenna using a substrate (RT/duroid 5880) with dielectric constant of 2.2, $h = 0.1588$ cm (0.0625 inches) so as to resonate at 10 GHz.

The extended incremental length of the patch ΔL is, using (14-2)

$$\Delta L = 0.1588(0.412) \frac{(1.972 + 0.3) \left(\frac{1.186}{0.1588} + 0.264 \right)}{(1.972 - 0.258) \left(\frac{1.186}{0.1588} + 0.8 \right)}$$

$$= 0.081 \text{ cm (0.032 in)}$$



Example 14.1

Design a rectangular microstrip antenna using a substrate (RT/duroid 5880) with dielectric constant of 2.2, $h = 0.1588$ cm (0.0625 inches) so as to resonate at 10 GHz.

The actual length L of the patch is found using (14-3), or

$$L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L = \frac{30}{2(10)\sqrt{1.972}} - 2(0.081) = 0.906 \text{ cm (0.357 in)}$$



Example 14.1

Design a rectangular microstrip antenna using a substrate (RT/duroid 5880) with dielectric constant of 2.2, $h = 0.1588$ cm (0.0625 inches) so as to resonate at 10 GHz.

The actual length L of the patch is found using (14-3), or

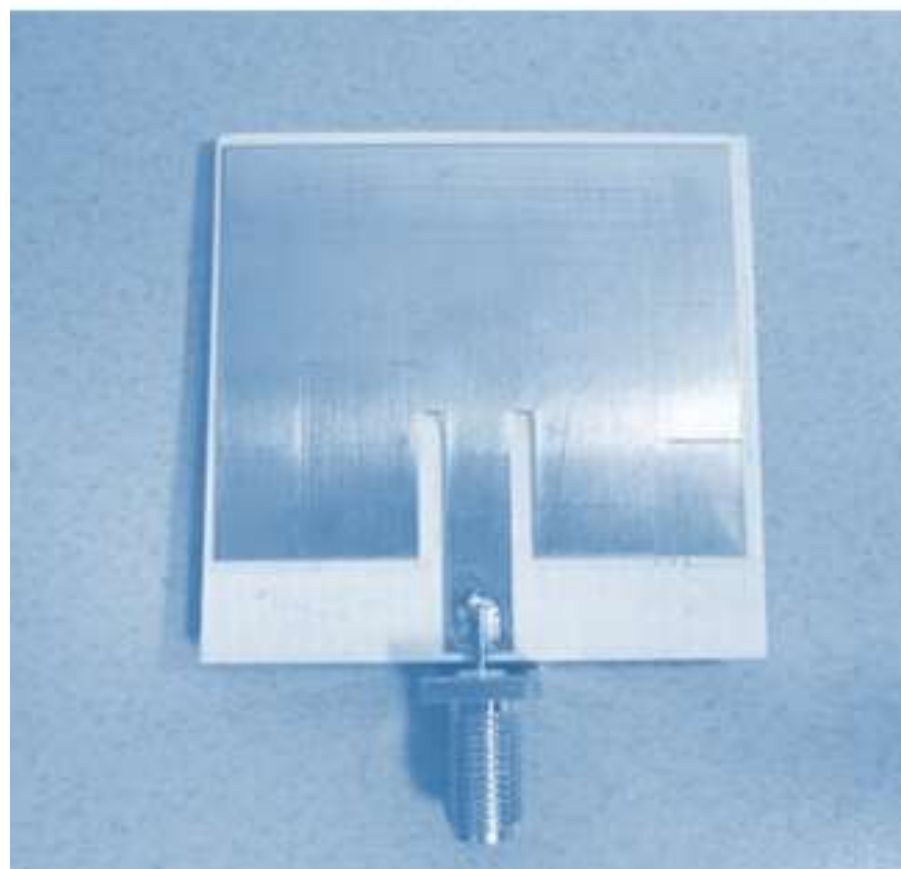
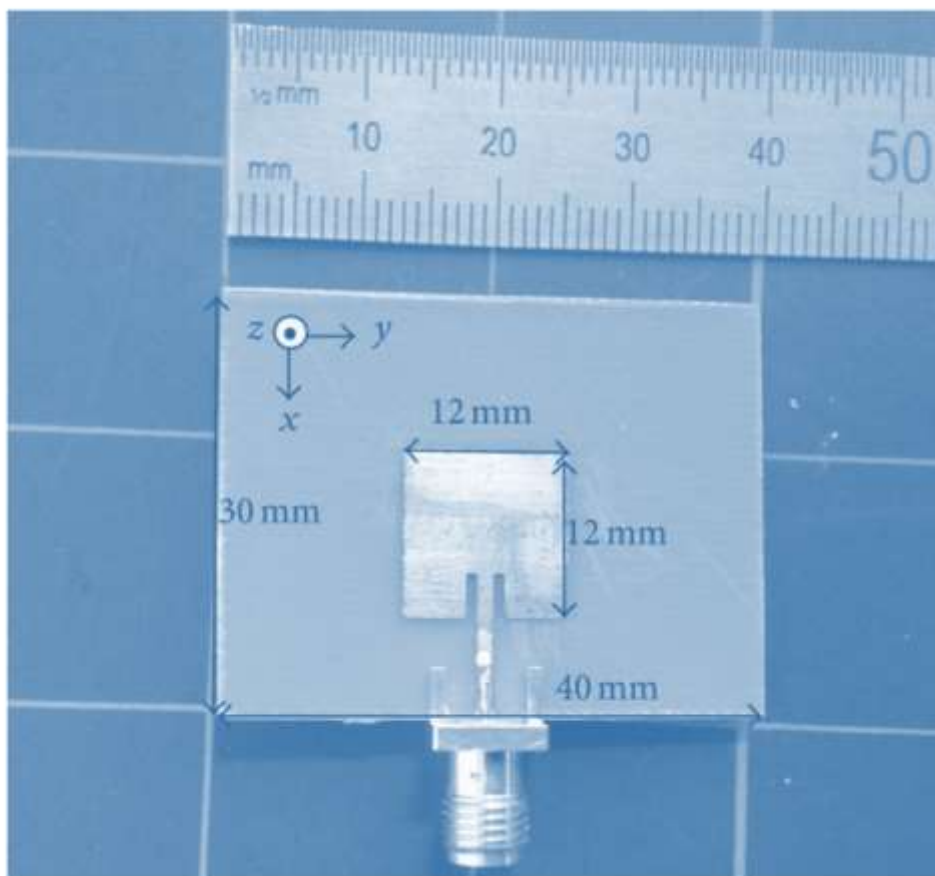
$$L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L = \frac{30}{2(10)\sqrt{1.972}} - 2(0.081) = 0.906 \text{ cm (0.357 in)}$$

Finally the effective length is

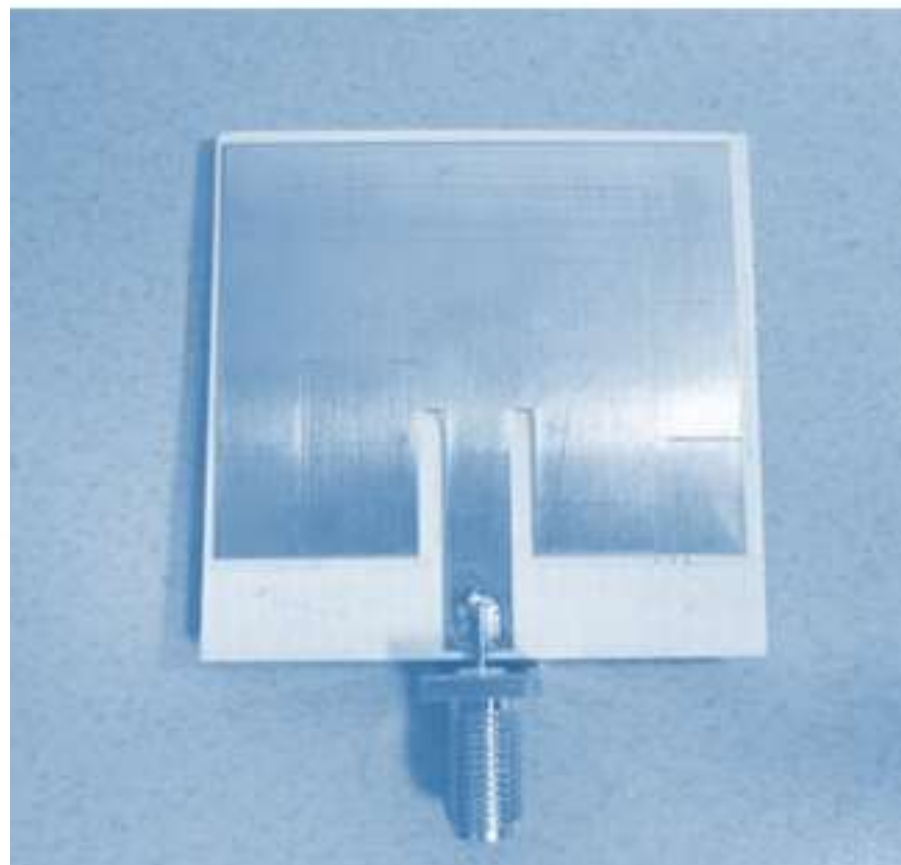
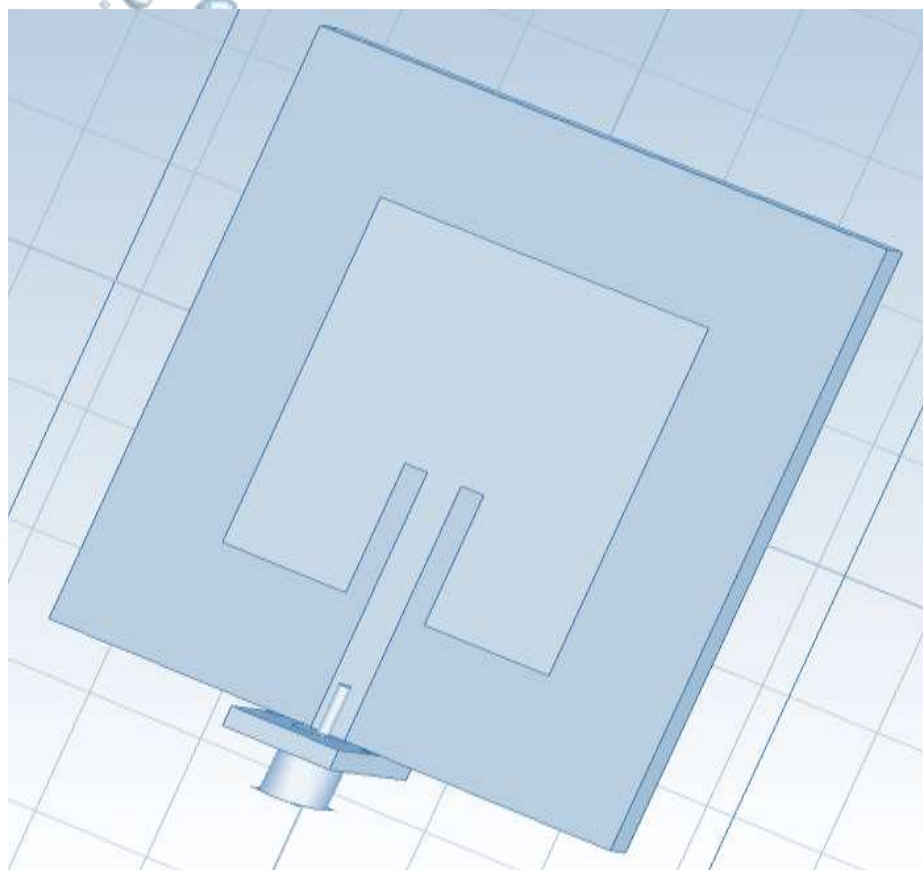
$$L_e = L + 2\Delta L = \frac{\lambda}{2} = 1.068 \text{ cm (0.421 in)}$$



ANTENAS PLANARES DE MICRO-ONDAS DO TIPO ANTENA PATCH



LabMax.org

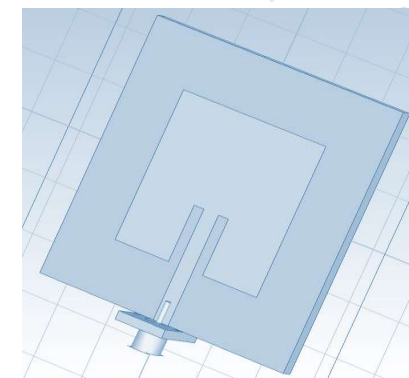
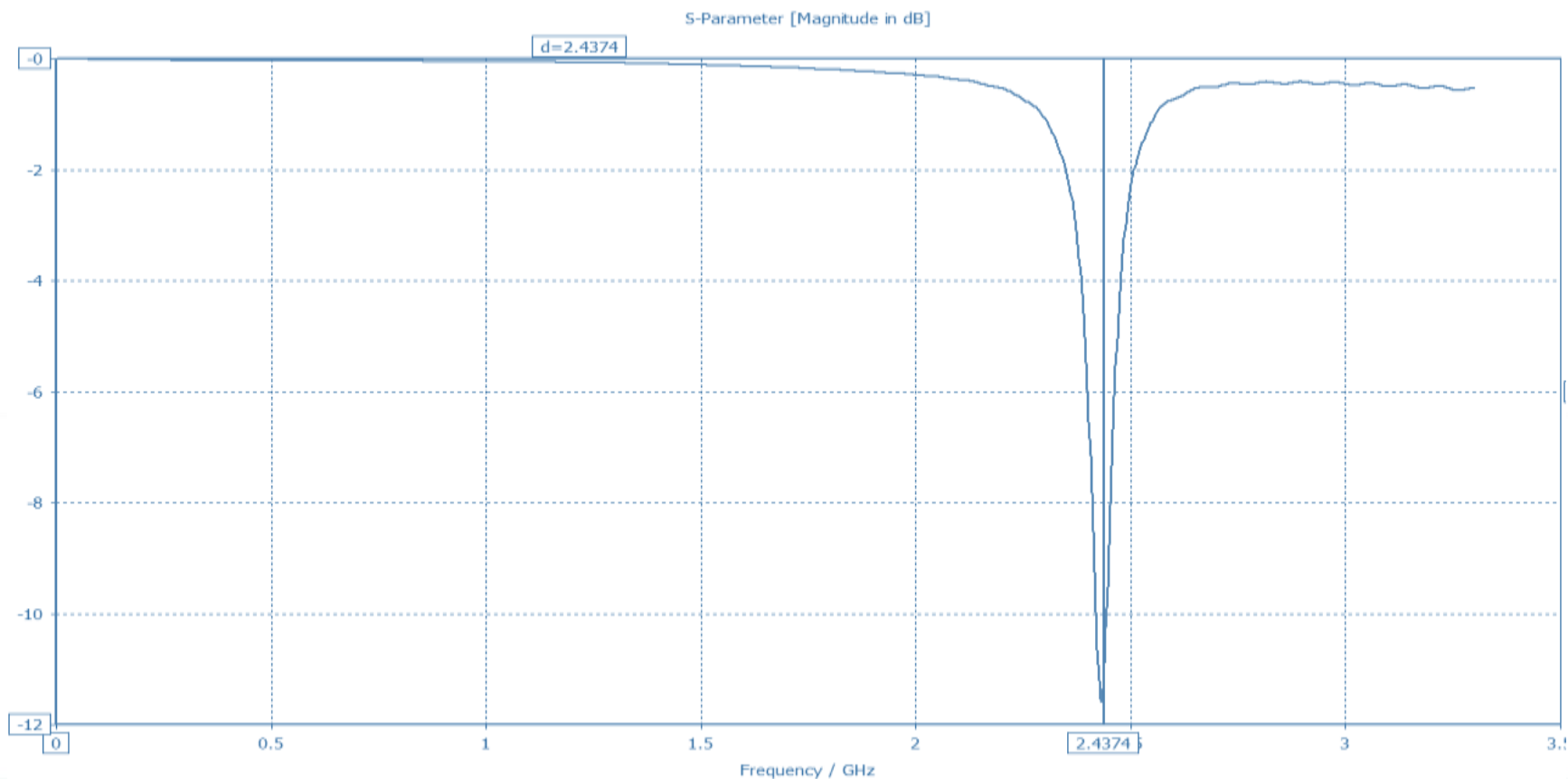


LabMax.org



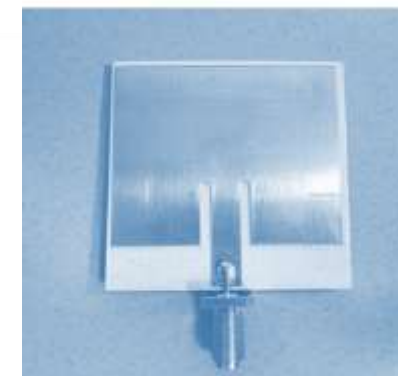
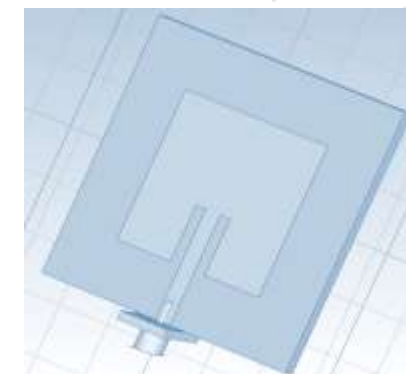
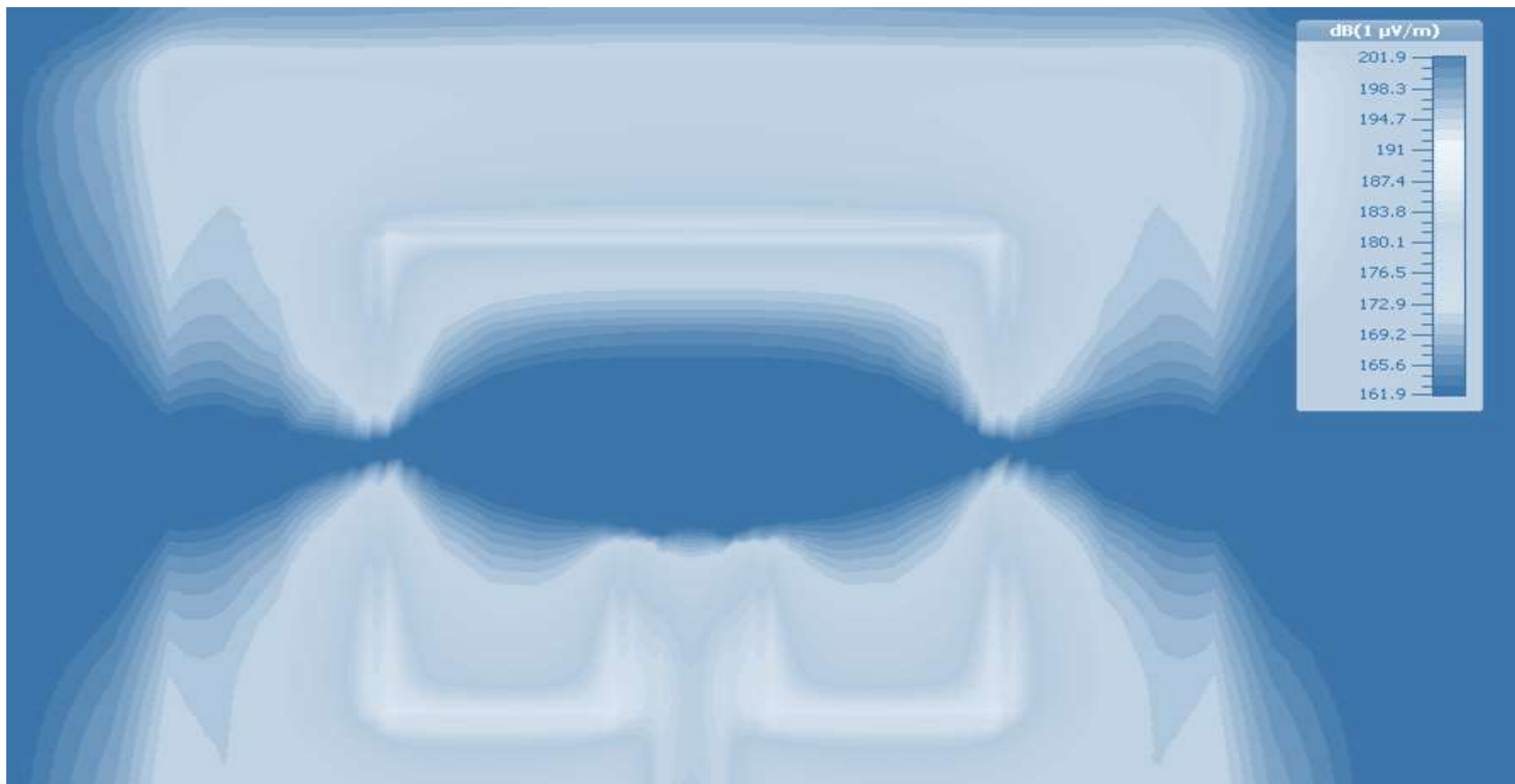
Técnicas de projeto assistido pelo computador:

www.LabMax.org





Técnicas de projeto assistido pelo computador:

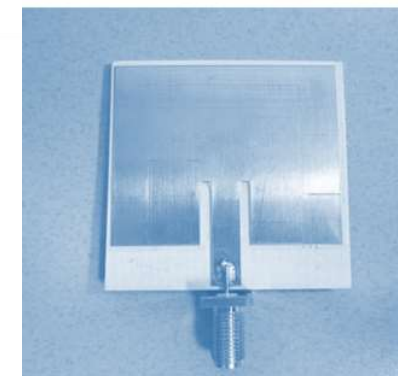
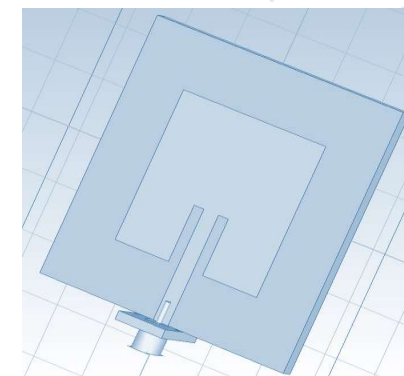
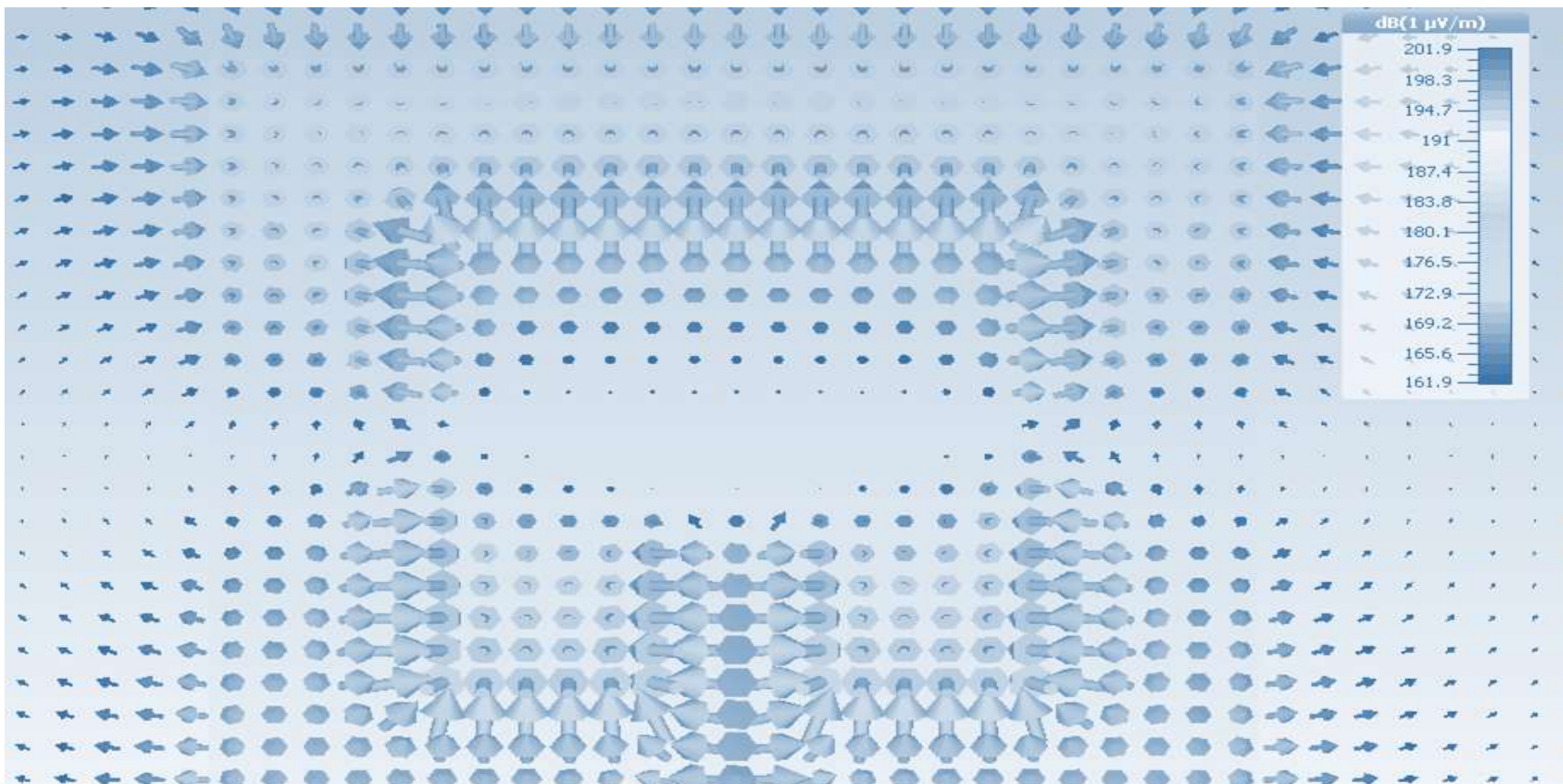


www.LabMax.org



Técnicas de projeto assistido pelo computador:

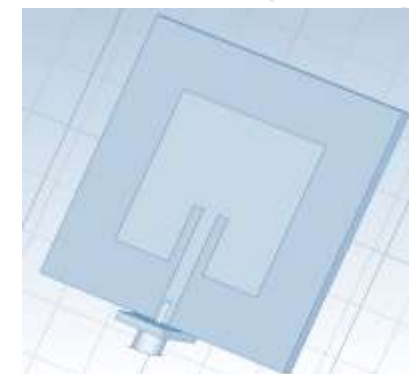
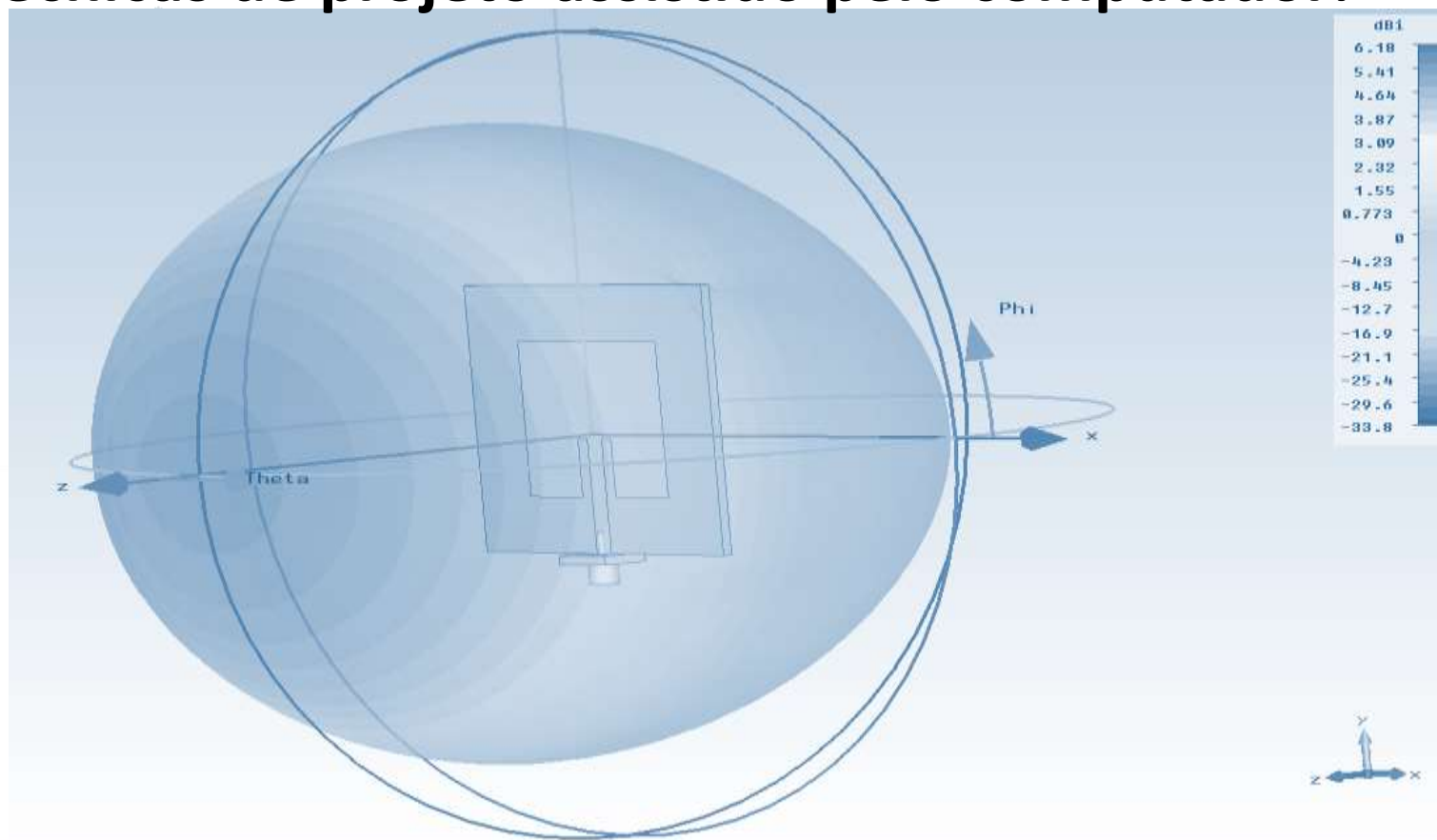
www.LabMax.org





www.LabMax.org

Técnicas de projeto assistido pelo computador:





Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
 Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
 Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



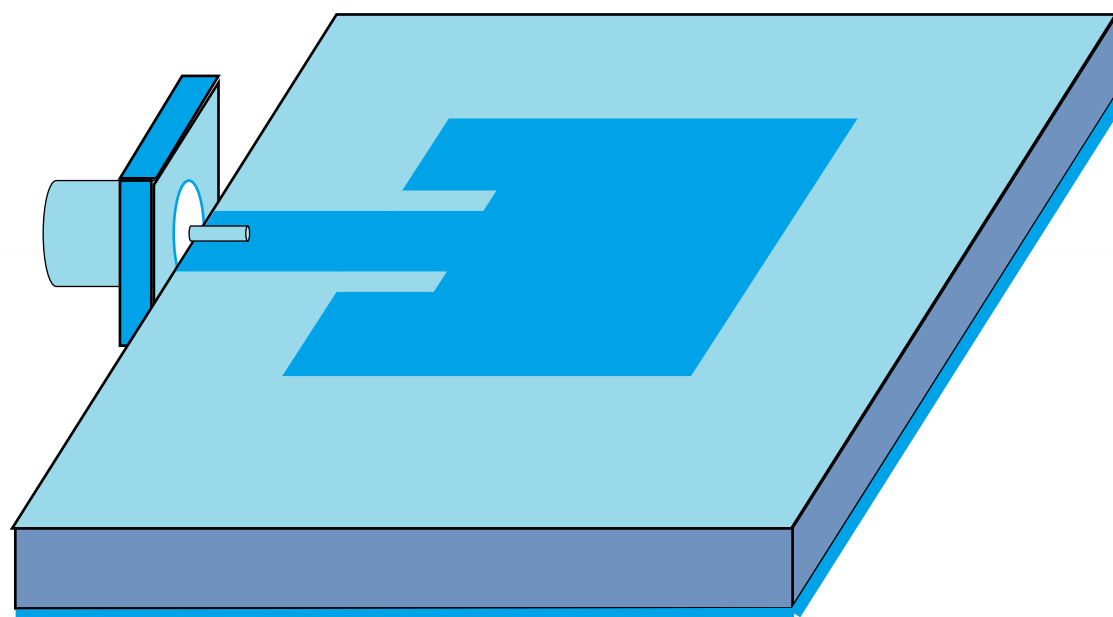
LittleMax
 e a luta contra o Câncer
 Cerebral Infantil

Fomento a Pesquisa PRP do
 IFSP via Edital nº. 823/2018



**Metodologia de Projeto de
 Antena Patch Acessível**
 Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org





Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
 Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
 Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
 e a luta contra o Câncer
 Cerebral Infantil

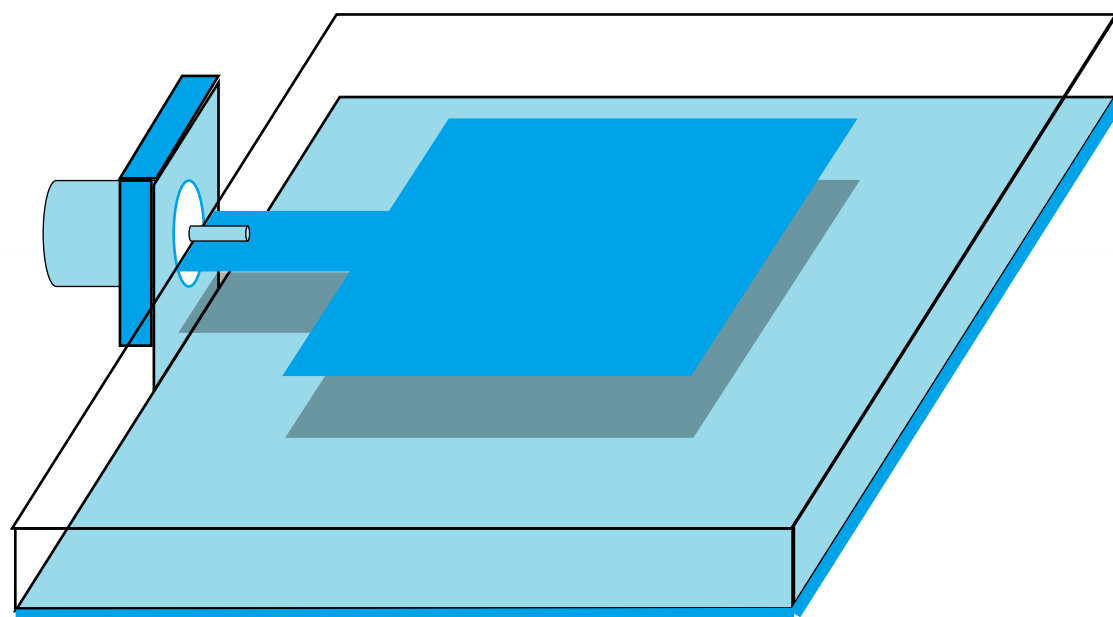
Fomento a Pesquisa PRP do
 IFSP via Edital nº. 823/2018



Metodologia de Projeto de Antena Patch Acessível

Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org





Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
 Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
 Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
 e a luta contra o Câncer
 Cerebral Infantil

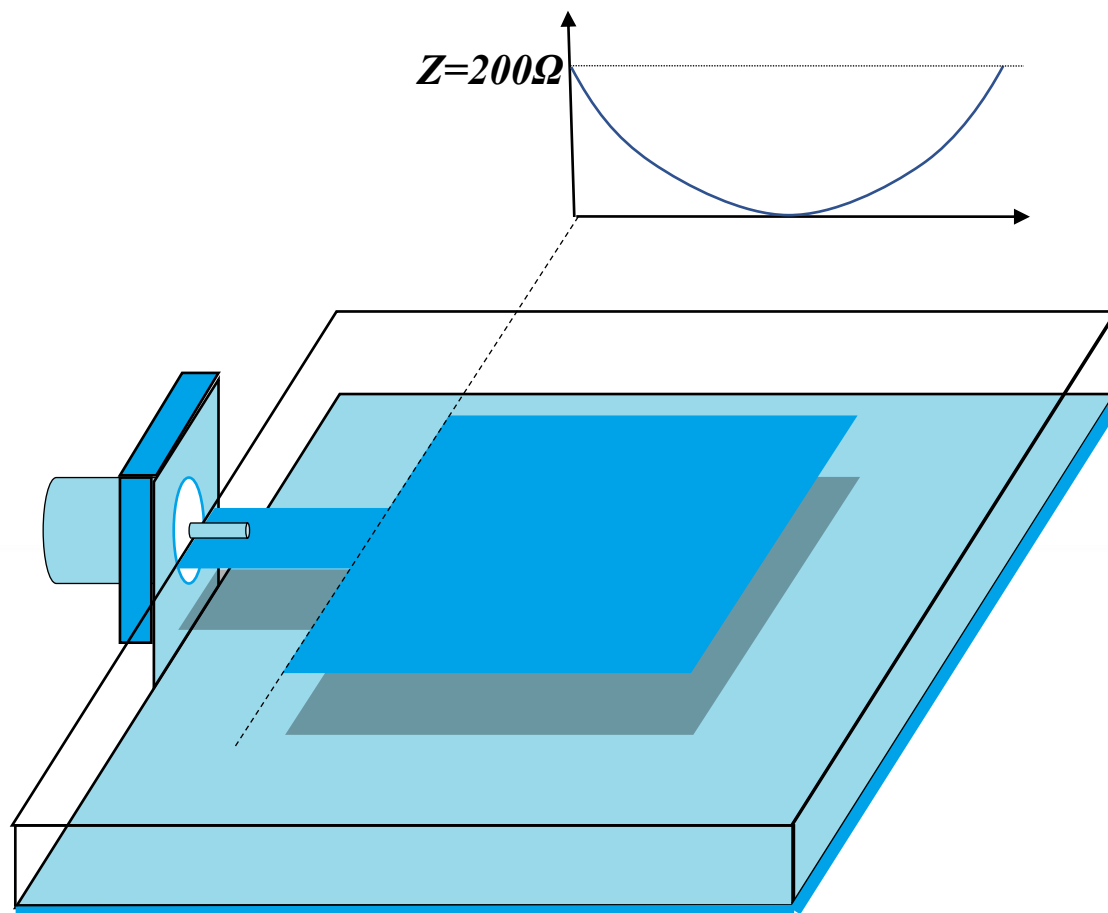
Fomento a Pesquisa PRP do
 IFSP via Edital nº. 823/2018



Metodologia de Projeto de Antena Patch Acessível

Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org





Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
 Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
 Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
 e a luta contra o Câncer
 Cerebral Infantil

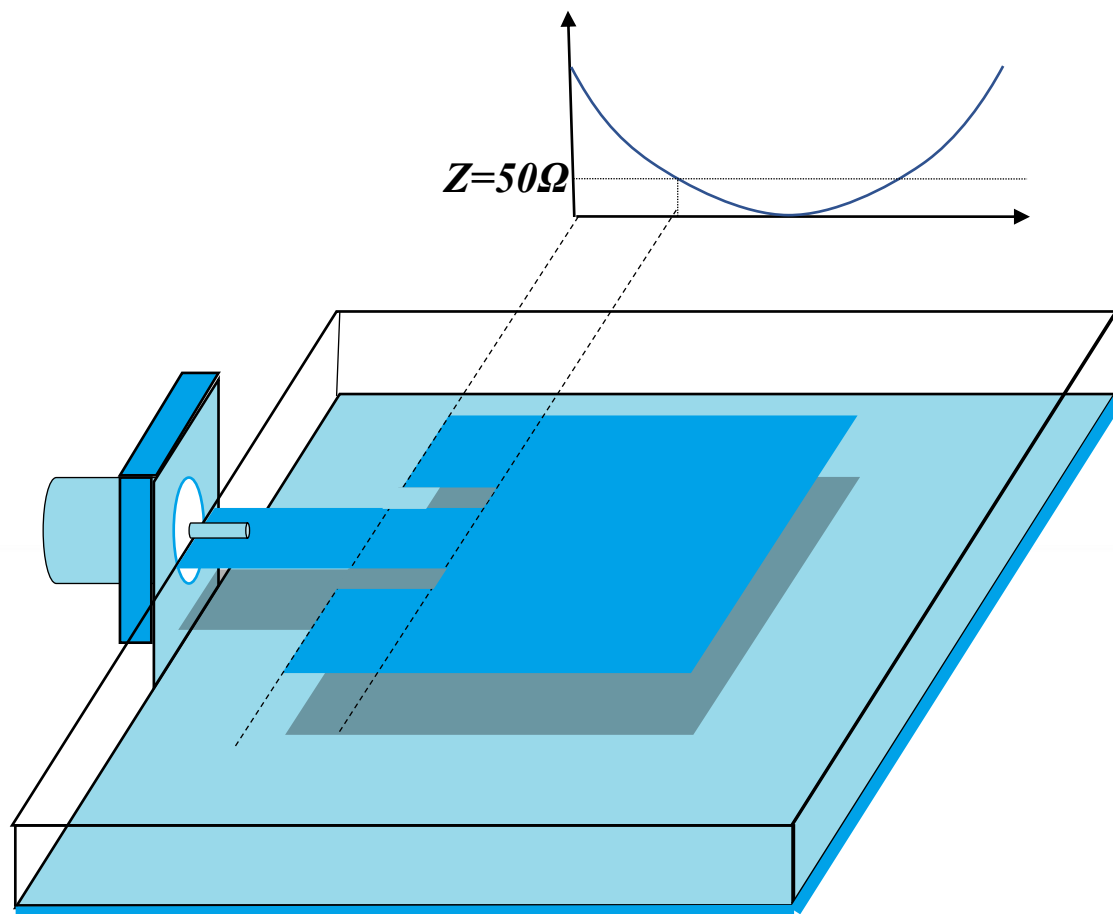
Fomento a Pesquisa PRP do
 IFSP via Edital nº. 823/2018



Metodologia de Projeto de Antena Patch Acessível

Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org





Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
 Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
 Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
 e a luta contra o Câncer
 Cerebral Infantil

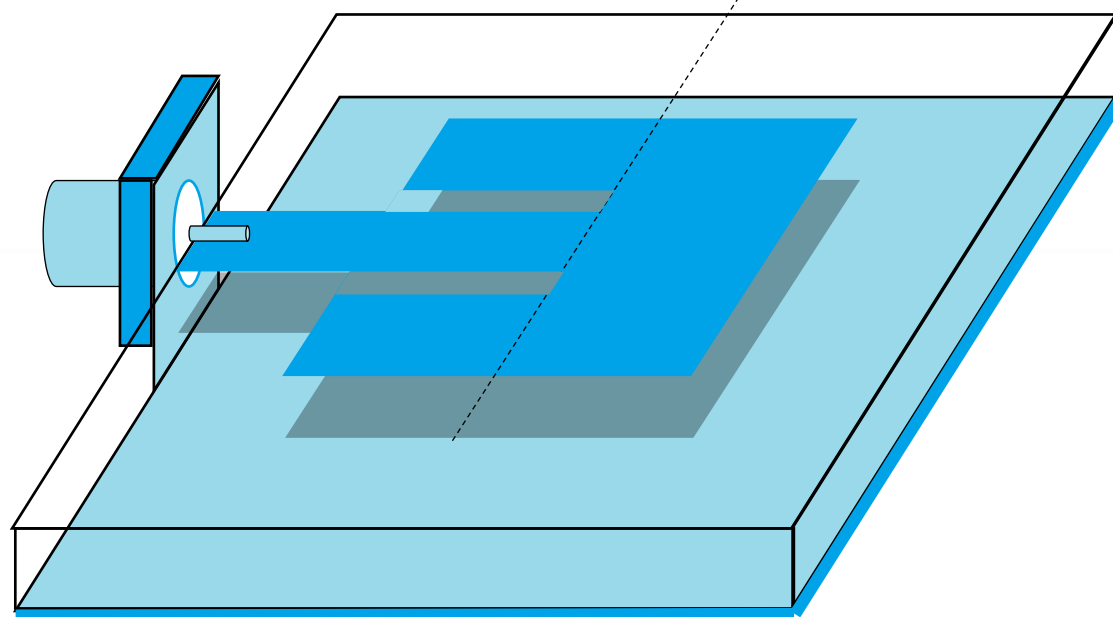
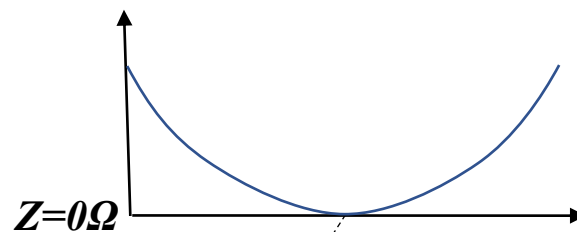
Fomento a Pesquisa PRP do
 IFSP via Edital nº. 823/2018



Metodologia de Projeto de Antena Patch Acessível

Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org



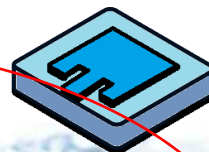


Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
 Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
 Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
 e a luta contra o Câncer
 Cerebral Infantil

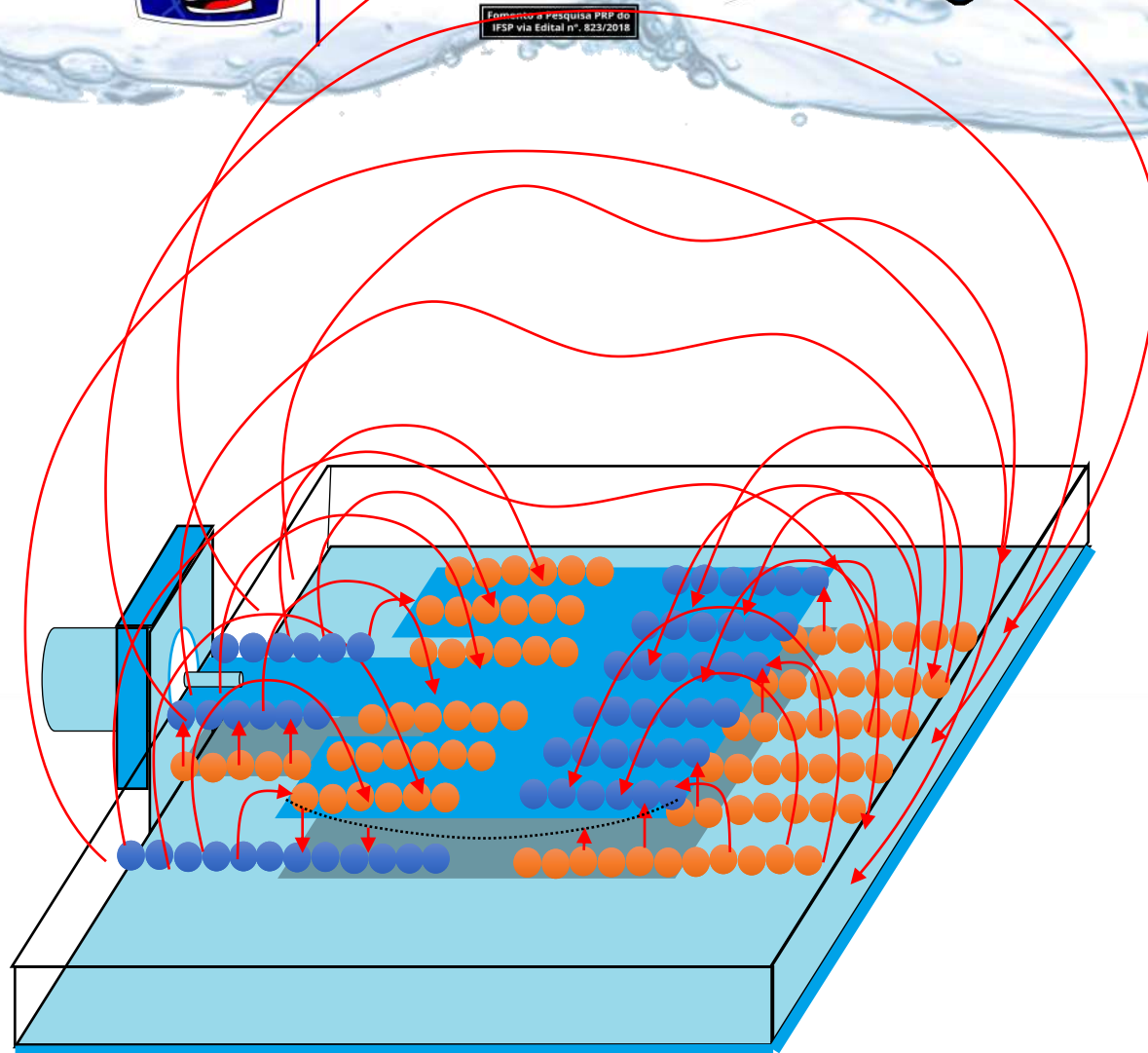
Financiada pela Pesquisa PRP do
 IFSP via Edital nº. 823/2018



Metodologia de Projeto de Antena Patch Acessível

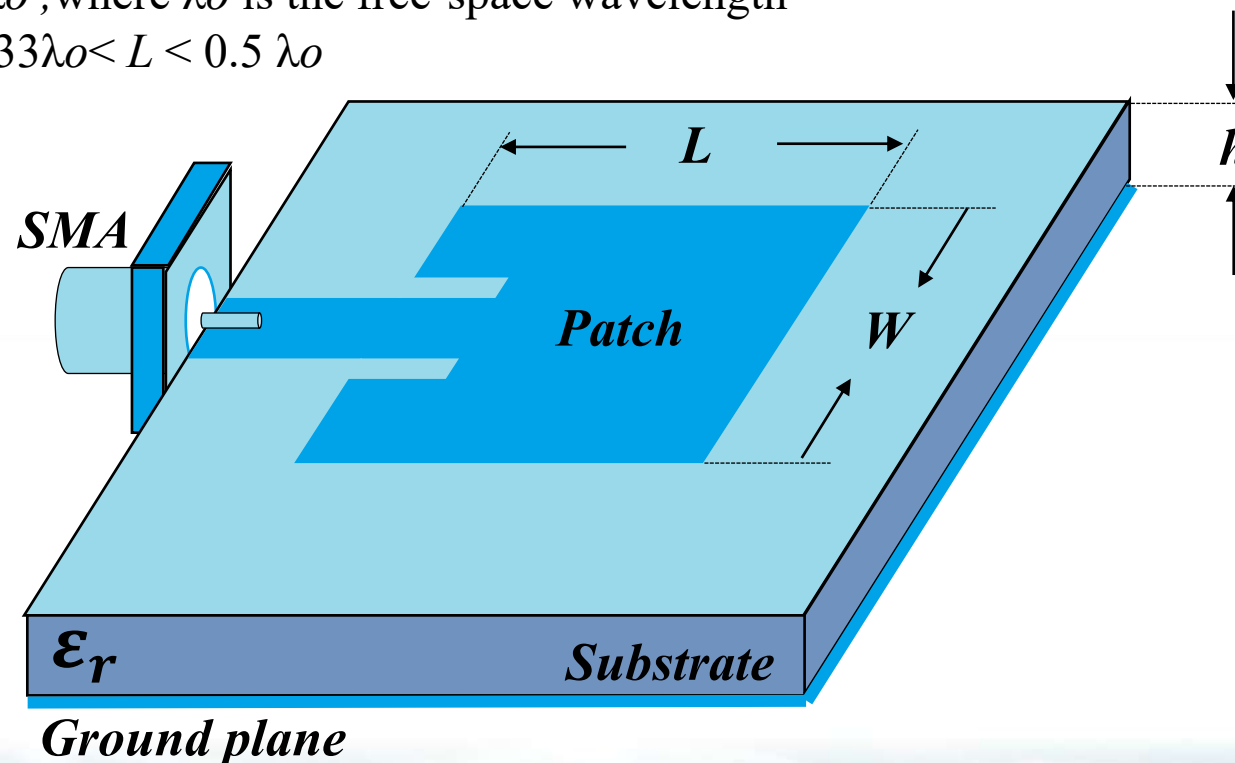
Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org





- Dielectric constant (ϵ_r) = $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$.
- Frequency (f_r) = 2.4 to 2.50 GHz
- Height (h) = $1.6 \times 10^{-3} \text{m} \leq h \leq 0.05 \lambda_0$
- Velocity of light (c) = $3 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$.
- Practical width (W) = $W < \lambda_0$, where λ_0 is the free-space wavelength
- Practical Length (L) = $0.3333\lambda_0 < L < 0.5 \lambda_0$



Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.

www.LabMax.org

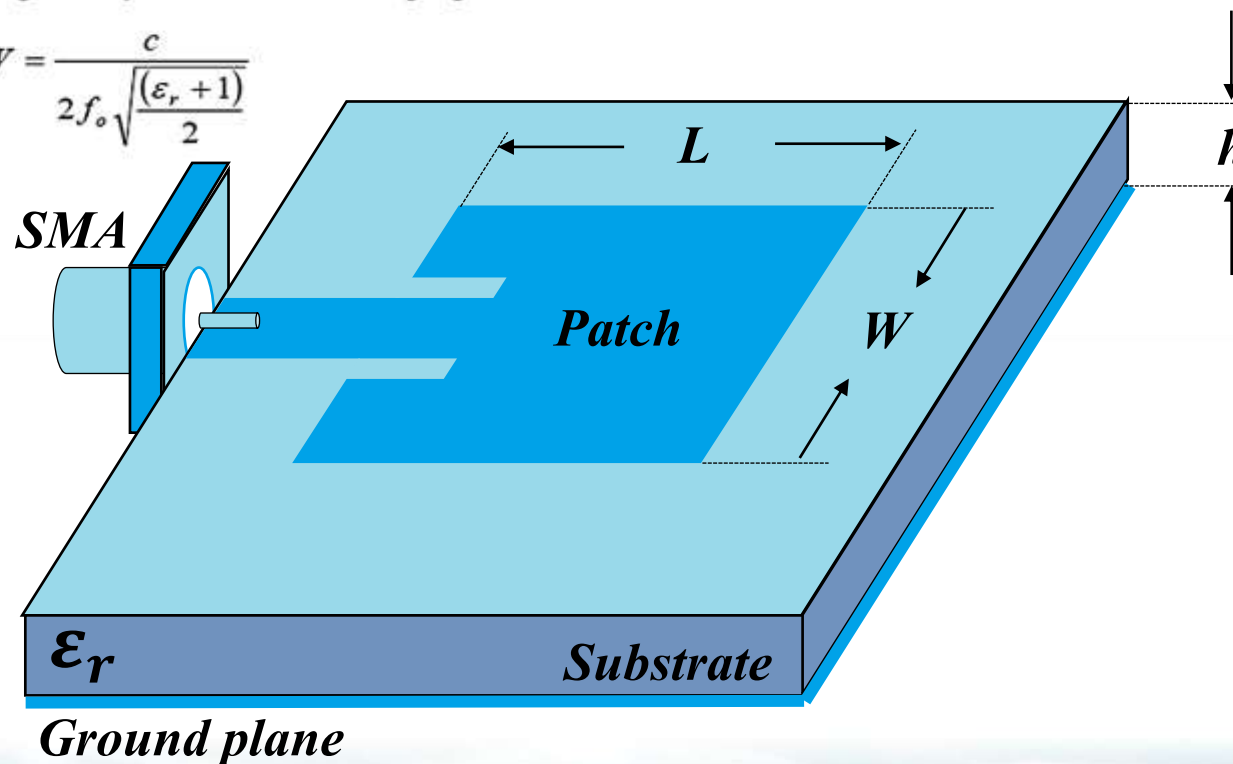


$$f_o = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} \left[\left(\frac{m}{L} \right)^2 + \left(\frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Where m and n are modes along L and W respectively.

For efficient radiation, the width W is given by Bahl and Bhartia [15] as:

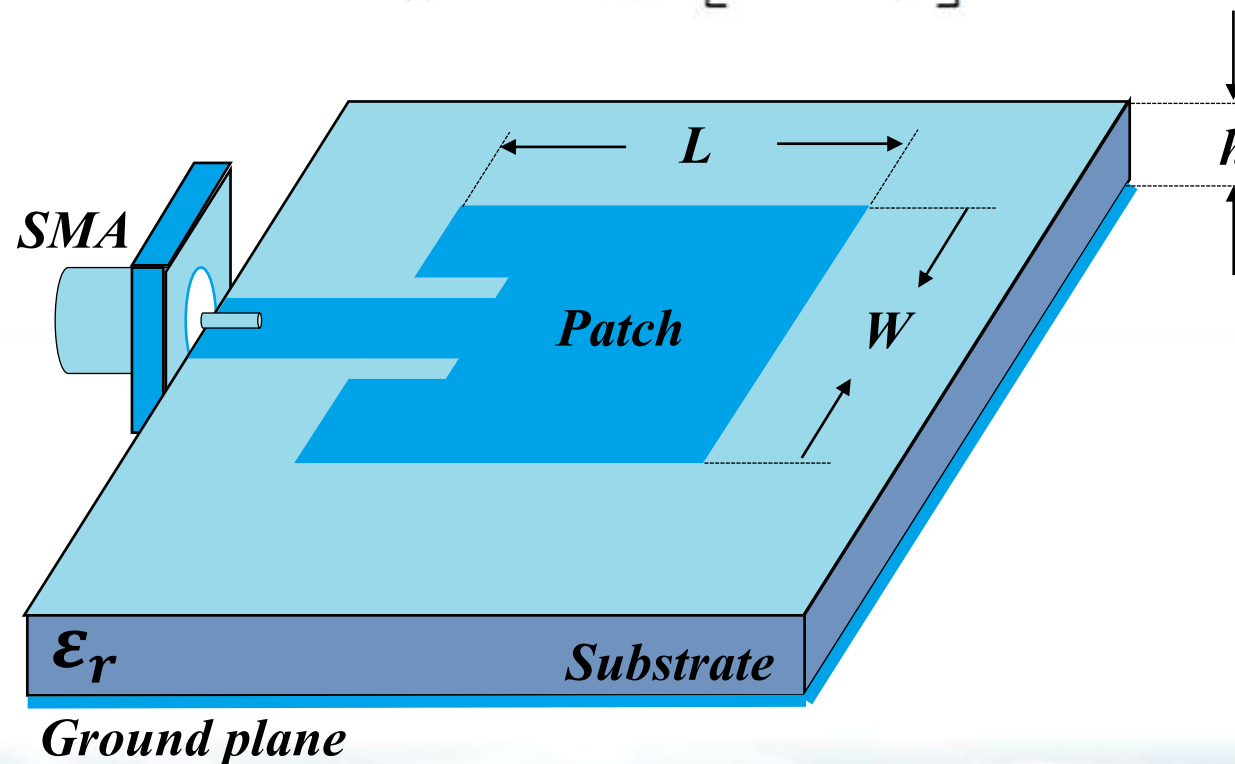
$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$



Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition, by Constantine A. Balanis
 ISBN 0-471-66782-X Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Inc.



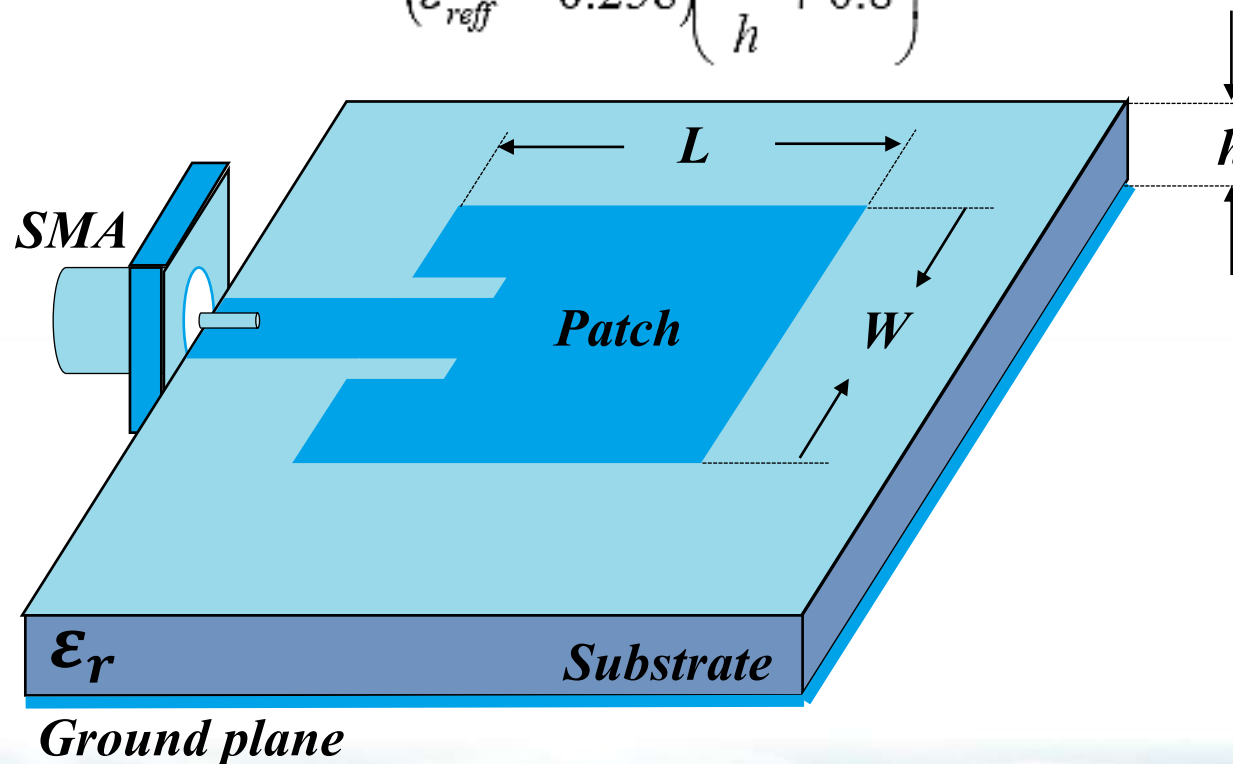
$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}}$$





www.LabMax.org

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$



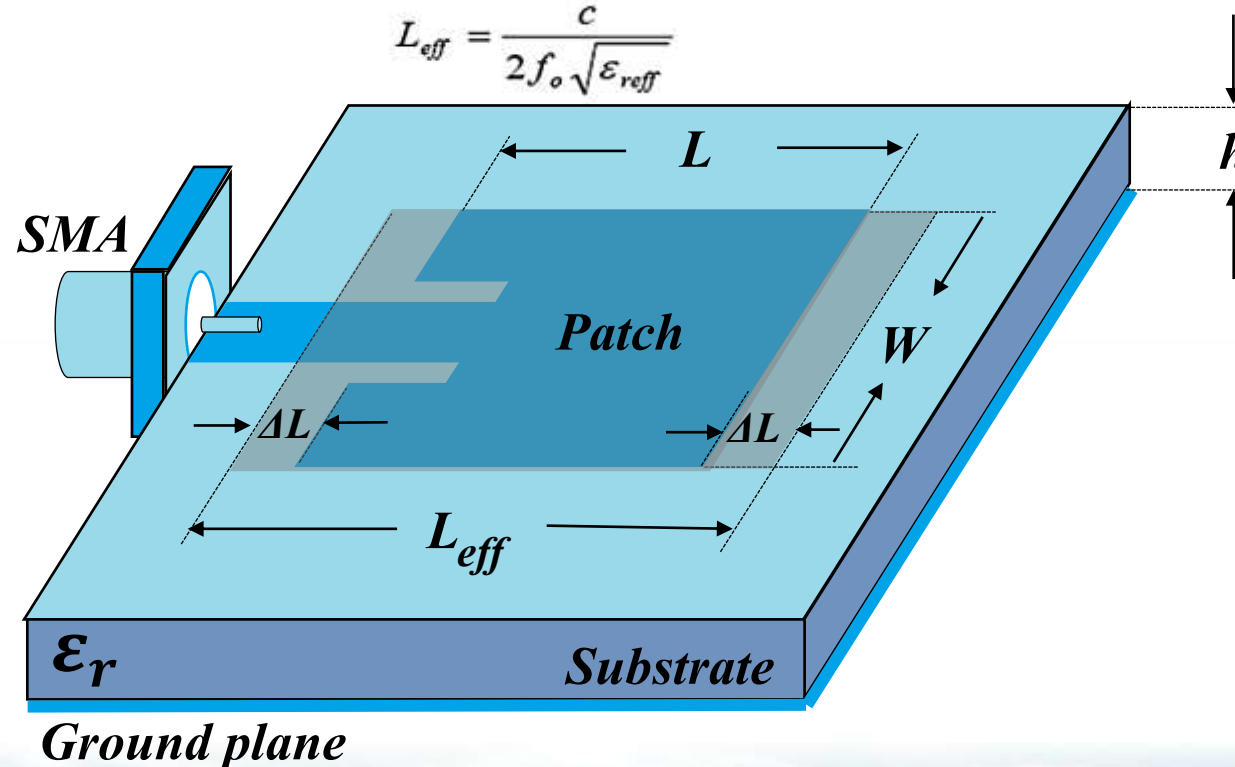


The effective length of the patch L_{eff} now becomes:

$$L_{eff} = L + 2\Delta L$$

For a given resonance frequency f_o , the effective length is given by [9] as:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$





Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
e a luta contra o Câncer
Cerebral Infantil

Fomento a Pesquisa PRP do
IFSP via Edital nº. 823/2018



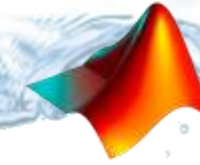
**Metodologia de Projeto de
Antena Patch Acessível**
Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org

Projeto Assistido Pelo Computador Parte I

Métodos numéricos com MatLab ou Scilab para obtenção dos parâmetros de projeto, ganho e diagrama de radiação calculados.

Dr. Alexandre Maniçoba de Oliveira



No MatLab será possível desenvolver um programa capaz de inquerir do usuário os principais parâmetros de projeto da Antena Patch, sendo eles:

- Frequência central em GHz;
- Constante Dielétrica do Substrato;
- Espessura do Substrato em mm;
- Impedância Característica da Linha (Z_0) em Ω ;



Após o processamento, o programa em MatLab retornará os parâmetros de construção da AP, sendo eles:

- Largura da Microlinha de Transmissão em Fita (Wfeed) em mm;
- Largura do Patch (W) em mm;
- Comprimento Efetivo do Patch (Leff) em mm;
- Comprimento do Patch (L) em mm;
- Largura angular dos planos Elétrico e Magnético em graus;
- Diretividade Absoluta da Antena;
- Diretividade da Antena em dB;

```

Command Window
LabMax - Patch Antenna ToolBox
V. 1.00

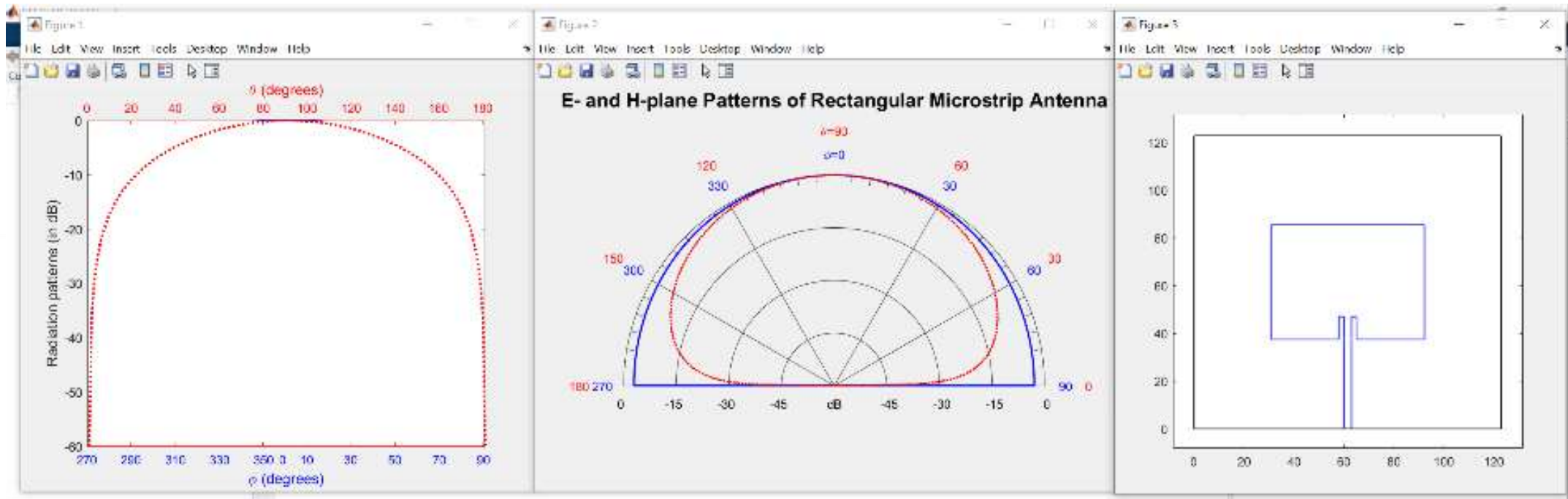
Enter the Frequency (GHz) = 1.5
Enter the Dielectric Constant of Substrate = 4.3
Enter the Height of the Substrate (mm) = 1.6
Input the desired input impedance Zin (ohms) = 50
INPUT PARAMETERS
-----
Resonant frequency = 1.50 GHz
Dielectric constant of the substrate = 4.30
Height of the substrate = 1.60 mm
Desired resonant input impedance = 50.00 ohms

OUTPUT PARAMETERS
-----
Microstrip line feed width (Wfeed) = 3.13 mm
Physical width (W) of patch = 61.43 mm
Effective length (Leff) of patch = 49.45 mm
Physical length (L) of patch = 47.96 mm
48.0 mm E-PLANE HPBW = 180.00 degrees
H-PLANE HPBW = 80.00 degrees
Antenna ABS directivity = 4.02
Antenna directivity = 6.04 dB

fx >>
  
```



Adicionalmente o programa em MatLab irá plotar dois gráficos importantes, o diagrama de radiação e os diagramas dos padrões de espalhamento dos planos elétrico e magnético, como ilustra a figura, assim como o desenho, em escala, da Antena Patch:





Segue o código do programa em MatLab:

Disponível em: https://labmax.org/index.php/matlab_engenharia/

```

*****
% Patch Antenna Calculator - PAC v1.00
% Written by : Dr. Alexandre Manicoba De Oliveira &
%           Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto,
%           LabMax, IFSP - Brazil
% Based in Program MICROSTRIP.m
%           by : Sung-Woo Lee , Arizona State University
%           : Zhiyong Huang, Arizona State University
% Jun. 06, 2023
*****
  
```

```

function []=MICROSTRIP9
clear all;
warning off;
option=1;
filename=[];
addpath(pwd);
rmpath(pwd);
patchm=1;
    rect(option,filename);
warning on;

%%%%%%%%%%%%%%
function rect=rect(option_a,filename)
%%%%%%%%%%%%%%

% Input Parameters (freq, epsr, height, Yo)
freq=[];
while isempty(freq)
  
```

```

clc;
    disp(strvcat('LabMax - Patch Antenna ToolBox','V. 1.00',' '));
    freq=input('Enter the Frequency (GHz) = ');
    %freq=1.5;
end

er=[];
while isempty(er)
    er=input('Enter the Dielectric Constant of Substrate = ');
    %er=4.3;
end

h=[];
while isempty(h)
    h=input('Enter the Height of the Substrate (mm) = ');
    %h=1.6;
    h=h/10;
end
option1=2;
if option1==1
    Yo=[];
    while isempty(Yo)
        Yo=input(['input the position of the recessed feed point ' ...
            'relative to the leading radiating edge (mm) = ']);
        Yo=Yo/10;
    end
else
  
```



www.LabMax.org

Segue o código do programa em MatLab:

Disponível em: https://labmax.org/index.php/matlab_engenharia/

```
Zin=[];
while isempty(Zin)
    Zin=input(['Input the desired input impedance Zin (ohms) = ']);
    %Zin=50;
end
end

% Compute W, ereff, Leff, L (in cm)
W=30.0/(2.0*freq)*sqrt(2.0/(er+1.0));
ereff=(er+1.0)/2.0+(er-1)/(2.0*sqrt(1.0+12.0*h/W));
dl=0.412*h*((ereff+0.3)*(W/h+0.264))/((ereff-0.258)*(W/h+0.8));
lambda_o=30.0/freq;
lambda=30.0/(freq*sqrt(ereff));
Leff=30.0/(2.0*freq*sqrt(ereff));
L=Leff-2.0*dl;
ko=2.0*pi/lambda_o;
Emax=sincc(h*ko/2.0/pi);

%Compute Wfeed of Microstrip Line for Zin impedance
Wfeed=((7.48*h*10)/(exp(Zin*(sqrt(er+1.141)/87))))-1.25*20e-6;

% Normalized radiated field
% E-plane pattern : 0 < phi < 90 ; 270 < phi < 360
% H-plane pattern : 0 < th < 180
phi=0:360; phir=phi.*pi./180; [~,Eth]=E_th(phir,h,ko,Leff,Emax);
th=0:180; thr=th.*pi./180.0;
[~,Eph1]=E_ph(thr,h,ko,W,Emax);
Eph(1:91)=Eph1(91:181); Eph(91:270)=Eph1(181); Eph(271:361)=Eph1(1:91);
```

```
Eph(271:361)=Eph1(1:91);
Epl=[phi;Eth];
Hpl=[[0:90 270:360];[Eph(1:91) Eph(271:361)]];

% Plots of Radiation Patterns
% Figure 1
% *****
Etheta=[Eth(271:361),Eth(2:91)];
xs=[0 20 40 60 80 90 100 120 140 160 180];
xsl=[270 290 310 330 350 0 10 30 50 70 90];
hli1=plot(Etheta,'b-');
set(gca,'Xtick',xs);
set(gca,'Xticklabel',xsl);
set(gca,'position',[0.13 0.11 0.775 0.8]);
h1=gca; h2=copyobj(h1,gcf);
xlim([0 180]);ylim([-60 0]);
set(h1,'xcolor',[0 0 1]); hx=xlabel('\phi (degrees)','fontsize',12);
axes(h2); hli2=plot(Eph1,'r:'); axis([0 180 -60 0]);
set(h2,'xaxislocation','top','xcolor',[1 0 0]);
xlabel('\theta (degrees)','fontsize',12);

set([hli1 hli2],'linewidth',2);
ylabel('Radiation patterns (in dB)','fontsize',12);

% Figure 2
% *****
figure(2);
hpl=semipolar_micror(phir,Eth,-60,0,4,'-','b'); hold on;
```



www.LabMax.org

Segue o código do programa em MatLab:

Disponível em: https://labmax.org/index.php/matlab_engenharia/

```
hp2=semipolar_micror(phi*pi/180,Eph,-60,0,4,':','r');
title('E- and H-plane Patterns of Rectangular Microstrip
Antenna','fontsize',[16]);
```

```
% E-plane HPBW and H-plane HPBW
% *****
```

```
an=phi(Eth>-3);
an(an>90)=[];
```

```
EHPBW=2*abs(max(an));
HHPBW=2*abs(90-min(th(Eph1>-3)));
```

```
% Directivity
[D,DdB]=dir_rect(W,h,Leff,L,ko);
```

```
% Input Impedance at Y=0 and Y=Yo
```

```
[G1,G12]=sintegr(W,L,ko);
Rin0P=(2.*(G1+G12))^-1;
Rin0M=(2.*(G1-G12))^-1;
```

```
if option1==1
    RinYoP=Rin0P*cos(pi*Yo/L)^2;
    RinYoM=Rin0M*cos(pi*Yo/L)^2;
else
    YP=acos(sqrt(Zin/Rin0P))*L/pi;
    YM=acos(sqrt(Zin/Rin0M))*L/pi;
end
```

```
% Display (rectangular)
```

```
if(option_a==2)
    diary(filename);
end
disp(strvcat('INPUT
PARAMETERS','=====
====='));
fprintf('Resonant frequency = %4.2f GHz\n',freq);
fprintf('Dielectric constant of the substrate = %4.2f\n',er);
fprintf('Height of the substrate = %4.2f mm\n',(h*10));
if option1==1
    fprintf('Position of the recessed feed point = %4.2f mm\n',Yo*10);
else
    fprintf('Desired resonant input impedance = %4.2f ohms\n\n', Zin);
end
disp(strvcat('OUTPUT
PARAMETERS','=====
====='));
fprintf('Microstrip line feed width (Wfeed) =
%4.2f mm\n',(Wfeed));
fprintf('Physical width (W) of patch = %4.2f
mm\n',(W*10),(W*10));
fprintf('+-----+ Effective length (Leff) of patch = %4.2f
mm\n',(Leff*10));
fprintf('| Physical length (L) of patch = %4.2f
mm\n',(L*10));
fprintf('| %3.1f mm E-PLANE HPBW = %4.2f degrees\n',
(L*10),EHPBW);
fprintf('| H-PLANE HPBW = %4.2f degrees\n',HHPBW);
```



www.LabMax.org

Segue o código do programa em MatLab:

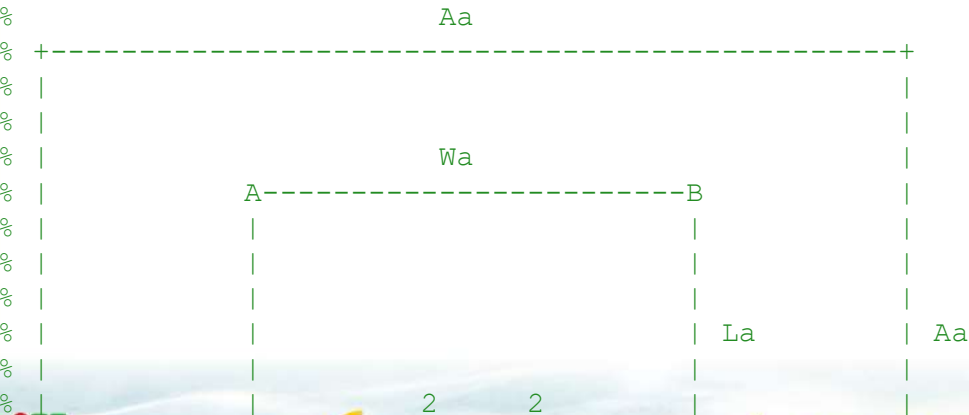
Disponível em: https://labmax.org/index.php/matlab_engenharia/

```
fprintf('+++++ +----+ Antenna ABS directivity = %4.2f\n', D);
fprintf(' | | Antenna directivity = %4.2f dB\n', DdB);
fprintf(' | | \n');
fprintf(' +++ \n');
fprintf(' %3.1f mm\n', Wfeed);
```

% Figure 3 - Design of Patch Antenna
 % *****

figure(3);

```
Wa=W*10; %Patch width in mm
Waf=Wfeed; %Microstrip line width in mm
La=L*10; %Patch length in mm
Aa=Wa*2; %Substrate width and length in mm
Laf=L*2; %Slot feed length in mm
%Slet feed width is 2 mm
```



```
% | | J-M N-L |
% | | | | Laf |
% | D-----I-F---G-K-----C |
% | | | |
% | | | |
% | |Waf| |
% +-----E---H-----+
%Xa(0)=Aa/2; Ya(0)=Wa; <-- coord. to center
Xa(1)=Wa/2; Ya(1)=(Aa-La)/2+La; %point A
Xa(2)=Wa/2+Wa; Ya(2)=Ya(1); %point B
Xa(3)=Xa(2); Ya(3)=(Aa-La)/2; %point C
Xa(4)=Xa(1); Ya(4)=Ya(3); %point D
Xa(5)=Wa-(Waf/2); Ya(5)=0; %point E
Xa(6)=Xa(5); Ya(6)=(Aa-La)/2; %point F
Xa(7)=Wa+(Waf/2); Ya(7)=Ya(6); %point G
Xa(8)=Xa(7); Ya(8)=0; %point H
Xa(9)=Wa-(Waf/2)-2; Ya(9)=Ya(6); %point I
Xa(10)=Xa(9); Ya(10)=(Aa-La)/2+Laf; %point J
Xa(11)=Wa+(Waf/2)+2; Ya(11)=Ya(6); %point K
Xa(12)=Xa(11); Ya(12)=Ya(10); %point L
Xa(13)=Xa(6); Ya(13)=Ya(10); %point M
Xa(14)=Xa(7); Ya(14)=Ya(10); %point N
% LS LS
% +-----+ +----+
% | | | |
% | L| 2 |L
% | E| 3 |D
% L | 1 | L | |
% E | D +-----+
```




www.LabMax.org

Segue o código do programa em MatLab:

Disponível em: https://labmax.org/index.php/matlab_engenharia/

```
plot([Xa(6) Xa(5)], [Ya(6) Ya(5)], 'Color','b', 'LineWidth',1)
hold on
% LD
plot([Xa(7) Xa(8)], [Ya(7) Ya(8)], 'Color','b', 'LineWidth',1)
hold on
% LI
plot([Xa(5) Xa(5)], [Ya(8) Ya(8)], 'Color','b', 'LineWidth',1)
hold on

%Clear feed lines
% a
dd=0.01;
plot([Xa(9)+dd Xa(6)-dd], [Ya(9) Ya(6)], 'Color','w', 'LineWidth',1)
hold on
% b
plot([Xa(6)+dd Xa(7)-dd], [Ya(6) Ya(7)], 'Color','w', 'LineWidth',1)
hold on
% c
plot([Xa(7)+dd Xa(11)-dd], [Ya(7) Ya(11)], 'Color','w', 'LineWidth',1)
hold on

%Substrate
plot([0 Aa], [0 0], 'Color','k', 'LineWidth',1)
hold on
plot([0 Aa], [Aa Aa], 'Color','k', 'LineWidth',1)
hold on
plot([0 0], [0 Aa], 'Color','k', 'LineWidth',1)
hold on
plot([Aa Aa], [0 Aa], 'Color','k', 'LineWidth',1)
```

```
hold on
diary off;

% Subfunctions
% *****
function y = sinc(x)
% normalized sinc function, sin(pi*x)/(pi*x), no checks on the input
y = sin(pi*x) ./ (pi*x);
y(x==0) = 1;

function [Ethval,Eth]=E_th(phir,h,ko,Leff,Emax)
ARG=cos(phir).*h.*ko./2;
Ethval=(sinc(ARG./pi).*cos(sin(phir).*ko*Leff./2))./Emax;
Eth=20*log10(abs(Ethval));
Eth(phir>pi/2&phir<3*pi/2)=-60;
Eth(Eth<=-60)=-60;

function [Ephval,Eph1]=E_ph(thr,h,ko,W,Emax)
ARG1=sin(thr).*h.*ko./2;
ARG2=cos(thr).*W.*ko./2;
Ephval=sin(thr).*sinc(ARG1./pi).*sinc(ARG2./pi)./Emax;
Eph1=20.*log10(abs(Ephval));
Eph1(Eph1<=-60)=-60;

function [D,DdB]=dir_rect(W,h,Leff,~,ko)
th=0:180; phi=[0:90 270:360];
[t,p]=meshgrid(th.*pi/180,phi.*pi/180);
```



www.LabMax.org

Segue o código do programa em MatLab:

Disponível em: https://labmax.org/index.php/matlab_engenharia/

```
X=ko*h/2*sin(t).*cos(p);
Z=ko*W/2*cos(t);
Et=sin(t).*sincc(X/pi).*sincc(Z/pi).*cos(ko*Leff/2*sin(t).*sin(p));
U=Et.^2;
dt=(th(2)-th(1))*pi/180;
dp=(phi(2)-phi(1))*pi/180;
Prad=sum(sum(U.*sin(t)))*dt*dp;
D=4.*pi.*max(max(U))./Prad;
DdB=10.*log10(D);
```

```
function [G1,G12]=sintegr(W,L,ko)
th=0:1:180; t=th.*pi/180;
ARG=cos(t).(ko*W/2);
res1=sum(sincc(ARG./pi).^2.*sin(t).^2.*sin(t).*((pi/180)*(ko*W/2)^2));
res12=sum(sincc(ARG./pi).^2.*sin(t).^2.*besselj(0,sin(t).(ko*L)).*sin(t).*((pi/180)*(ko*W/2)^2));
G1=res1./(120*pi^2); G12=res12./(120*pi^2);
```

```
%%%%%%%%%
```

```
% Subfunction
```

```
function [D,DdB]=dir_cir(~,ae,ko)
th=0:90; phi=0:360;
[t,p]=meshgrid(th.*pi/180,phi.*pi/180);
x=sin(t).*ko.*ae;
```

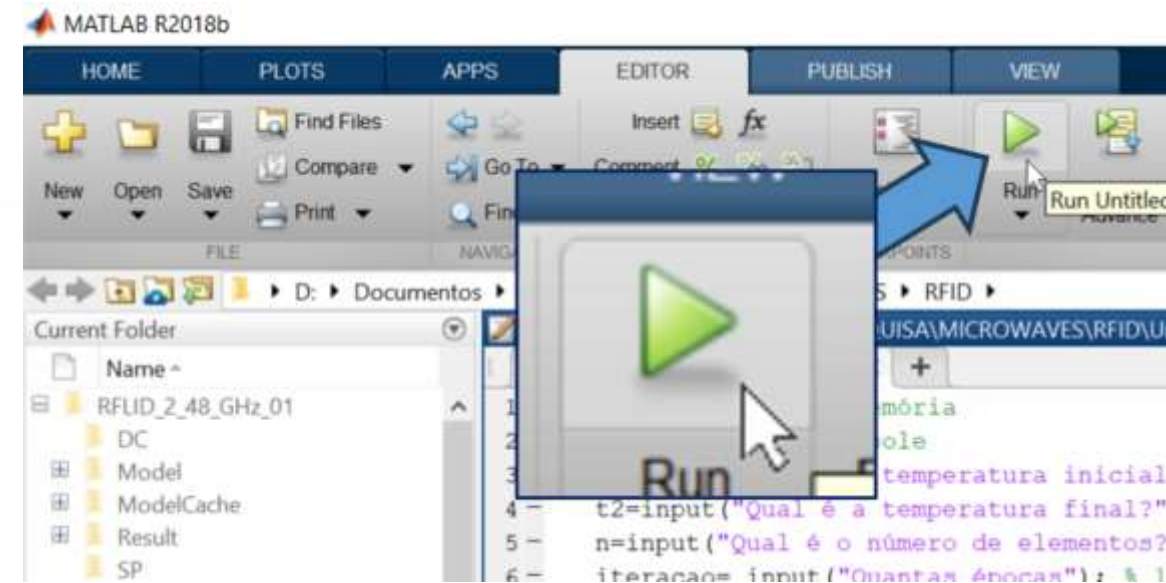
```
J0=besselj(0,x); J2=besselj(2,x);
J02P=J0-J2; J02=J0+J2;
Ucirc=(J02P.*cos(p)).^2 + (J02.*cos(t).*sin(p)).^2;
Umax=max(max(Ucirc));
Ua=Ucirc.*sin(t).(pi./180).^2;
Prad=sum(sum(Ua));
```

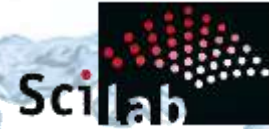
```
D=4.*pi.*Umax./Prad;
DdB=10.*log10(D);
```



Segue o código do programa em MatLab:

Após digitar o código no Editor deve-se clicar no ícone “Salvar e executar”, como na figura, logo depois aparece no console a tela do programa solicitando os parâmetros de projeto, sendo eles: **Frequência, Constante Dielétrica, Espessura do Substrato e Impedância da Linha**. Como saída, o programa apresenta os parâmetros da AP, tais como: Largura da microlinha, Largura do Patch, Comprimento Efetivo do Patch, Comprimento Físico do Patch, Abertura Angular dos Planos Elétrico e Magnético, Diretividade Absoluta e em dB.





No Scilab será possível desenvolver um programa capaz de inquerir do usuário os principais parâmetros de projeto da Antena Patch, sendo eles:

- Frequência central em GHz;
- Constante Dielétrica do Substrato;
- Espessura do Substrato em mm;
- Impedância Característica da Linha (Z_0) em Ω ;

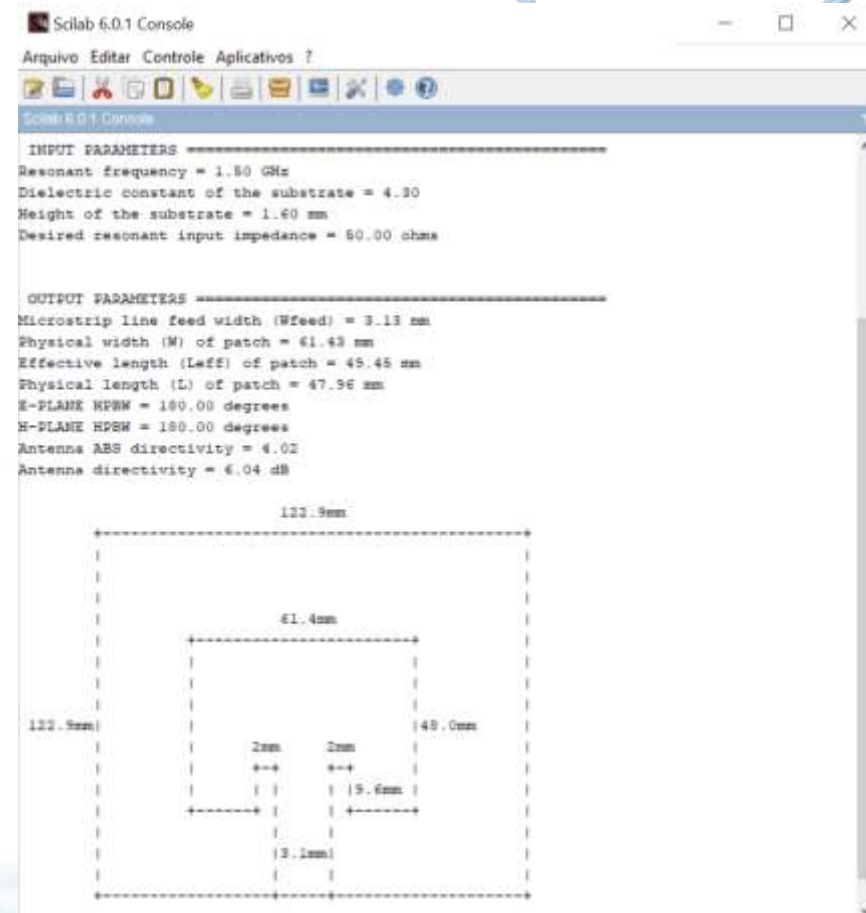
O Scilab é uma plataforma de projeto livre e pode ser adquirido gratuitamente no link: <https://www.scilab.org/download>



Após o processamento, o programa em Scilab retornará os parâmetros de

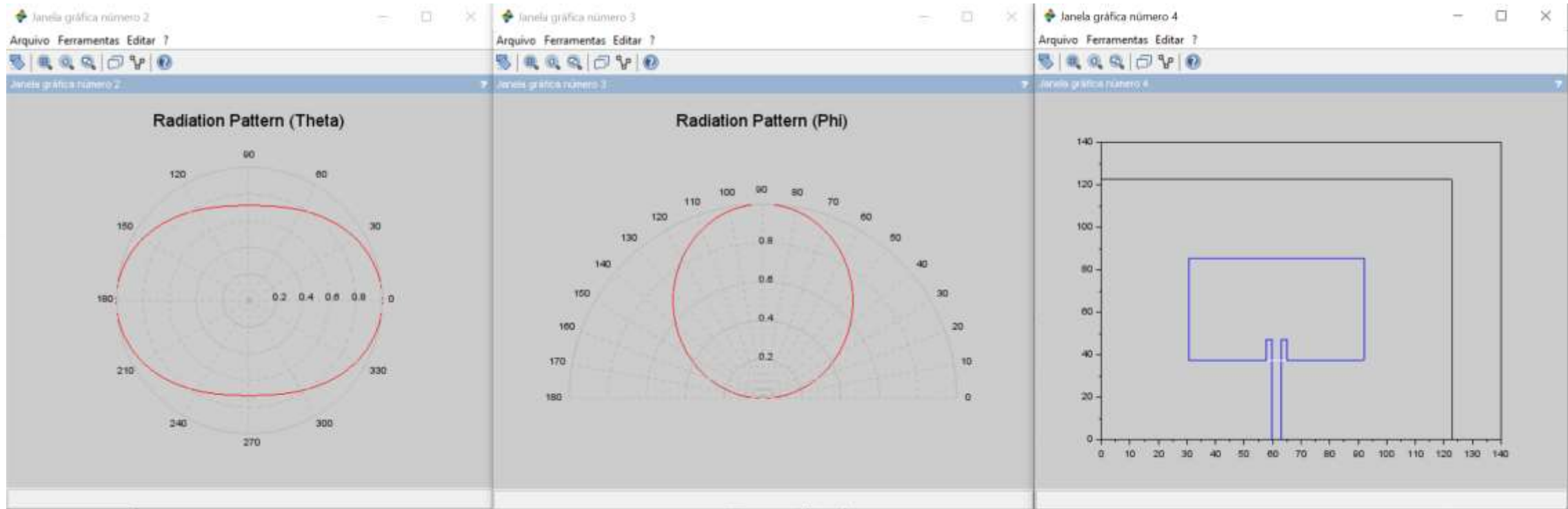
construção da AP, sendo eles:

- Largura da Microlinha de Transmissão em Fita (Wfeed) em mm;
- Largura do Patch (W) em mm;
- Comprimento Efetivo do Patch (Leff) em mm;
- Comprimento do Patch (L) em mm;
- Largura angular dos planos Elétrico e Magnético em graus;
- Diretividade Absoluta da Antena;
- Diretividade da Antena em dB;
- Todas as medidas de Projeto da Antena.





Adicionalmente o programa em MatLab irá plotar dois gráficos importantes, o diagrama de radiação nos planos Theta e Phi, como ilustra a figura, assim como o desenho, em escala, da Antena Patch:





Fomento a Pesquisa PRP do
 IFSP via Edital n.º 823/2018



Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

Segue o código do programa em SciLab:
 Disponível em: https://labmax.org/index.php/scilab_engenharia/



```

1 //*****
2 //----- Patch Antenna Calculator - PAC v2.00 -----*
3 //----- Written by : Dr. Alexandre Manicoba De Oliveira & -----*
4 //----- LabMax, IFSP - Brazil -----*
5 //----- Based in Matlab Program Matlab of the Sung-Woo Lee & -----*
6 //----- Zhiyong Huang, Arizona State University -----*
7 //----- Aug. 19, 2023 -----*
8 //*****
9
10 // Subfunctions
11 // *****
12
13 function y = sincc(x)
14 // normalized sinc function, sin(pi*x)/(pi*x), no checks on the input
15 y = sin(pi*x)/(pi*x);
16 y(x==0) = 1;
17 endfunction
18
19 function [Ethval, Eth] = E_th(phir, h, ko, Leff, Emax)
20 ARG=cos(phir) .* h .* ko ./ 2;
21 Ethval=(sincc(ARG./pi) .* cos(sin(phir) .* ko*Leff./2)) ./ Emax;
22 Eth=20*log10(abs(Ethval));
23 Eth(phir>pi/2&phir<3*pi/2)=-60;
24 Eth(Eth<=-60)=-60;
25 endfunction
26
27 function [Ephval, Ephl] = E_ph(thr, h, ko, W, Emax)
28 ARG1=sin(thr) .* h .* ko ./ 2;
29 ARG2=cos(thr) .* W .* ko ./ 2;
30 Ephval=sin(thr) .* sincc(ARG1./pi) .* sincc(ARG2./pi) ./ Emax;
31 Ephl=20.0*log10(abs(Ephval));
32 Ephl(Ephl<=-60)=-60;
33 endfunction
  
```

```

34 //function [D, DdB]=dir_rect(W, h, Leff, ~, ko)
35
36 function [D, DdB]=dir_rect(W, h, Leff, ko)
37 th=0:180; phi=[0:90 270:360];
38 [t, p]=meshgrid(th.*pi/180, phi.*pi/180);
39 X=ko*h/2*sin(t) .* cos(p);
40 Z=ko*W/2*cos(t);
41 Et=sin(t) .* sincc(X/pi) .* sincc(Z/pi) .* cos(ko*Leff/2*sin(t) .* sin(p));
42 U=Et.^2;
43 dt=(th(2)-th(1))*pi/180;
44 dp=(phi(2)-phi(1))*pi/180;
45 Prad=sum(sum(U .* sin(t))) * dt * dp;
46 D=1 .* pi .* max(max(U)) ./ Prad;
47 DdB=10 .* log10(D);
48 endfunction
49
50 function [G1, G12]=sintegr(W, L, ko)
51 th=0:1:180; t=th.*pi/180;
52 ARG=cos(t) .* (ko*W/2);
53 res1=sum(sincc(ARG./pi).^2 .* sin(t).^2 .* sin(t) .* ((pi/180) .* (ko*W/2).^2));
54 res2=sum(sincc(ARG./pi).^2 .* sin(t).^2 .* besseli(0, sin(t) .* (ko*L)) .* sin(t) .* ((pi/180) .* (ko*W/2).^2));
55 G1=res1 ./ (120*pi^2); G12=res2 ./ (120*pi^2);
56 endfunction
57
58 //*****
59 // Subfunction
60 //function [D, DdB]=dir_cir(~, ae, ko)
61 function [D, DdB]=dir_cir(ae, ko)
62 th=0:90; phi=0:360;
63 [t, p]=meshgrid(th.*pi/180, phi.*pi/180);
64 x=sin(t) .* ko .* ae;
65 J0=besseli(0, x); J2=besseli(2, x);
66 J02P=J0-J2; J02=J0+J2;
  
```



Segue o código do programa em SciLab:
 Disponível em: https://labmax.org/index.php/scilab_engenharia/

```

131 ko=2.0*pi/lambda_o;
132 Emax=sinc(h*ko/2.0/pi);
133
134 //Compute Wfeed of Microstrip Line for Zin impedance
135 Wfeed=((7.48*h*10)/(exp(Zin*(sqrt(er+1.141)/87))))-1.25*20e-6;
136
137 // Normalized radiated field
138 //----- E-plane pattern : 0 < phi < 90 ----- ; --- 270 < phi < 360
139 //----- H-plane pattern : 0 < th < 180
140 phi=0:360; phir=phi.*pi./180; Eth=E_th(phir,h,ko,Leff,Emax);
141 th=0:180; thr=th.*pi/180.0;
142 Eph1=E_ph(thr,h,ko,W,Emax);
143 Eph(1:91)=Eph1(91:181); Eph(91:270)=Eph1(181); Eph(271:361)=Eph1(1:91);
144
145 // Figure 2
146 // *****
147 figure(2);
148 polarplot(((phi)*pi/180),Eth,style=5);
149 title('Radiation Pattern (Theta)', 'fontsize', [4]);
150
151 figure(3);
152 polarplot(((phi+90)*pi/180),Eph,style=5);
153 title('Radiation Pattern (Phi)', 'fontsize', [4]);
154
155 // E-plane HFBW and H-plane HFBW
156 // *****
157 an=phi(Eth>-3);
158 an(an>90)=[];
159
160 EHPBW=2*abs(max(an));
161 HHPBW=2*abs(90-min(th(Eph1>-3)));
162

```

```

163 // Directivity
164 [D,DdB]=dir_rect(W,h,Leff,ko);
165
166 // Input Impedance at Y=0 and Y=Yo
167 [G1,G12]=aintegr(W,L,ko);
168 RinOP=(2.*(G1+G12))^-1;
169 RinOM=(2.*(G1-G12))^-1;
170 if option1==1
171     RinYoP=RinOP*cos(pi*Yo/L)^2;
172     RinYoM=RinOM*cos(pi*Yo/L)^2;
173 else
174     YP=acos(sqrt(Zin/RinOP))*L/pi;
175     YM=acos(sqrt(Zin/RinOM))*L/pi;
176 end
177
178 // Display (rectangular)
179 option1=2;
180 //if(option_a==2)
181 // --diary(filename);
182 //end
183 disp('INPUT PARAMETERS =====');
184 mprintf('Resonant frequency = %4.2f GHz\n',freq);
185 mprintf('Dielectric constant of the substrate = %4.2f\n',er);
186 mprintf('Height of the substrate = %4.2f mm\n',(h*10));
187 if option1==1
188     mprintf('Position of the recessed feed point = %4.2f mm\n',Yo*10);
189 else
190     mprintf('Desired resonant input impedance = %4.2f ohms\n\n',Zin);
191 end
192 disp('OUTPUT PARAMETERS =====');
193
194 Wa=W*10; //Patch width in mm
195 Waf=Wfeed; //Microstrip line width in mm

```




Fomento a Pesquisa PRP do IFSP via Edital n.º 823/2018



Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

Segue o código do programa em SciLab:

Disponível em: https://labmax.org/index.php/scilab_engenharia/



```

196 La=L*10; //Patch length in mm
197 Aa=Wa*2; //Substrate width and length in mm
198 Laf=L*2; //Slot feed length in mm
199 //Slot feed width is 2 mm
200
201 mprintf('Microstrip line feed width (Wfeed) = %4.2f mm\n', (Wfeed));
202 mprintf('Physical width (W) of patch = %4.2f mm\n', (W*10));
203 mprintf('Effective length (Leff) of patch = %4.2f mm\n', (Leff*10));
204 mprintf('Physical length (L) of patch = %4.2f mm\n', (L*10));
205 mprintf('E-PLANE HPSW = %4.2f degrees\n', EHPBW);
206 mprintf('H-PLANE HPSW = %4.2f degrees\n', HHPBW);
207 mprintf('Antenna ABS directivity = %4.2f\n', D);
208 mprintf('Antenna directivity = %4.2f dB\n', DdB);
209 mprintf('\n');
210 mprintf('----- %3.1fmm ----- \n', Aa);
211 mprintf('-----+----- \n');
212 mprintf('-----|----- \n');
213 mprintf('-----|----- \n');
214 mprintf('-----|----- \n');
215 mprintf('----- %3.1fmm ----- \n', (W*10));
216 mprintf('-----+----- \n');
217 mprintf('-----|----- \n');
218 mprintf('-----|----- \n');
219 mprintf('-----|----- \n');
220 mprintf(' %4.1fmm |-----| %3.1fmm ----- \n', Aa, (L*10));
221 mprintf('----- 2mm ----- 2mm ----- \n');
222 mprintf('-----++----- \n');
223 mprintf('-----|-----|-----| %3.1fmm ----- \n', Laf);
224 mprintf('-----+-----+-----+----- \n');
225 mprintf('-----|-----|-----|----- \n');
226 mprintf('-----| %3.1fmm ----- \n', Wfeed);
227 mprintf('-----+-----+-----+----- \n');
228 mprintf('-----+-----+-----+----- \n');
  
```

```

229 //Figure 3 - Design of Patch Antenna
230 //-----
231 figure(4);
232
233 //----- Aa -----
234 //-----+-----
235 //-----|-----
236 //-----|-----
237 //-----|-----
238 //----- Wa -----
239 //----- A----- B-----
240 //-----|-----|-----|-----|-----
241 //-----|-----|-----|-----|-----
242 //-----|-----|-----|-----|-----
243 //-----|-----|-----|-----|-----
244 //-----|-----|-----|-----|-----
245 //----- 2 ----- 2 -----
246 //----- J-M ----- N-L -----
247 //-----|-----|-----|-----|-----
248 //----- D----- I-F ----- G-H ----- C-----
249 //-----|-----|-----|-----|-----
250 //-----|-----|-----|-----|-----
251 //-----|-----|-----|-----|-----
252 //-----+-----+-----+-----+-----
253
254 //Xa(0)=Aa/2; Ya(0)=Wa; <-- coord. to center
255
256 Xa(1)=Wa/2; Ya(1)=(Aa-La)/2+La; //point A
257 Xa(2)=Wa/2+Wa; Ya(2)=Ya(1); //point B
258 Xa(3)=Xa(2); Ya(3)=(Aa-La)/2; //point C
259 Xa(4)=Xa(1); Ya(4)=Ya(3); //point D
260
261 Xa(5)=Wa-(Waf/2); Ya(5)=0; //point E
  
```



SciLab

Segue o código do programa em SciLab:

Disponível em: https://labmax.org/index.php/scilab_engenharia/

```

262 Xa(6)=Xa(5); Ya(6)=(Aa-La)/2; //point F
263 Xa(7)=Wa+(Waf/2); Ya(7)=Ya(6); //point G
264 Xa(8)=Xa(7); Ya(8)=0; //point H
265
266 Xa(5)=Wa-(Waf/2)-2; Ya(5)=Ya(6); //point I
267 Xa(10)=Xa(5); Ya(10)=(Aa-La)/2+Laf; //point J
268
269 Xa(11)=Wa+(Waf/2)+2; Ya(11)=Ya(6); //point K
270 Xa(12)=Xa(11); Ya(12)=Ya(10); //point L
271
272 Xa(13)=Xa(6); Ya(13)=Ya(10); //point M
273 Xa(14)=Xa(7); Ya(14)=Ya(10); //point N
274
275
276 // ----- LS ----- LS
277 // +-----+ +-----+
278 // |-----| |-----|
279 // |-----| |-----| L 2 L
280 // |-----| |-----| E 3 D
281 // L |-----| L |-----|
282 // E |-----| D +-----+
283 // |-----| |-----| LI
284 // +-----+ +-----+
285 // |-----| |-----|
286 // +-----+ +-----+
287 // LI |-----|
288 // |-----| 4 |-----|
289 // |-----| |-----|
290 // +-----+
291
292 // 1st Rectangle - Patch
293 // LS

```

```

294 plot([Xa(1) Xa(2)], [Ya(1) Ya(2)], 'b', 'LineWidth', 1)
295 // LE
296 plot([Xa(1) Xa(4)], [Ya(1) Ya(4)], 'b', 'LineWidth', 1)
297 // LD
298 plot([Xa(2) Xa(3)], [Ya(2) Ya(3)], 'b', 'LineWidth', 1)
299 // LI
300 plot([Xa(4) Xa(3)], [Ya(4) Ya(3)], 'b', 'LineWidth', 1)
301
302 // 2nd Rectangle - Feed slot
303 // LS
304 plot([Xa(10) Xa(13)], [Ya(10) Ya(13)], 'b', 'LineWidth', 1)
305 // LE
306 plot([Xa(10) Xa(9)], [Ya(10) Ya(9)], 'b', 'LineWidth', 1)
307 // LD
308 plot([Xa(13) Xa(6)], [Ya(13) Ya(6)], 'b', 'LineWidth', 1)
309 // LI
310 plot([Xa(9) Xa(6)], [Ya(9) Ya(6)], 'b', 'LineWidth', 1)
311
312 // 3rd Rectangle - Feed slot
313 // LS
314 plot([Xa(14) Xa(12)], [Ya(14) Ya(12)], 'b', 'LineWidth', 1)
315 // LE
316 plot([Xa(14) Xa(7)], [Ya(14) Ya(7)], 'b', 'LineWidth', 1)
317 // LD
318 plot([Xa(12) Xa(11)], [Ya(12) Ya(11)], 'b', 'LineWidth', 1)
319 // LI
320 plot([Xa(7) Xa(11)], [Ya(7) Ya(11)], 'b', 'LineWidth', 1)
321
322 // 4th Rectangle - Microstrip line
323 // LS
324 plot([Xa(6) Xa(7)], [Ya(6) Ya(7)], 'b', 'LineWidth', 1)
325 //hold on
326 // LE

```



SciLab

www.LabMax.org

Segue o código do programa em SciLab:
 Disponível em: https://labmax.org/index.php/scilab_engenharia/

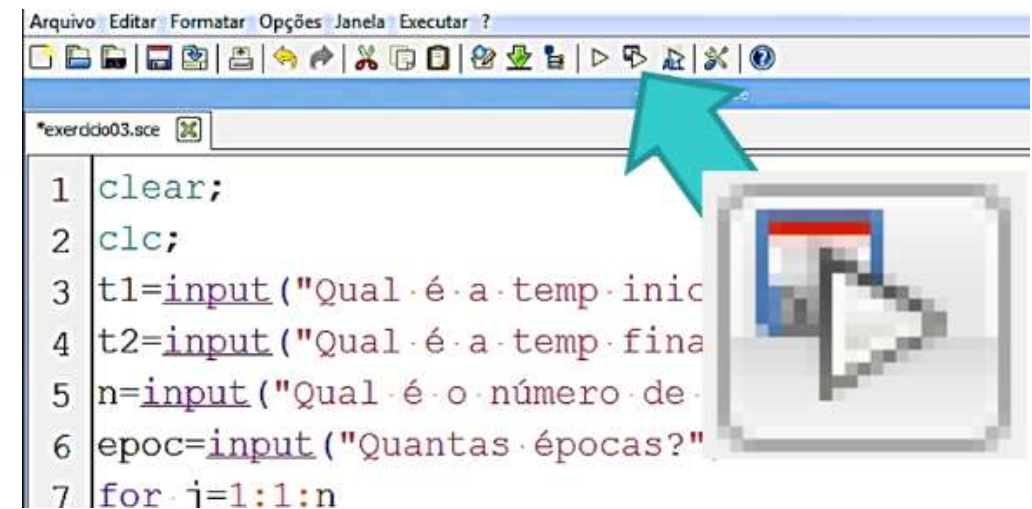
```

327 plot([Xa(6) Xa(5)], [Ya(6) Ya(5)], 'b', 'LineWidth', 1)
328 // LD
329 plot([Xa(7) Xa(8)], [Ya(7) Ya(8)], 'b', 'LineWidth', 1)
330 // LI
331 plot([Xa(5) Xa(5)], [Ya(8) Ya(8)], 'b', 'LineWidth', 1)
332
333 //Clear feed lines
334 // a
335 dd=0.01;
336 plot([Xa(9)+dd Xa(6)-dd], [Ya(9) Ya(6)], 'w', 'LineWidth', 1)
337 // b
338 plot([Xa(6)+dd Xa(7)-dd], [Ya(6) Ya(7)], 'w', 'LineWidth', 1)
339 // c
340 plot([Xa(7)+dd Xa(11)-dd], [Ya(7) Ya(11)], 'w', 'LineWidth', 1)
341
342 //Substrate
343 plot([0 Aa], [0 0], 'k', 'LineWidth', 1)
344 plot([0 Aa], [Aa Aa], 'k', 'LineWidth', 1)
345 plot([0 0], [0 Aa], 'k', 'LineWidth', 1)
346 plot([Aa Aa], [0 Aa], 'k', 'LineWidth', 1)
347 diary off;
348
349
  
```



Segue o código do programa em Scilab:

Após digitar o código no Scinote deve-se clicar no ícone “Salvar e executar”, como na figura, logo depois aparece no console a tela do programa solicitando os parâmetros de projeto, sendo eles: **Frequência**, **Constante Dielétrica**, **Espessura do Substrato** e **Impedância da Linha**. Como saída, o programa apresenta os parâmetros da AP, tais como: **Largura da microlinha**, **Largura do Patch**, **Comprimento Efetivo do Patch**, **Comprimento Físico do Patch**, **Abertura Angular dos Planos Elétrico e Magnético**, **Diretividade Absoluta** e em dB.



```

Arquivo Editar Formatar Opções Janela Executar ?
*exerddo03.sce
1 clear;
2 clc;
3 t1=input("Qual é a temp inic
4 t2=input("Qual é a temp fina
5 n=input("Qual é o número de
6 epoc=input("Quantas épocas?"
7 for i=1:1:n
  
```



Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
Certificado CNPq n° 5.497.663.866.471.659



LittleMax
e a luta contra o Câncer
Cerebral Infantil

Fomento a Pesquisa PRP do
IFSP via Edital n°. 823/2018



**Metodologia de Projeto de
Antena Patch Acessível**
Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org

Projeto Assistido Pelo Computador Parte II

Simulação Eletromagnética 2D+ com QUCSStudio 4 para obtenção do diagrama de perda por retorno e a Carta de Smith.

Dr. Alexandre Maniçoba de Oliveira



Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
e a luta contra o Câncer
Cerebral Infantil

Fomento a Pesquisa PRP do
IFSP via Edital n°. 823/2018



**Metodologia de Projeto de
Antena Patch Acessível**

Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

QucsStudio

a free and powerful circuit simulator

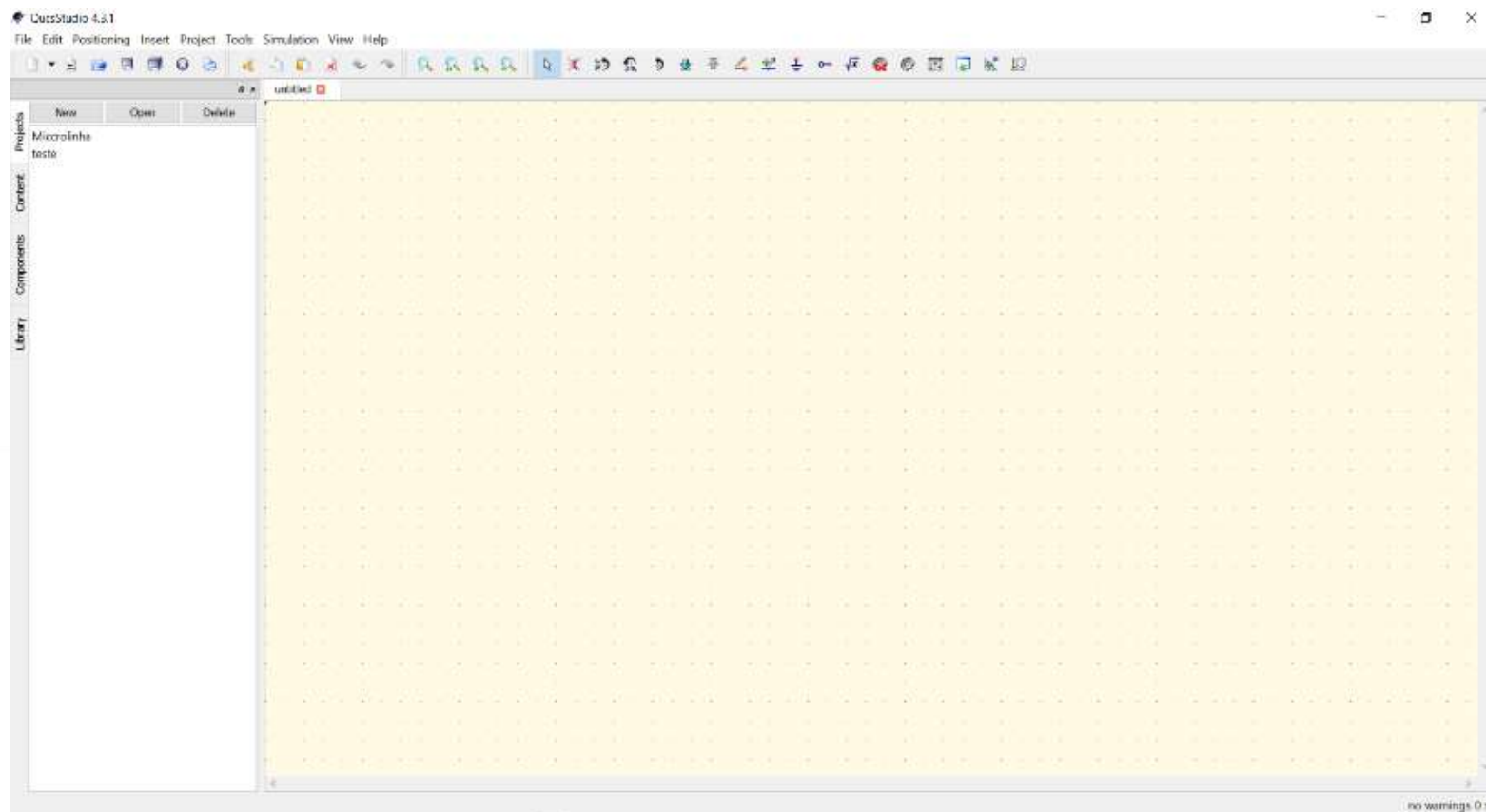
www.LabMax.org

Com base nos parâmetros obtidos com o programa em Matlab, ou no Scilab, será possível utilizar o QucsStudio 4 para projetar o modelo numérico da antena para realizar a simulação eletromagnética 2D+.

O QucsStudio é uma plataforma de projeto livre e pode ser adquirido gratuitamente no link: <http://qucsstudio.de/download/>

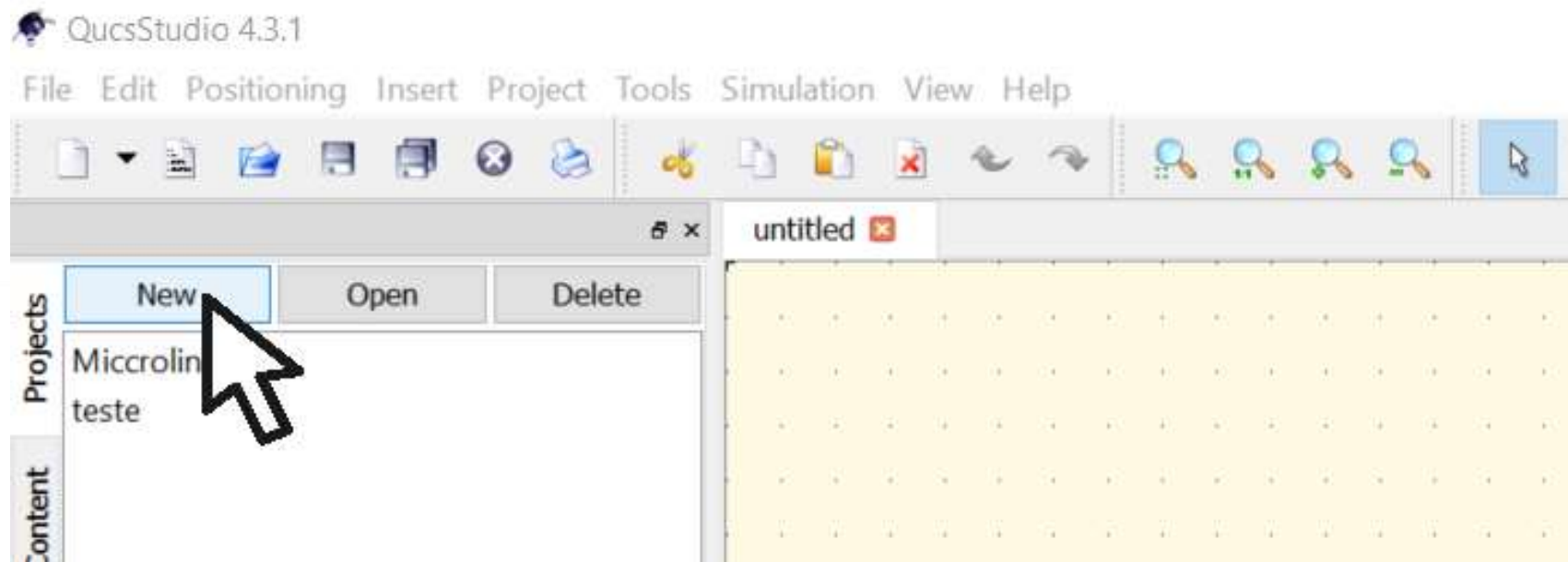


Abra a pasta bin dentro da pasta descompactada e execute o aplicativo qucs.exe



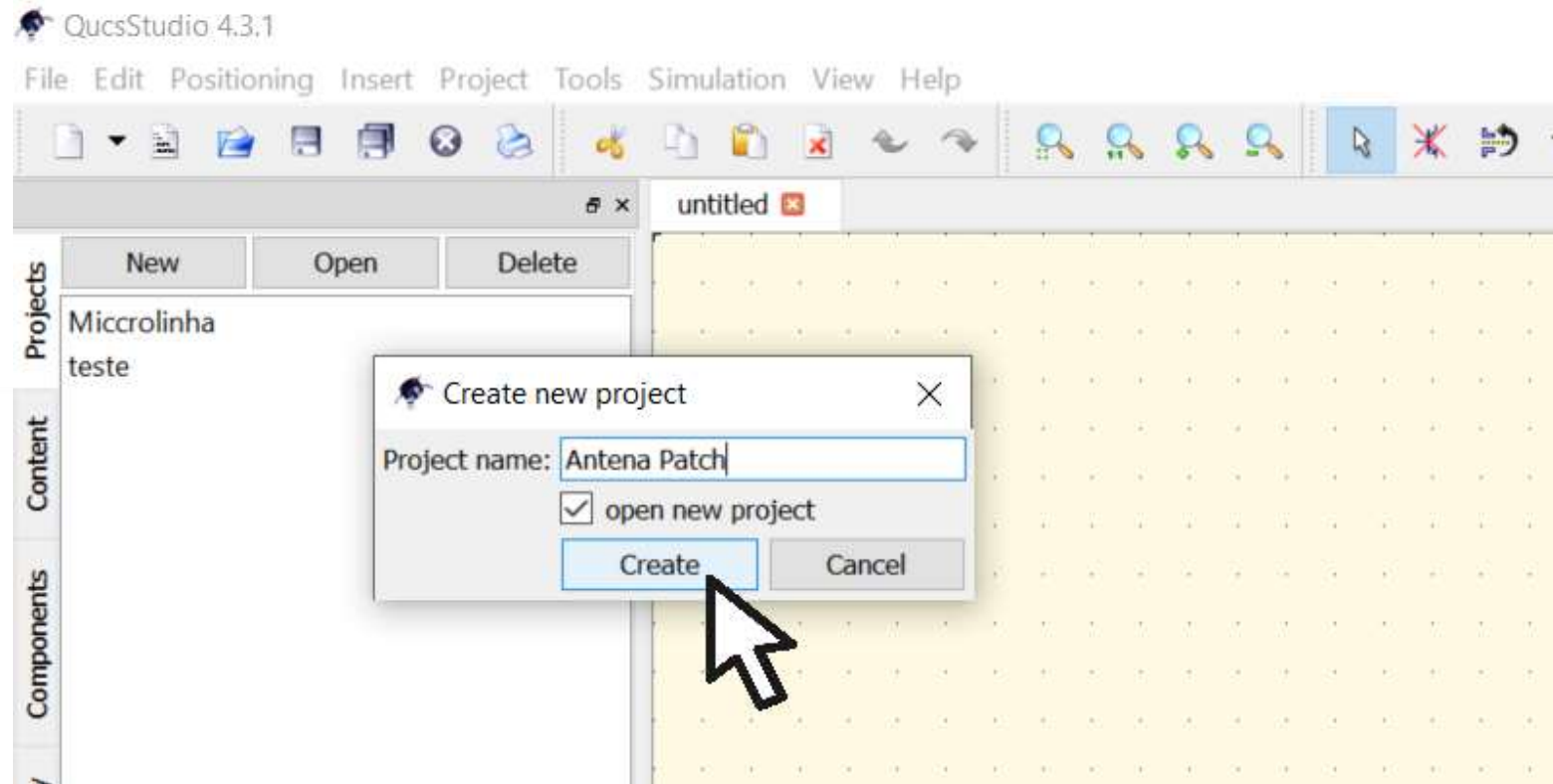


Para criarmos nossa antena, primeiro devemos iniciar um novo projeto, para isso, clique no botão NEW da aba Projects, como ilustra a figura:



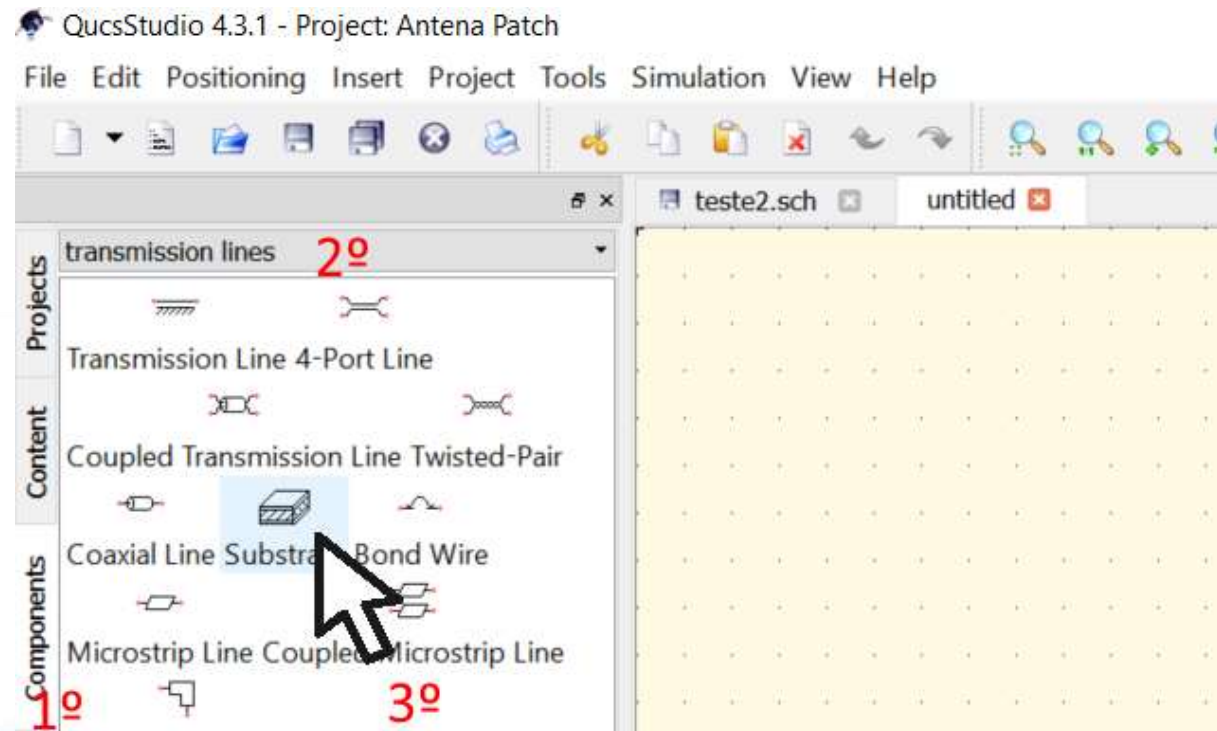


Em seguida, insira o nome do projeto, Antena Patch por exemplo, e pressione o botão Create para que o programa crie seu novo projeto, como ilustra a figura:





Em seguida, clique na aba Components na janela do navegador, depois selecione o conjunto de componentes Transmission lines e por fim, selecione o componente Substrate conforme a sequência ilustrada na figura:





Em seguida escolha o componente *Substrate* que será usado para definir numericamente os parâmetros do material dielétrico que será usado como substrato. Clique na área de trabalho e posicione o componente *Substrate*, abra as configurações com click duplo e configure os parâmetros como apresenta a figura:



Fomento a Pesquisa PRP do
 IFSP via Edital nº. 823/2018



QucsStudio

a free and powerful circuit simulator

QucsStudio 4.3.1 - Project: Antena Patch

File Edit Positioning Insert Project Tools Simulation View Help

transmission lines

Projects
 Transmission Line 4-Port Line

Content
 Coupled Transmission Line Twisted-Pair

Components
 Coaxial Line Substrate Bond Wire

Library
 Microstrip Line Coupled Microstrip Line
 Microstrip Corner
 Microstrip Mitered Bend
 Microstrip Step Microstrip Tee
 Microstrip Cross Microstrip Open
 Microstrip Stub Microstrip Gap

Subst1
 er=4.3
 h=1.6 mm
 t=20 µm
 tand=0.02
 rho=2.4e-08
 D=0.1µm
 backside=Metal

Edit Component Properties

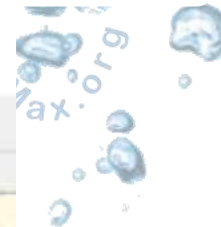
substrate definition

Name: Subst1 display in schematic

Parameters

show	Name	Value	Description
<input checked="" type="checkbox"/>	er	4.3	relative permittivity
<input checked="" type="checkbox"/>	h	1.6 mm	thickness in meters
<input checked="" type="checkbox"/>	t	20 µm	thickness of metalization
<input checked="" type="checkbox"/>	tand	0.02	loss tangent
<input checked="" type="checkbox"/>	rho	2.4e-08	specific resistance of metal
<input checked="" type="checkbox"/>	D	0.1µm	rms substrate roughness
<input checked="" type="checkbox"/>	backside	Metal	for coplanar waveguide only; material at the backside of the substrate [Metal, Air]

OK Apply Cancel

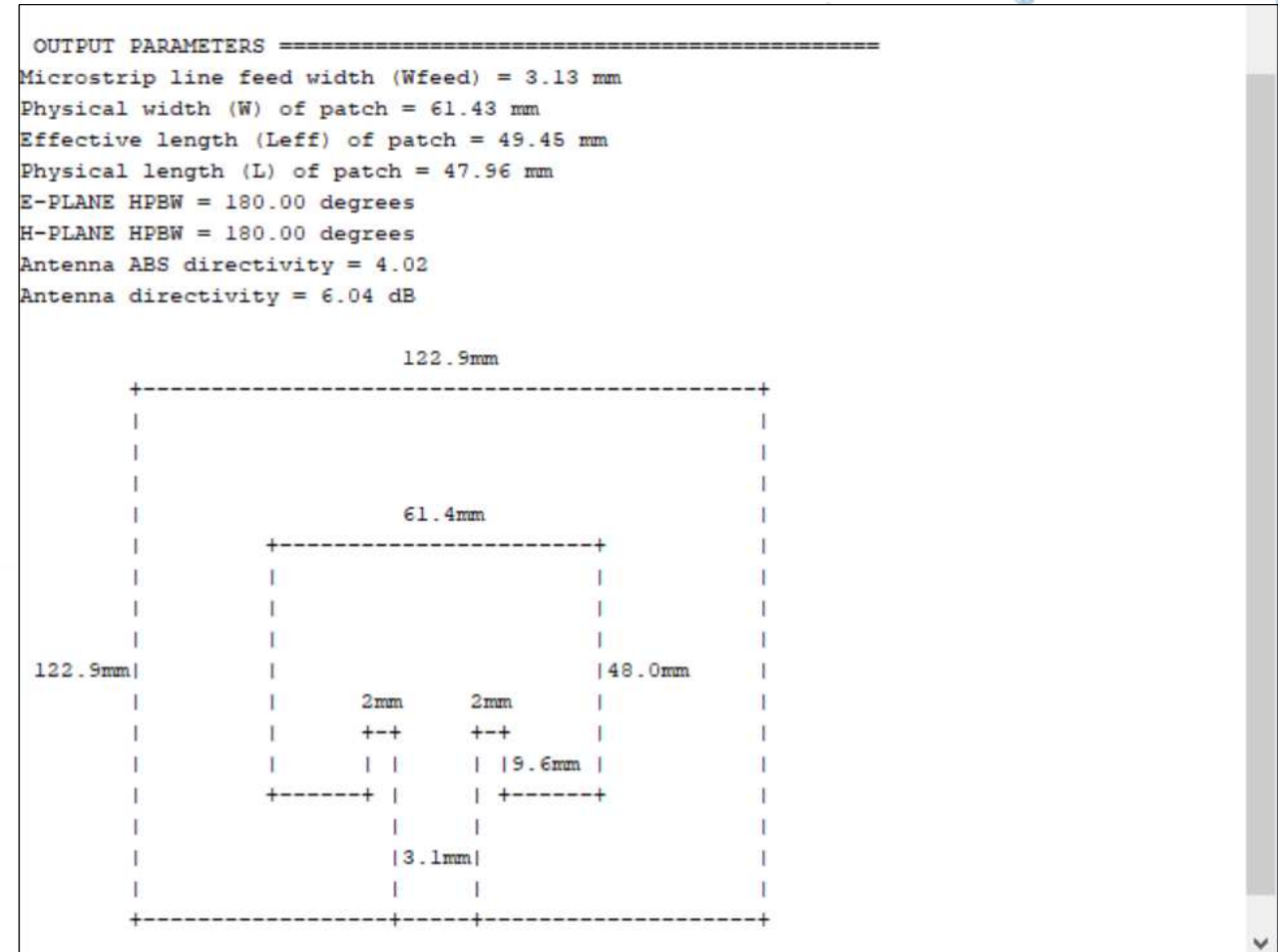




Para continuarmos o projeto, vamos relembrar os parâmetros que foram calculados por nosso programa em Matlab, ou Scilab, com base nos valores estabelecidos inicialmente para o substrato, frequência e impedância da linha:

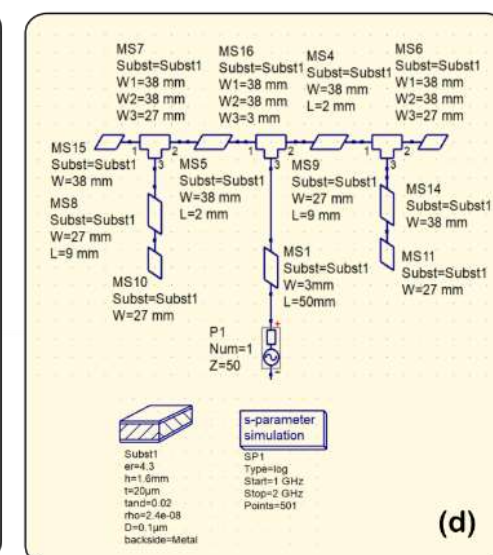
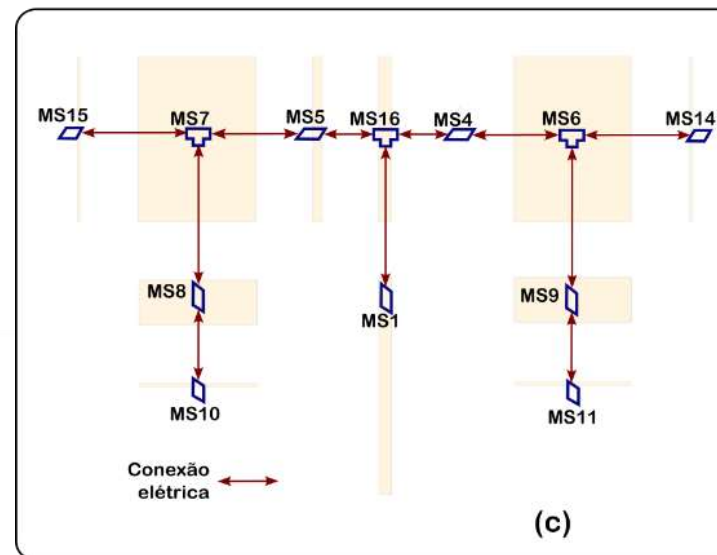
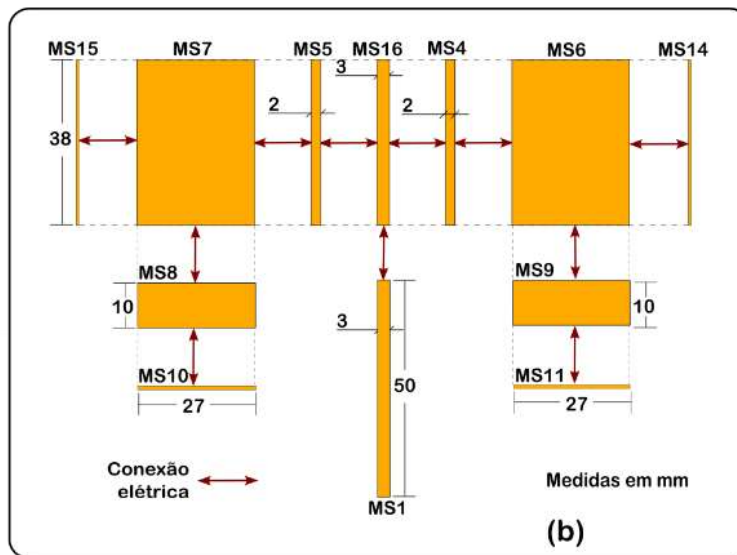
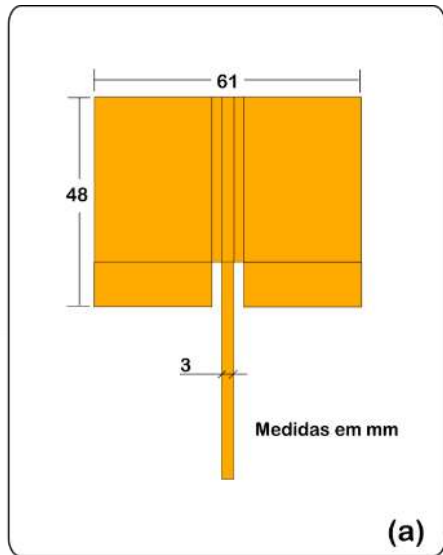
```

OUTPUT PARAMETERS
=====
61.4 mm      Microstrip line feed width (Wfeed) = 3.13 mm
+-----+    Physical width (W) of patch = 61.43 mm
|           | Effective length (Leff) of patch = 49.45 mm
|           | Physical length (L) of patch = 47.96 mm
|           | E-PLANE HPBW = 180.00 degrees
|           | H-PLANE HPBW = 80.00 degrees
+-----+ +-----+ Antenna ABS directivity = 4.02
|         |         | Antenna directivity = 6.04 dB
|         |         |
|         |         |
|         |         |
+-----+ +-----+
|         |         |
|         |         |
|         |         |
|         |         |
+-----+ +-----+
3.1 mm
fx >>
  
```



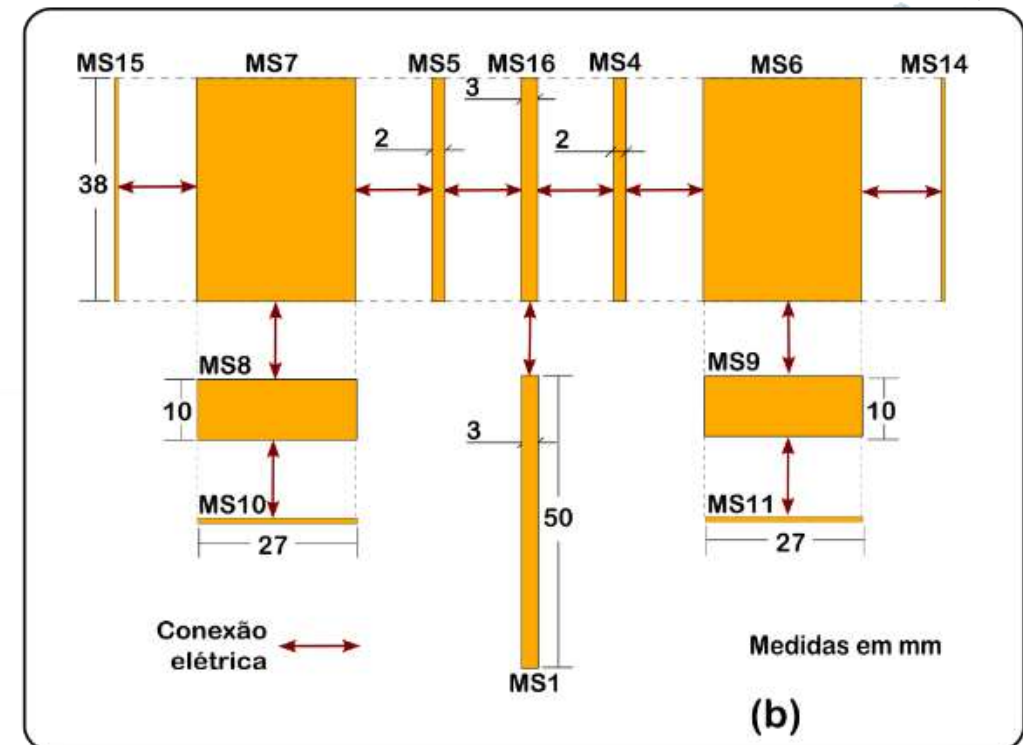
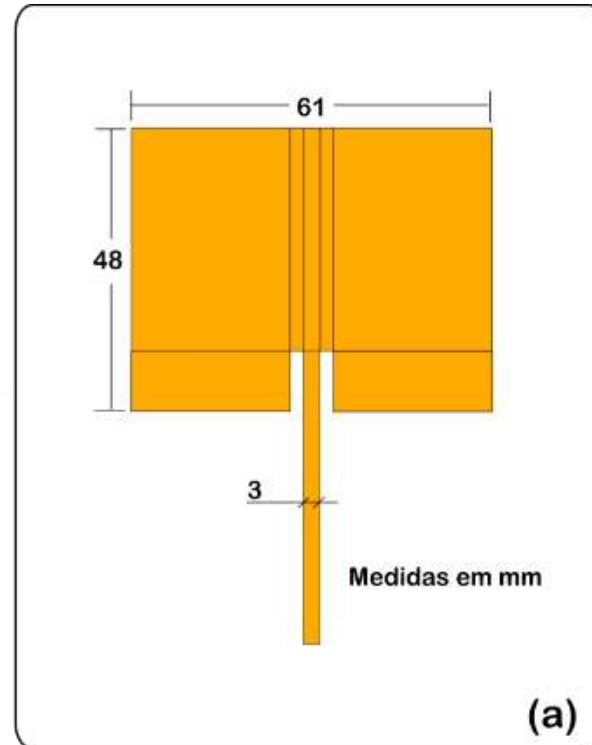


Para compreendermos o processo de montagem do circuito da AP proposta, vamos observar a figura:



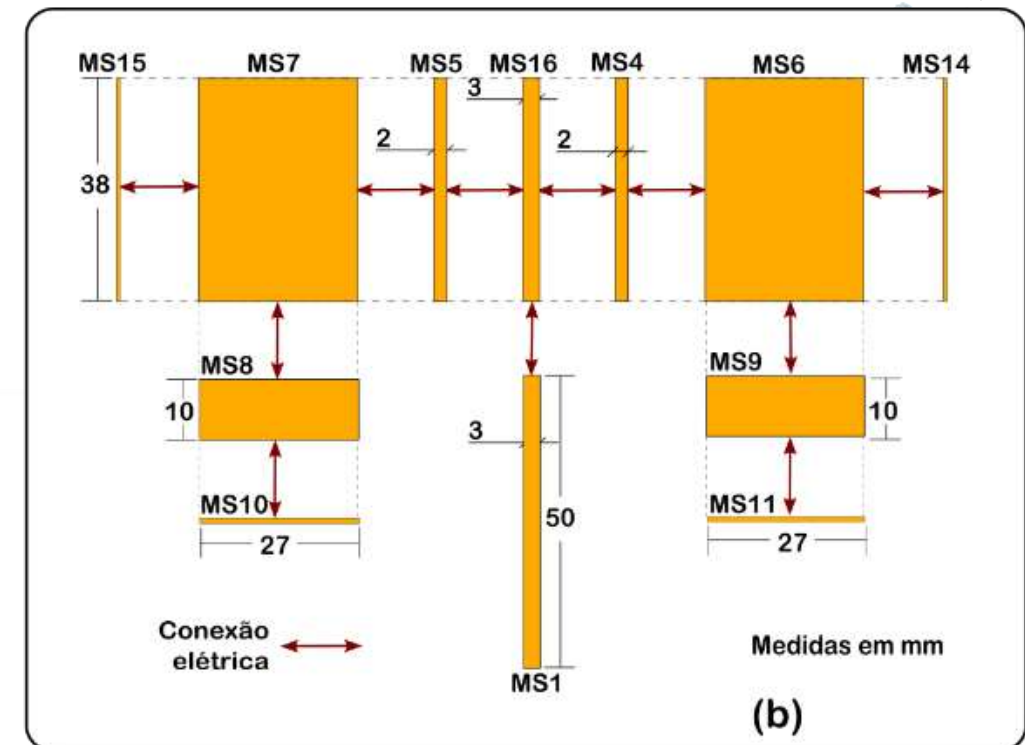
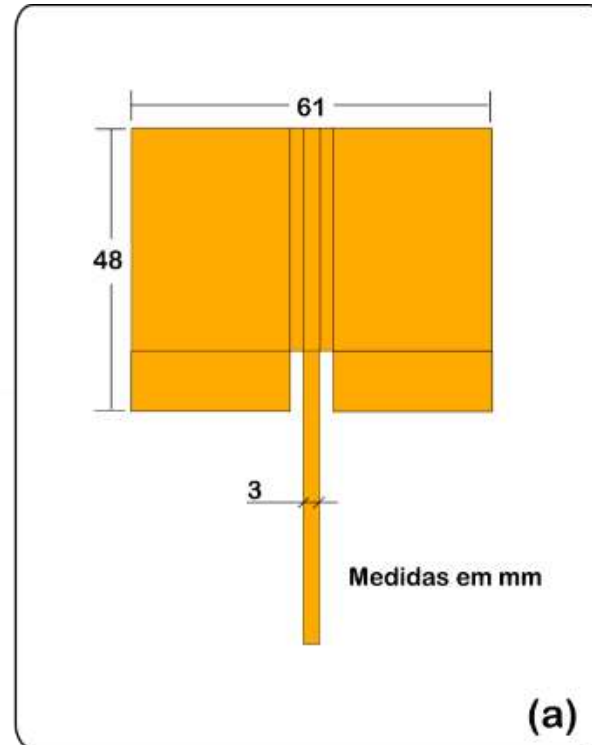


Primeiro, dividimos a AP em oito retângulos, figura (a), e em seguida, separamos os retângulos e abstraímos suas conexões elétricas com setas vermelhas, figura (b), que nos auxiliam na montagem do circuito esquemático.:



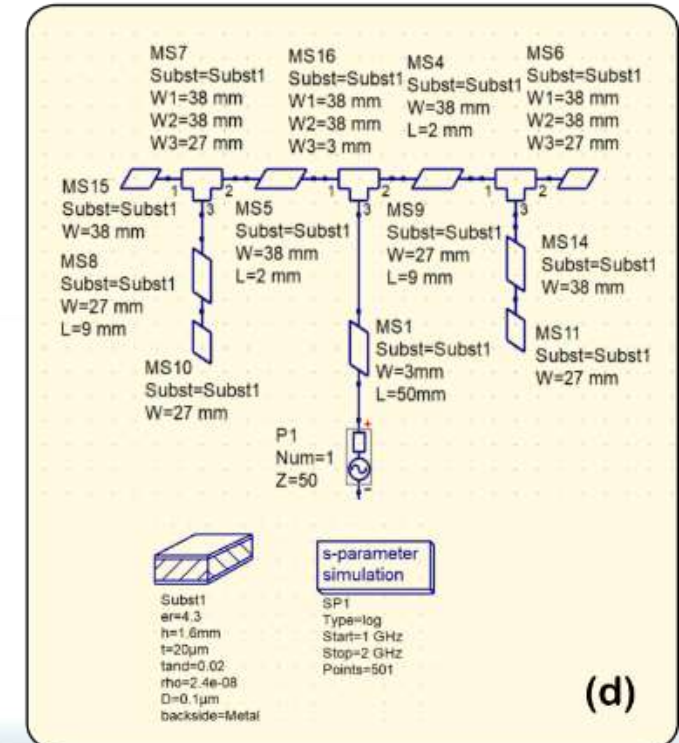
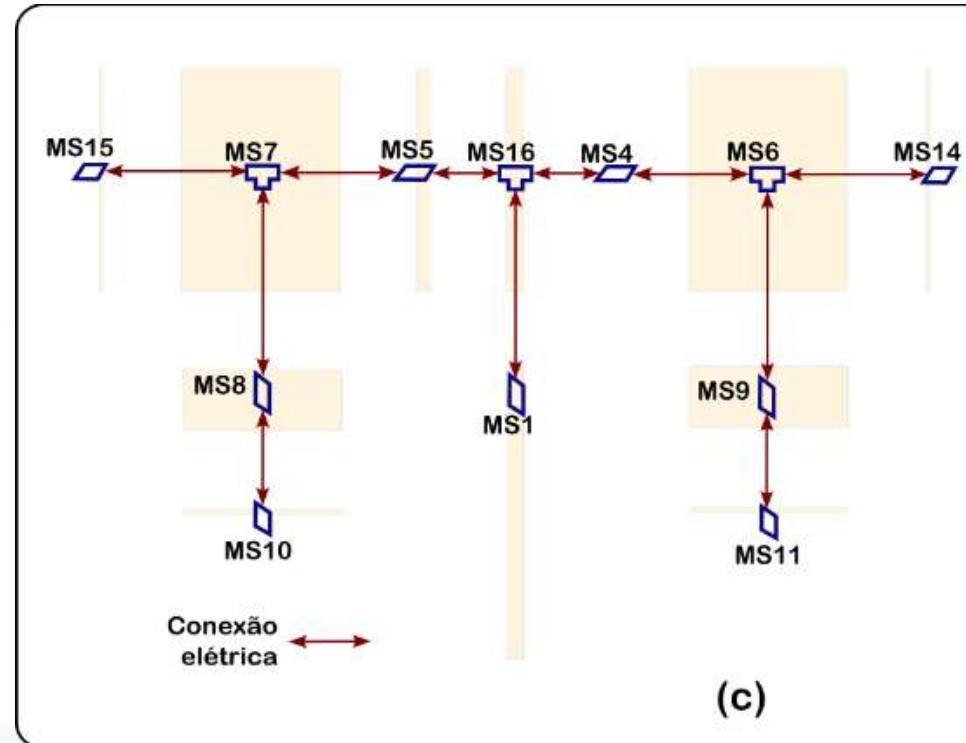


Todos os retângulos são identificados por nome que começa com **MS** de **MicroStrip** e o respectivo número de componente atribuído durante o processo de montagem do circuito esquemático.





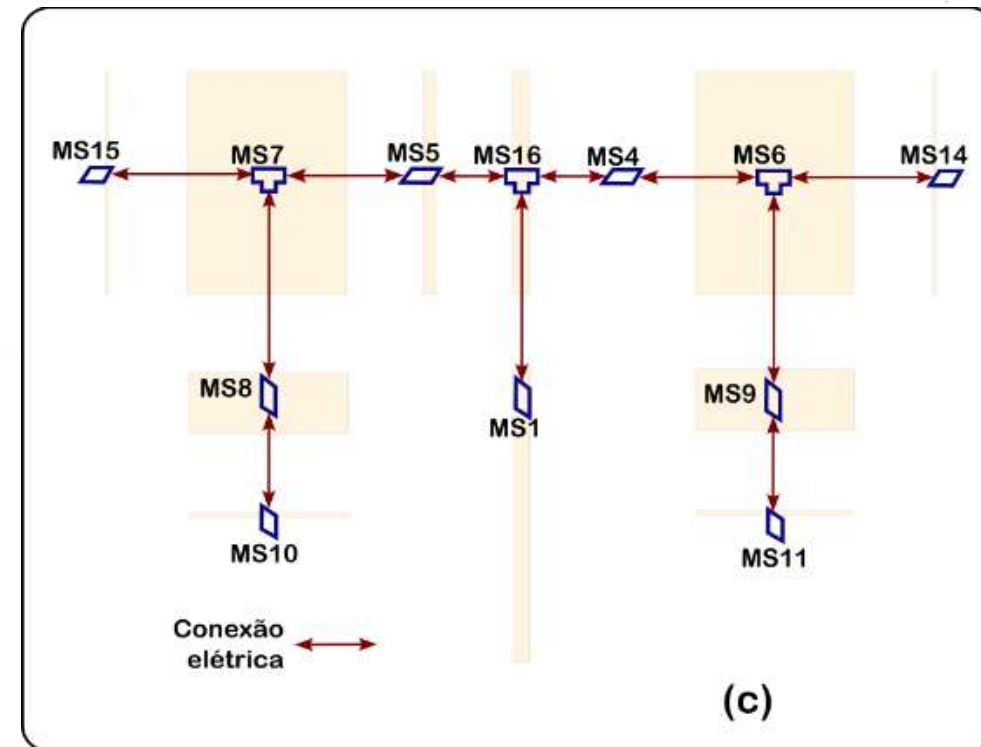
Os componentes do tipo T (Microstrip Tee), que possuem três portas, 1, 2 e 3 respectivamente, foram escolhidos para representar os retângulos MS6, MS7 e MS16 pois cada um deles possuem três conexões elétricas cada, figura (c).





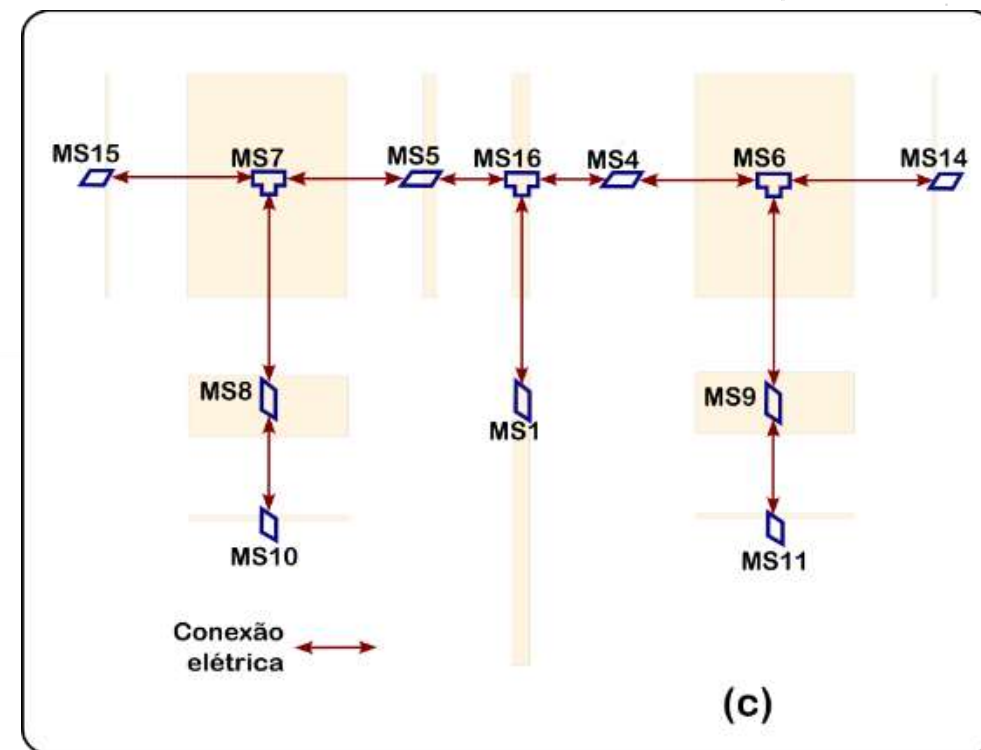
Os componentes do tipo T (Microstrip Tee), que possuem três portas, 1, 2 e 3 respectivamente, foram escolhidos para representar os retângulos MS6, MS7 e MS16 pois cada um deles possuem três conexões elétricas cada, figura (c).

Os componentes do tipo microlinha de transmissão (Microstrip Line), que possuem duas portas, 1 e 2 respectivamente, foram escolhidos para representar os retângulos MS1, MS4, MS5, MS8 e MS9, uma vez que cada um destes, possuem duas conexões elétricas cada, figura (c).



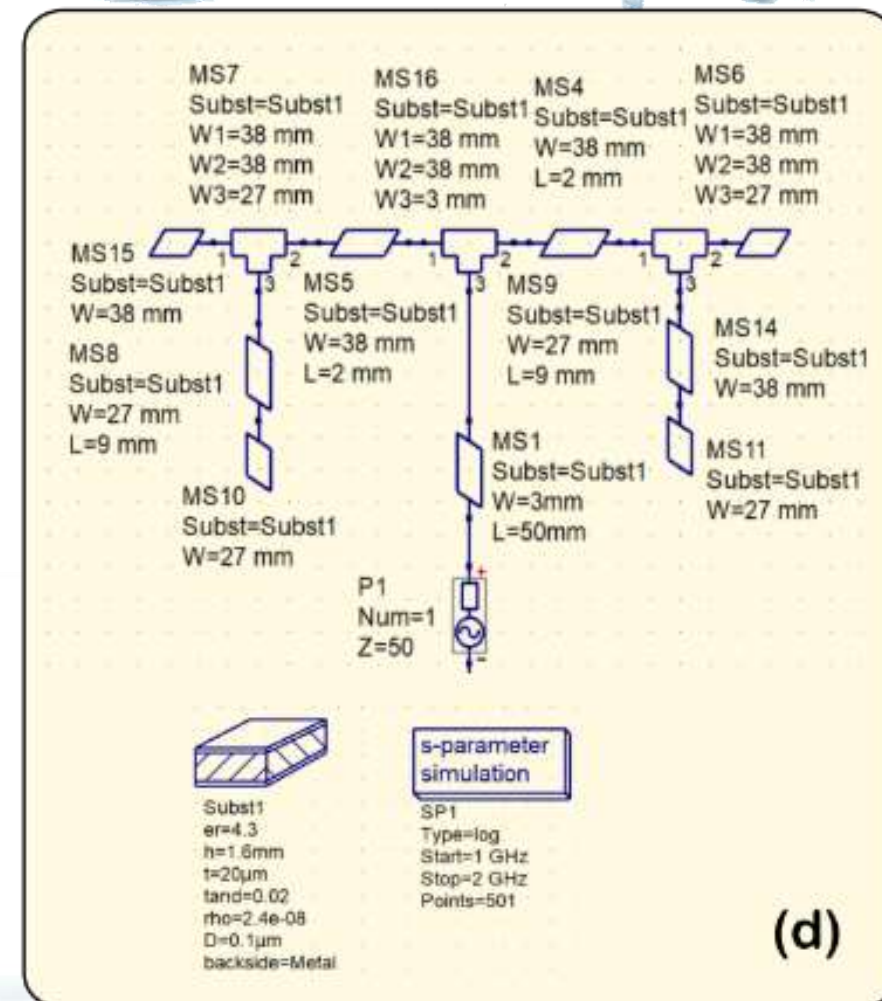


Por fim, os componentes de terminação de linha (Microstrip Open), que possuem apenas uma porta, foram escolhidos para representar os retângulos MS10, MS11, MS14 e MS15, sendo que cada um destes, possuem apenas uma conexão cada, figura (c).



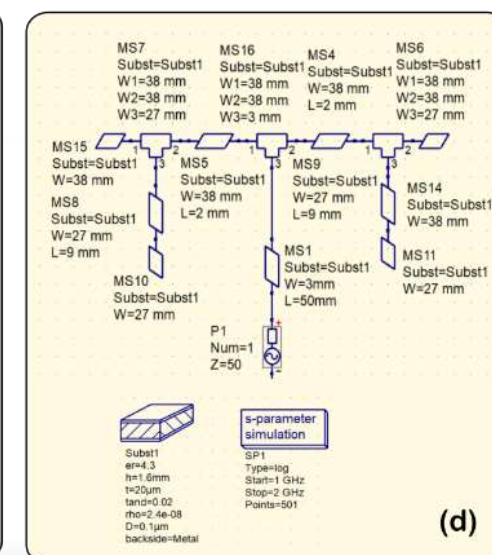
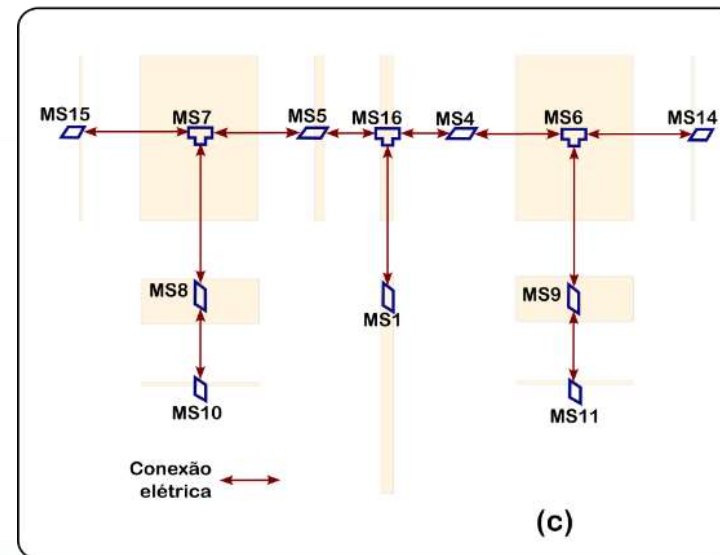
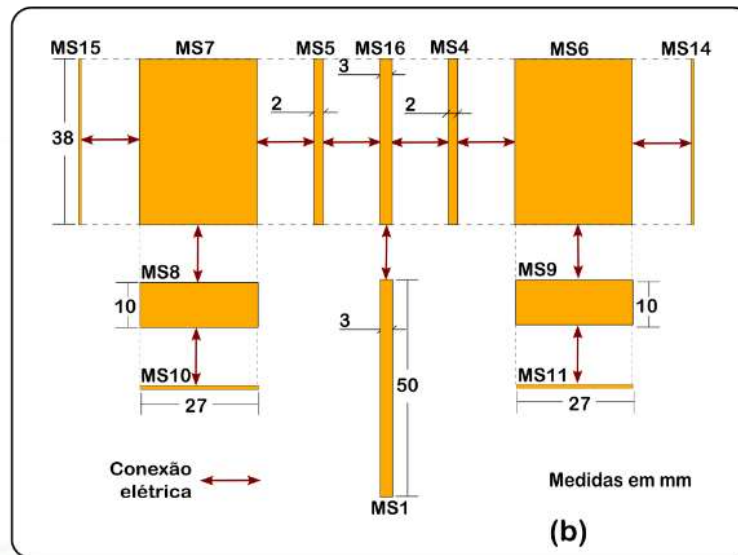
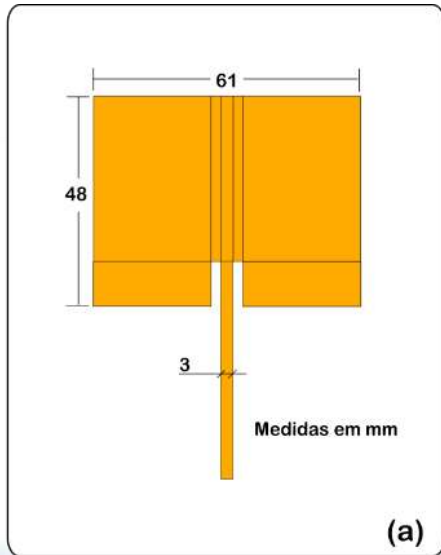


Desta forma, com base nas medidas e conexões dos retângulos, ilustrados na figura (b), bem como baseando-se na arquitetura de circuito esquemático ilustrado na figura (c), deverá se montar o circuito de acordo com a figura (d).



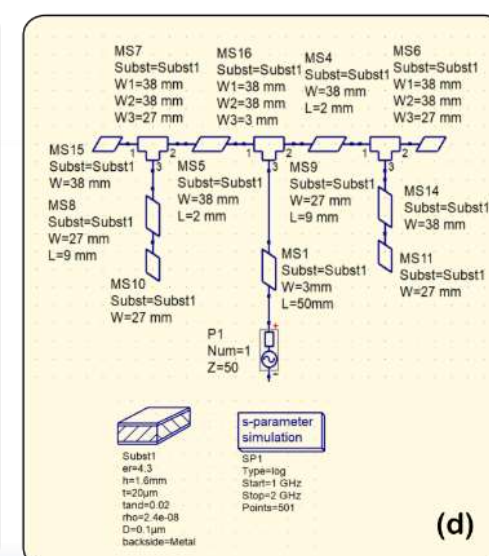
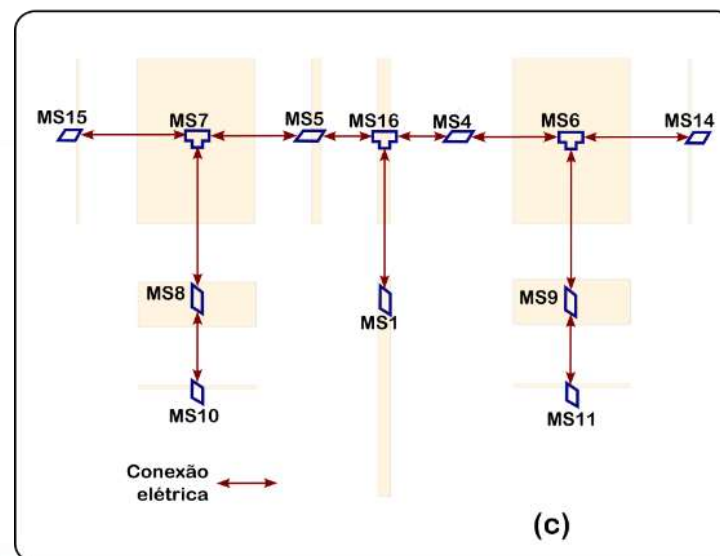
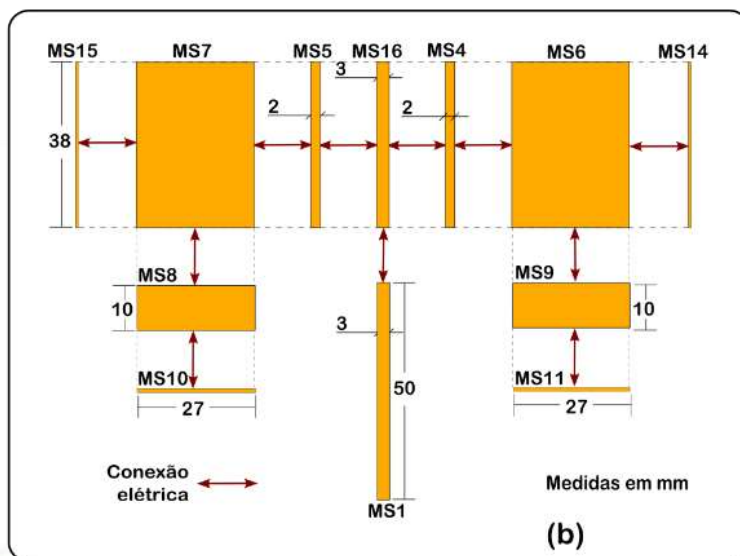
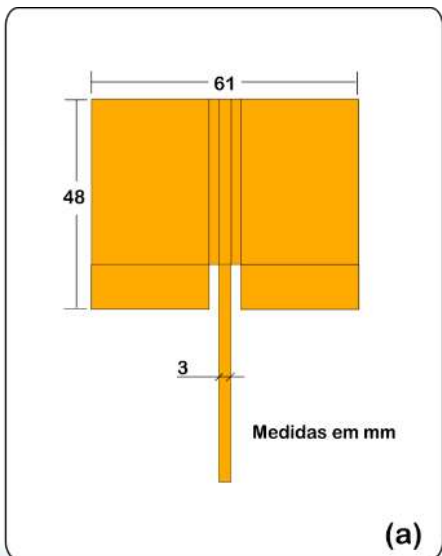


Adicionalmente deverá adicionar uma fonte na porta um (Power Source) que está disponível no grupo Sources da aba Components. Esta fonte deverá estar conectada a porta de entrada do retângulo MS1 enquanto que o outro terminal da fonte deverá ser conectado ao Ground, que pode ser encontrado no grupo lumped components da aba Components.



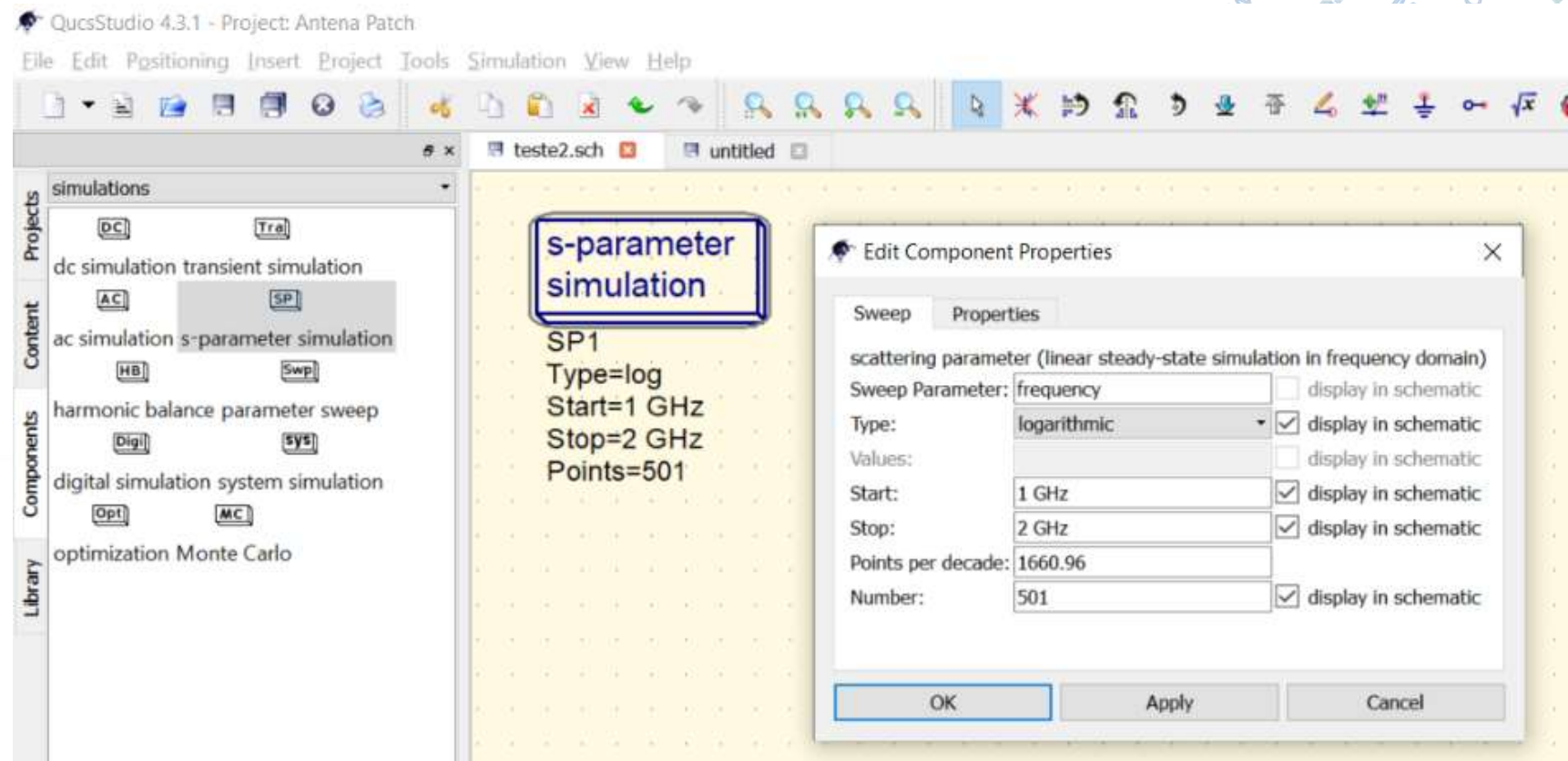


Adicionalmente o leitor deverá adicionar uma fonte na porta um (Power Source) que está disponível no grupo Sources da aba Components. Esta fonte deverá estar conectada a porta de entrada do retângulo MS1 enquanto que o outro terminal da fonte deverá ser conectado ao Ground, que pode ser encontrado no grupo lumped components da aba Components.



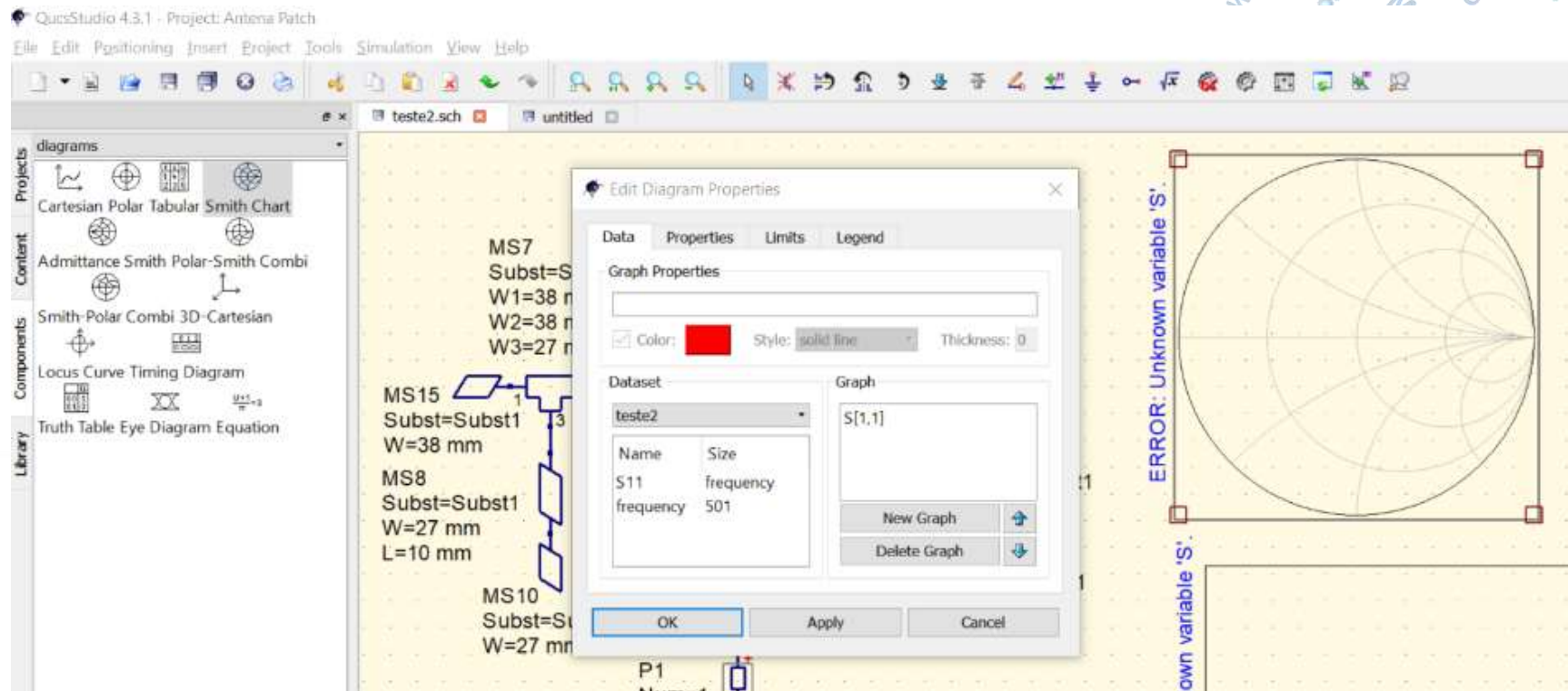


Além disso, para realizar a simulação do circuito no modo esquemático, deverá ser inserido o bloco de simulação dos parâmetros S (s-parameters simulation) e configurá-lo de acordo com a figura:



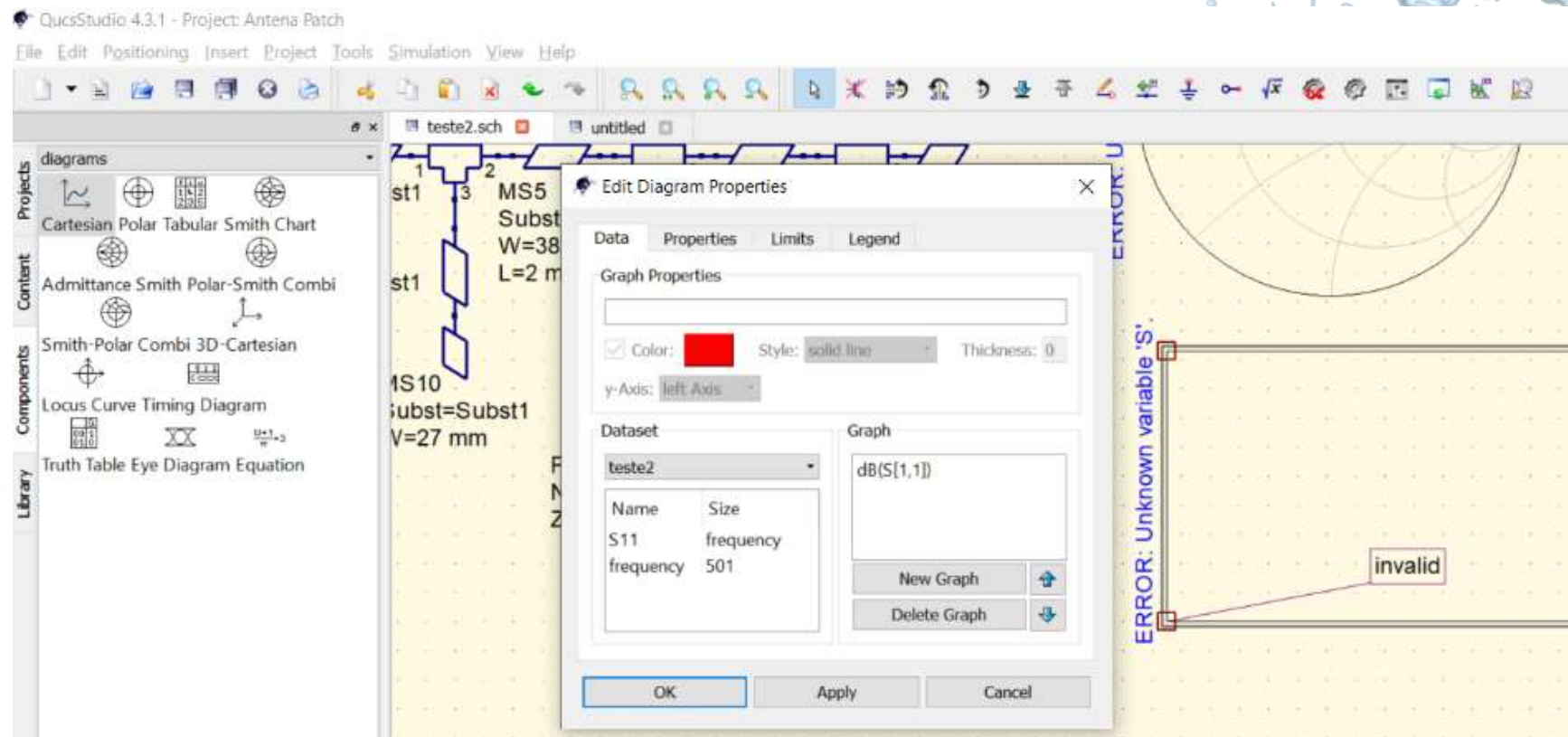


Para visualizar os resultados das simulações no modo esquemático, deve-se ir no grupo diagrams da aba Components e adicionar a Carta de Smith (Smith Chart), como visto em figura:



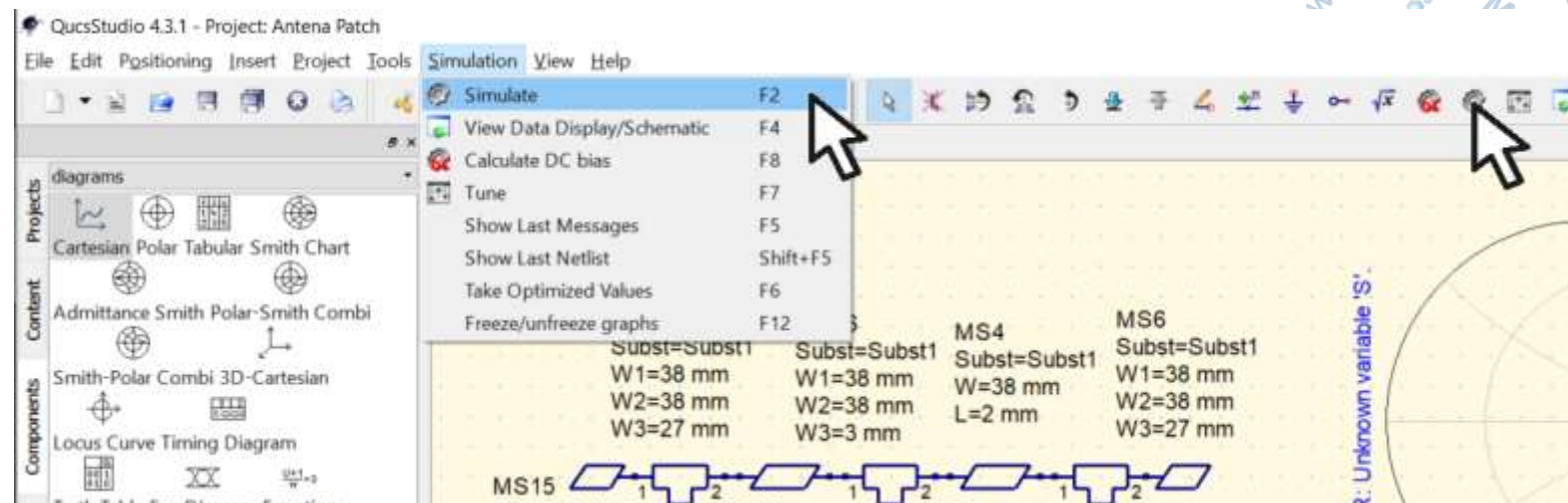


E complementarmente o diagrama retangular (Cartesian) para visualizar a perda por retorno (S11), de acordo com a figura:



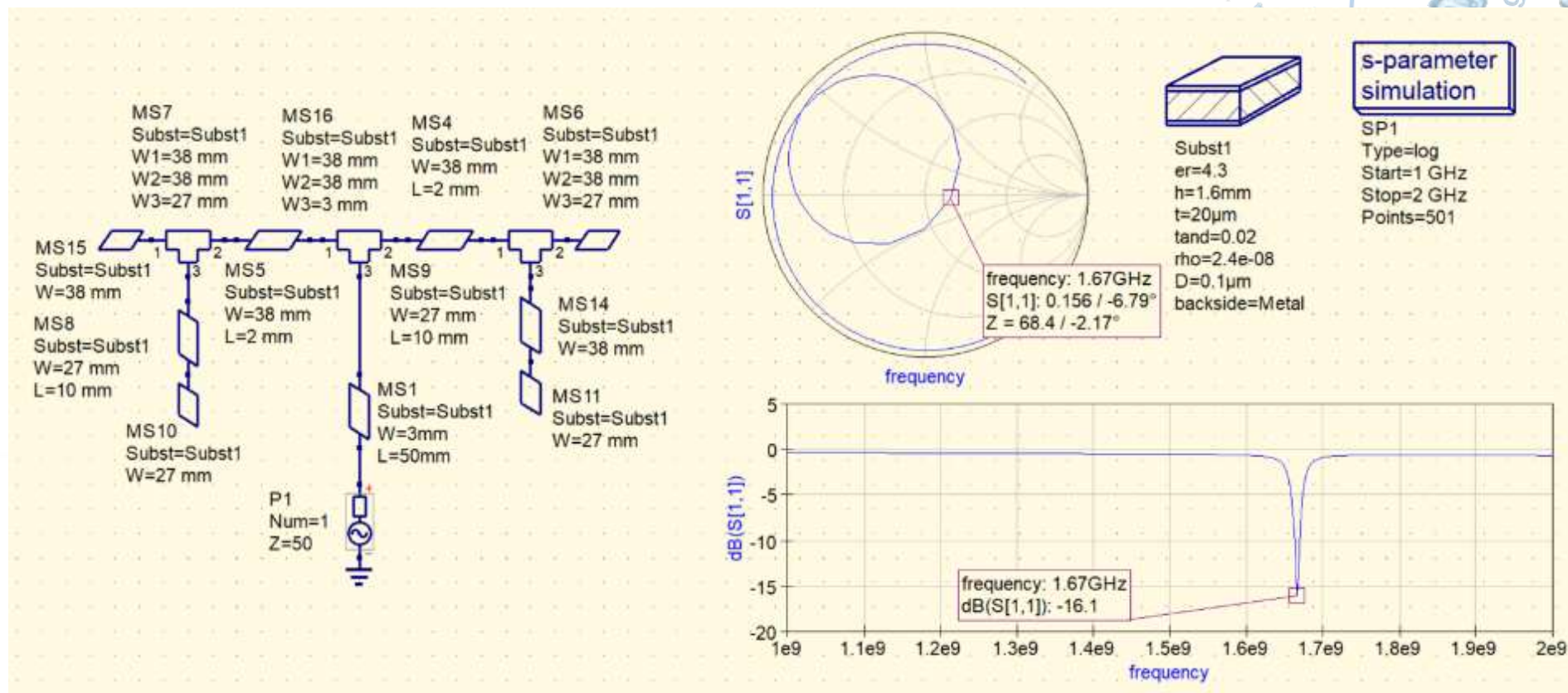


Para iniciar a simulação, basta ir no item Simulation, no menu horizontal, em seguida selecione a opção Simulate, ou pressione a tecla de função F2, ou ainda clique no ícone de simulação, na barra de ícones, que é representado por uma engrenagem, como ilustra a figura:



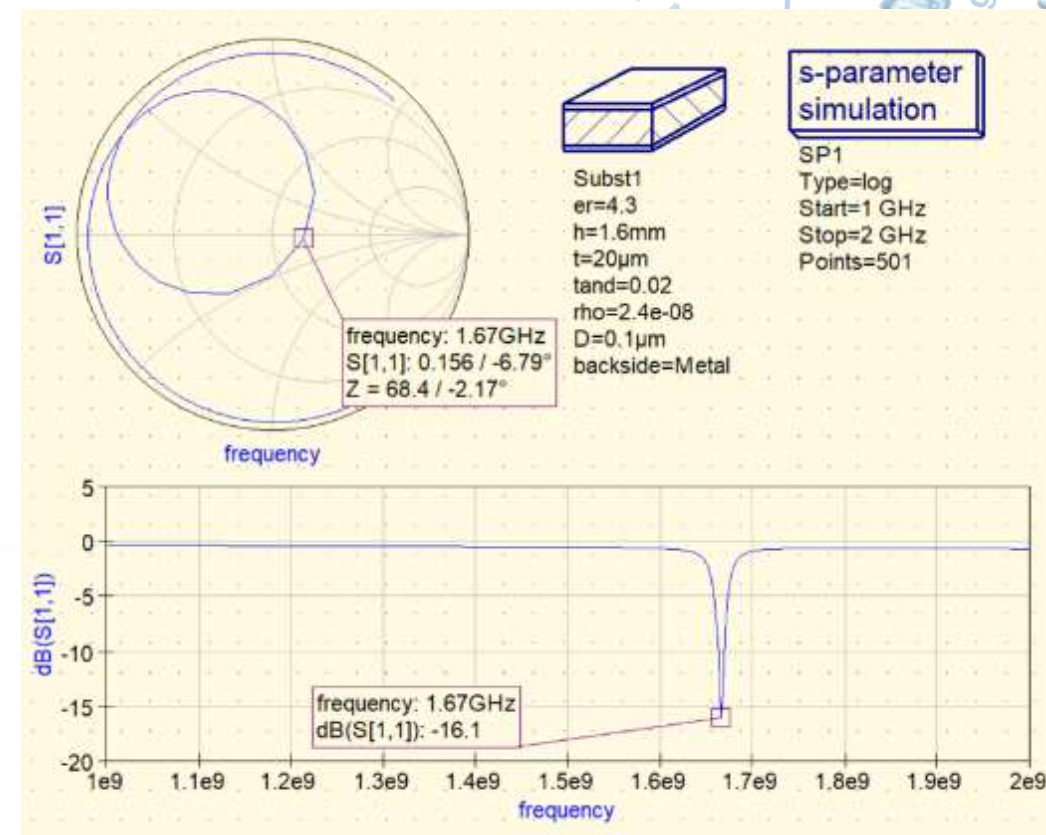


Após realizada a simulação do circuito esquemático, serão atualizados os dois gráficos, a carta de Smith e o diagrama de perda por retorno (Parâmetro S11), como ilustra a figura:



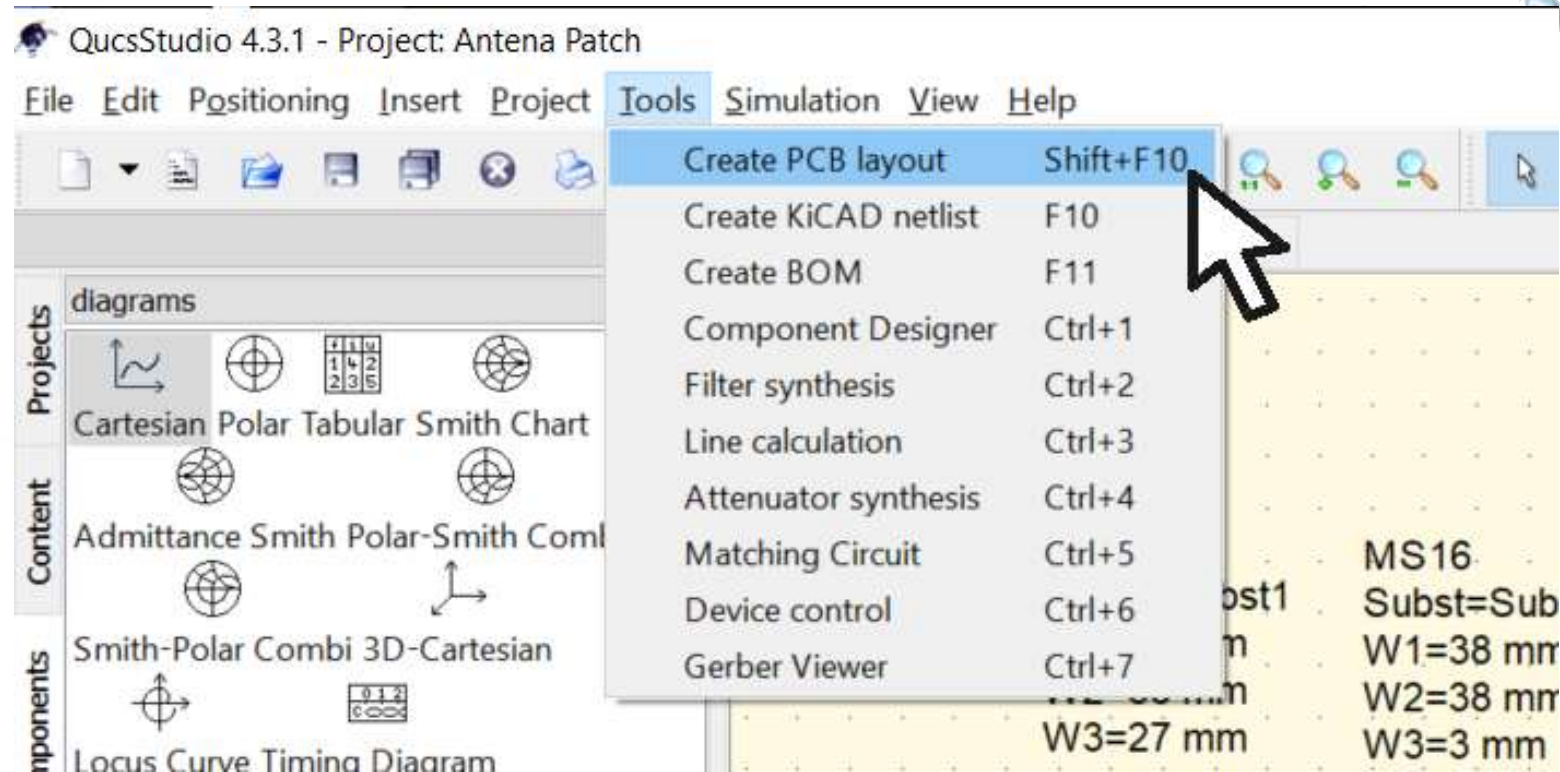


Note que a frequência de ressonância, obtido através do menor valor do parâmetro S11 (-16,1 dB) simulado no circuito esquemático, é de 1,67 GHz, bem distante dos 1,5 GHz esperados. Isto ocorre pois a simulação a partir do circuito esquemático não leva em conta os acoplamentos entre os componentes, com isso, faz-se necessário realizar a simulação do layout da AP.



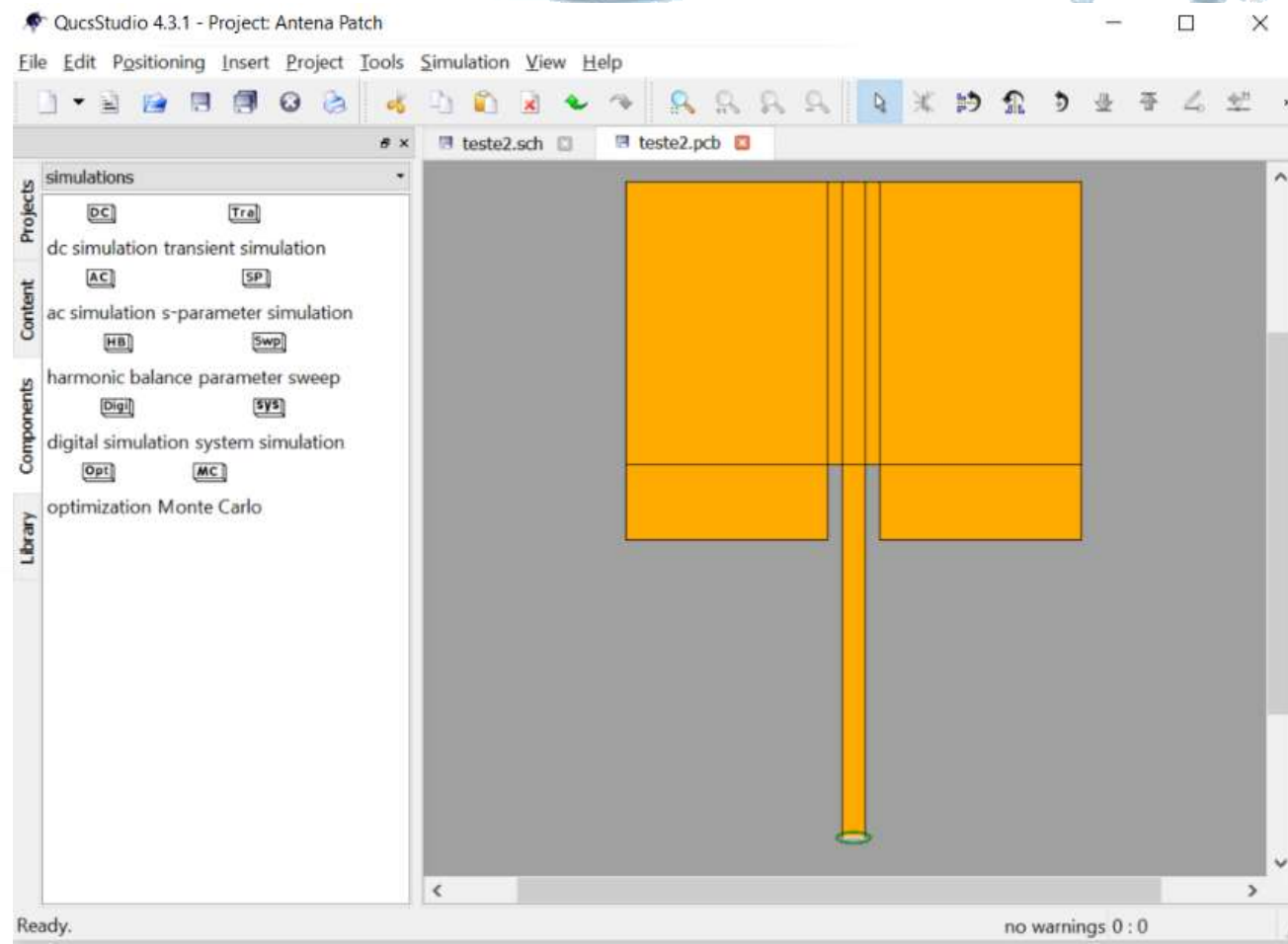


Para isso, se deve selecionar a opção Tools, no menu horizontal, em seguida selecione a opção Create PCB layout, ou ainda pressione simultaneamente Shift + F10, como ilustra a figura:



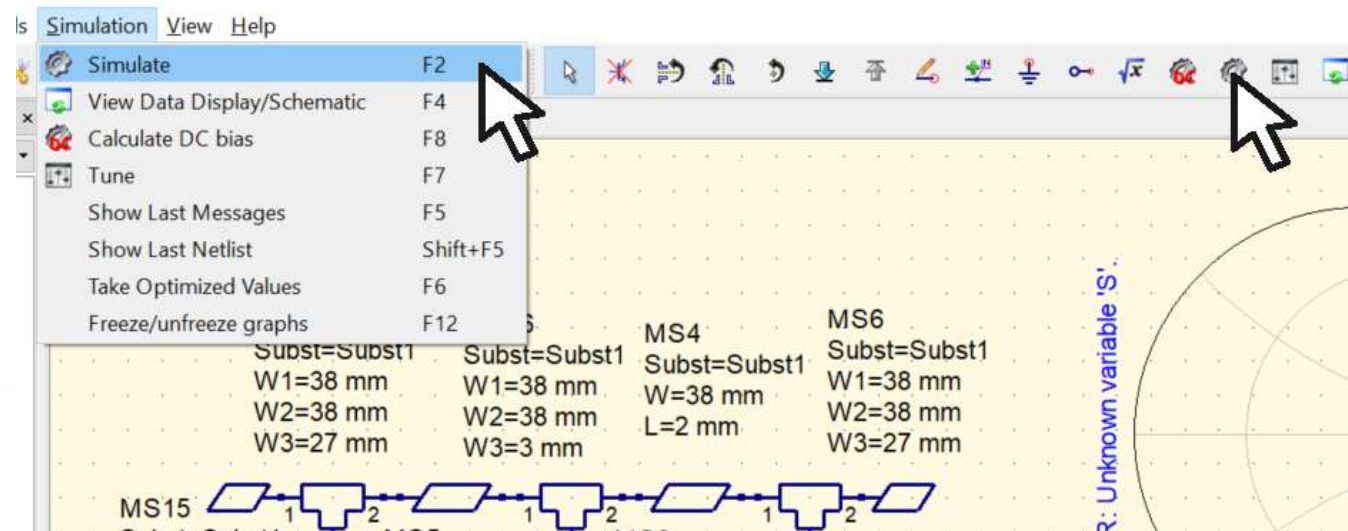


Após iniciada, a ferramenta de criação de layout irá analisar o circuito esquemático e com base nas conexões elétricas, componentes escolhidos e seus respectivos parâmetros de dimensões, irá criar o layout da AP como ilustra a figura:



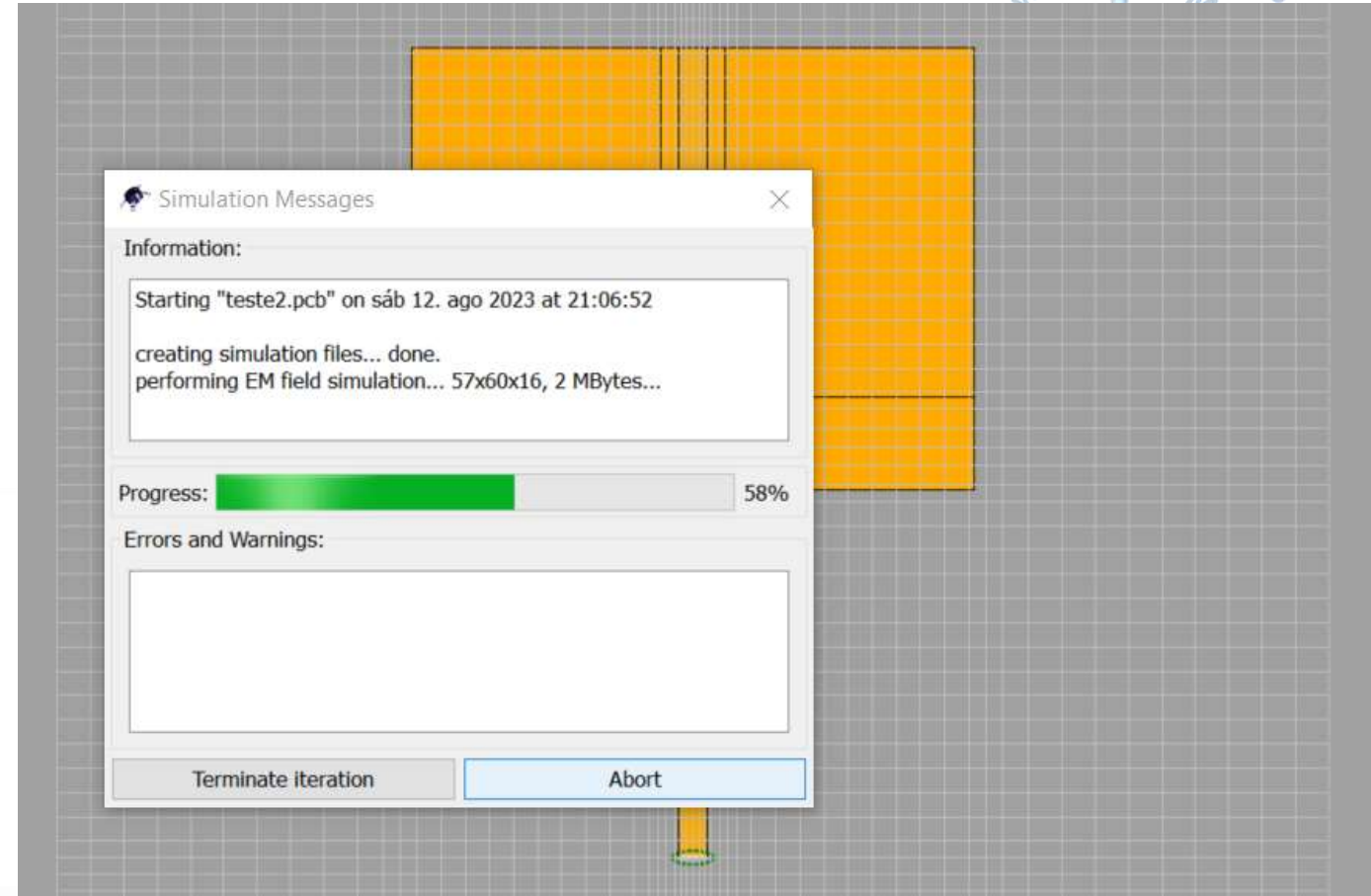


Para iniciar a simulação do layout, basta ir no item Simulation, no menu horizontal, em seguida selecione a opção Simulate, ou pressione a tecla de função F2, ou ainda clique no ícone de simulação, na barra de ícones, que é representado por uma engrenagem, como ilustra a figura:



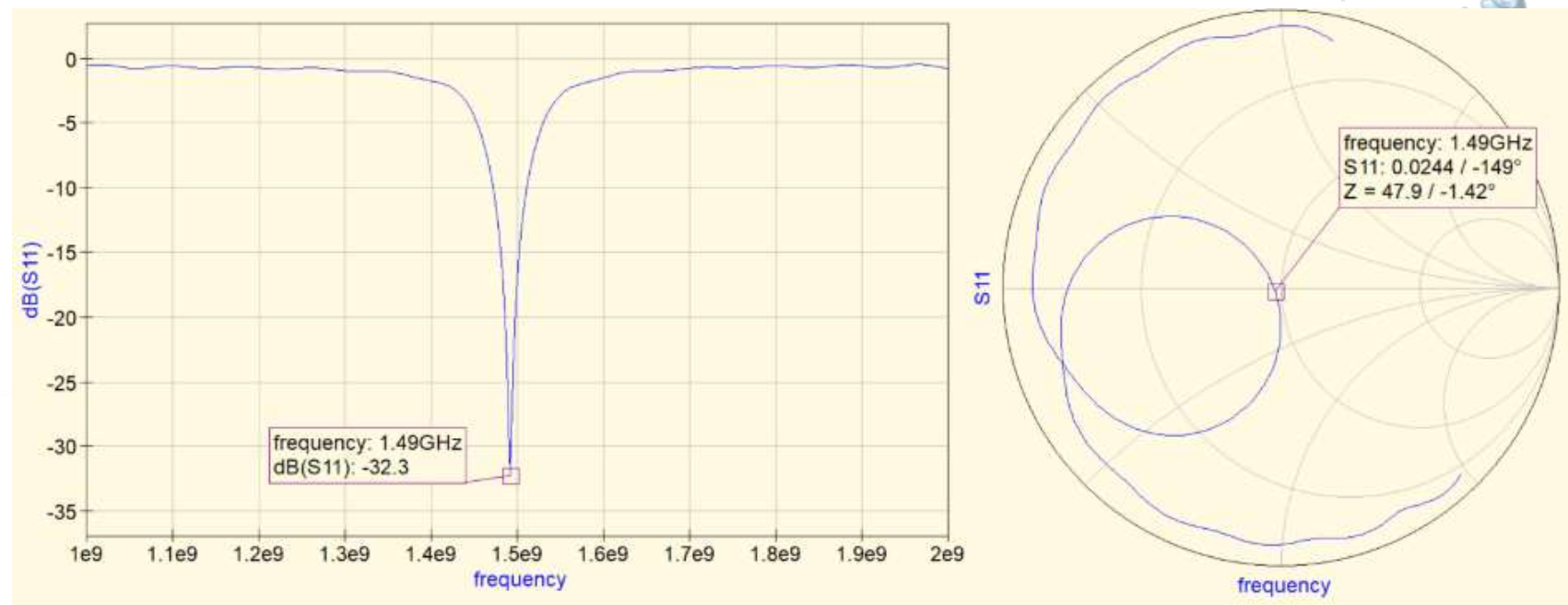


Ao iniciar a simulação do layout, o QucsStudio gera a malha que será usada pelo solucionador de método dos momentos EM2D+ do QucsStudio, em seguida a malha é apresentada junto ao layout e o progresso da simulação é apresentado na janela de mensagens de simulação, como mostra a figura:



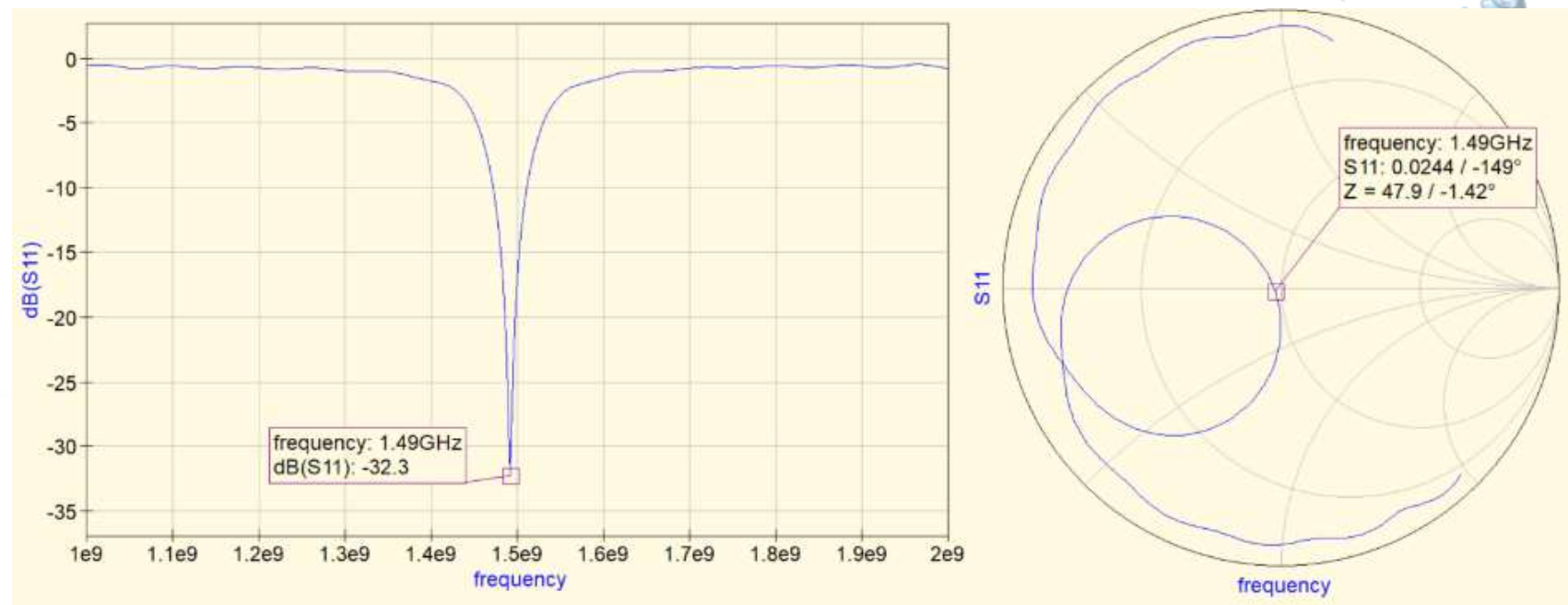


Ao final da simulação do layout da AP, os resultados são apresentados através dos gráficos de perda por retorno e carta de Smith, como observado na figura:





Ao se observar os resultados da simulação do layout da AP, podemos notar que a frequência de ressonância passou para 1,49 GHz e a impedância da AP nesta frequência é $47,9 \angle -1,42^\circ \Omega$, ou seja, muito próximo dos 1,5 GHz e 50Ω respectivamente esperados.





Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
Certificado CNPq nº 5.497.663.866.471.659



LittleMax
e a luta contra o Câncer
Cerebral Infantil

Fomento a Pesquisa PRP do
IFSP via Edital nº. 823/2018



**Metodologia de Projeto de
Antena Patch Acessível**
Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org

Processo de Fabricação da Antena Patch

Dr. Alexandre Maniçoba de Oliveira



Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



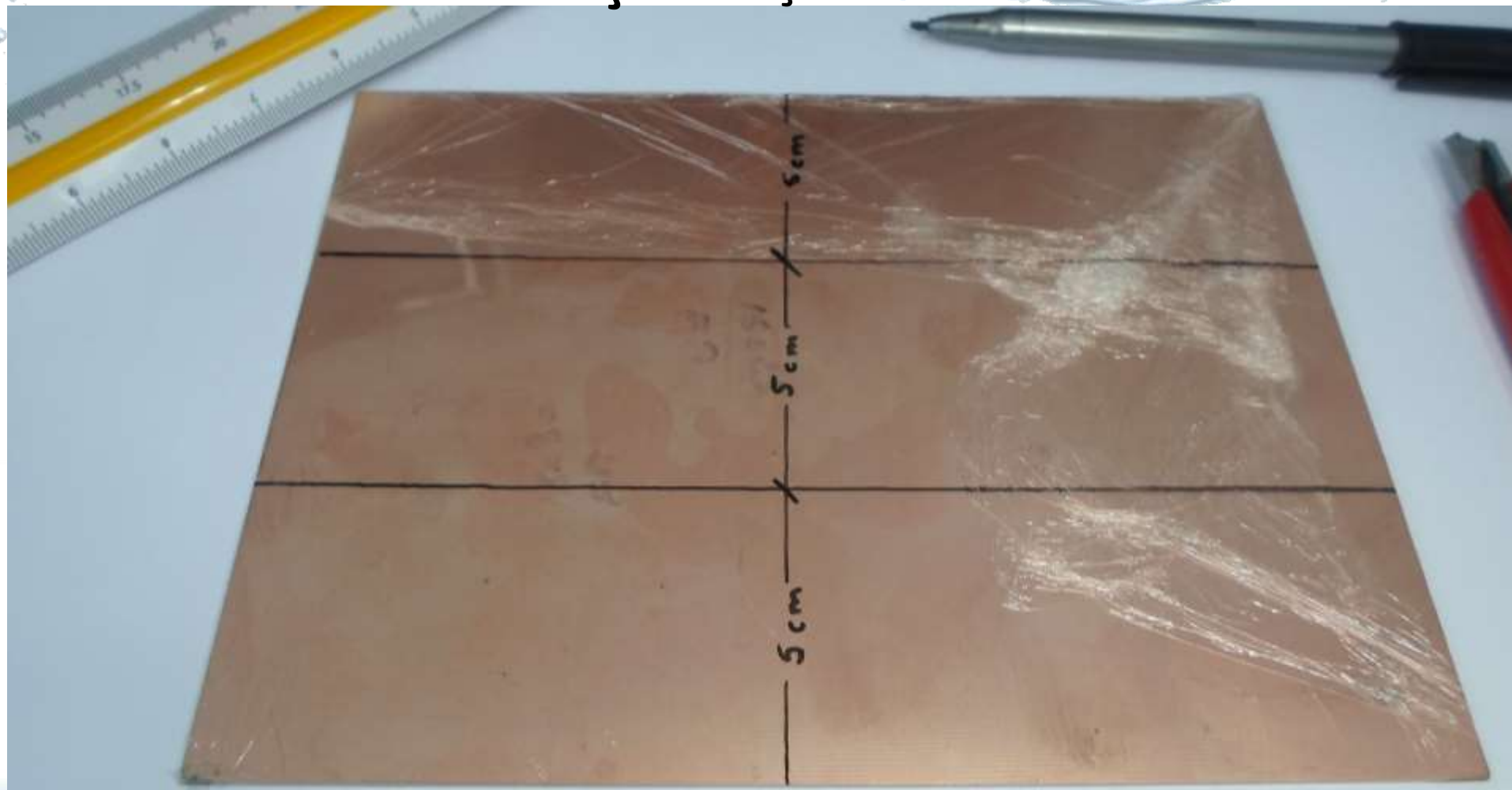
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



LabMax.org



Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



LabMax.org



Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



LabMax.org



Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



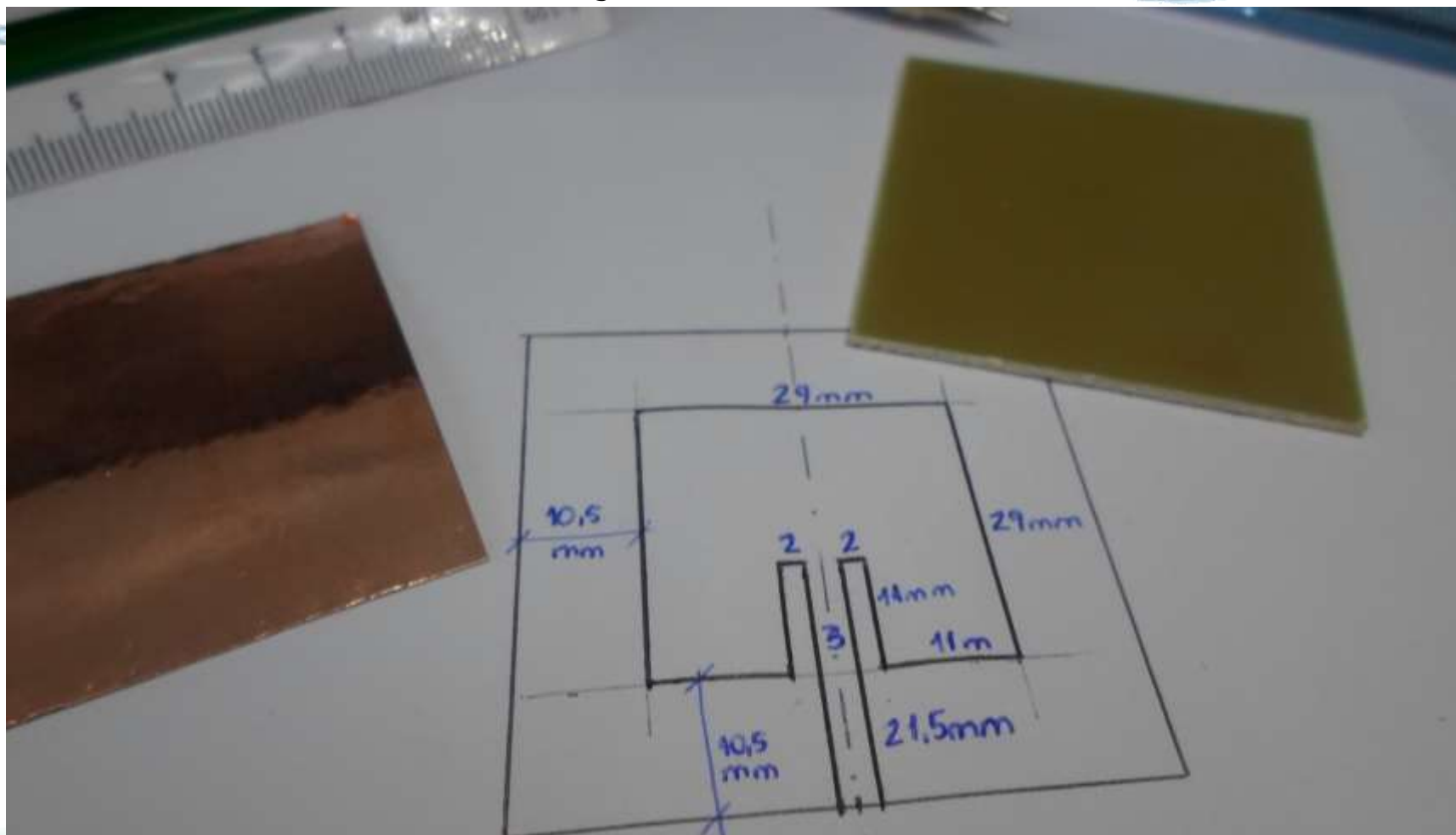
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



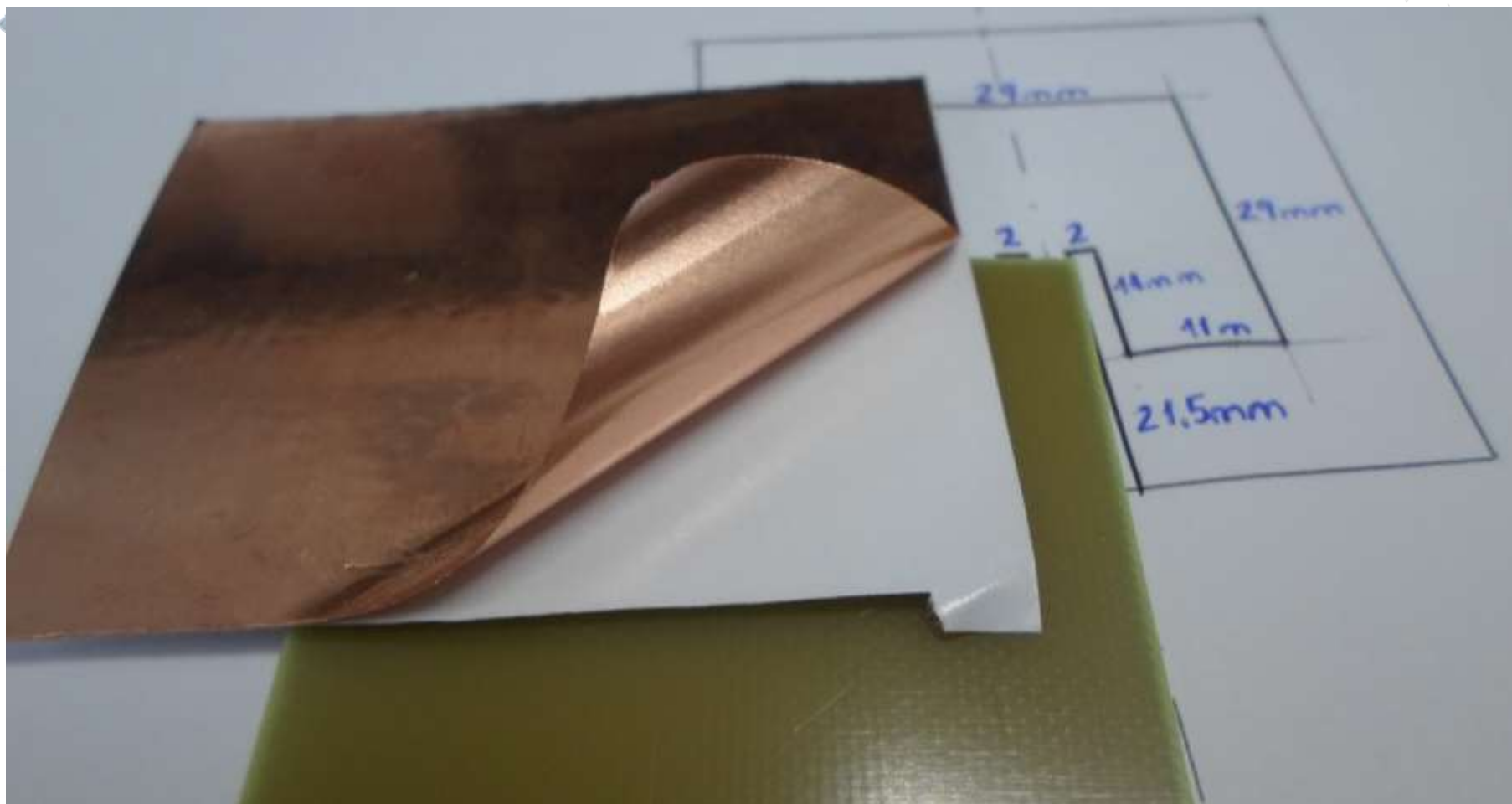
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



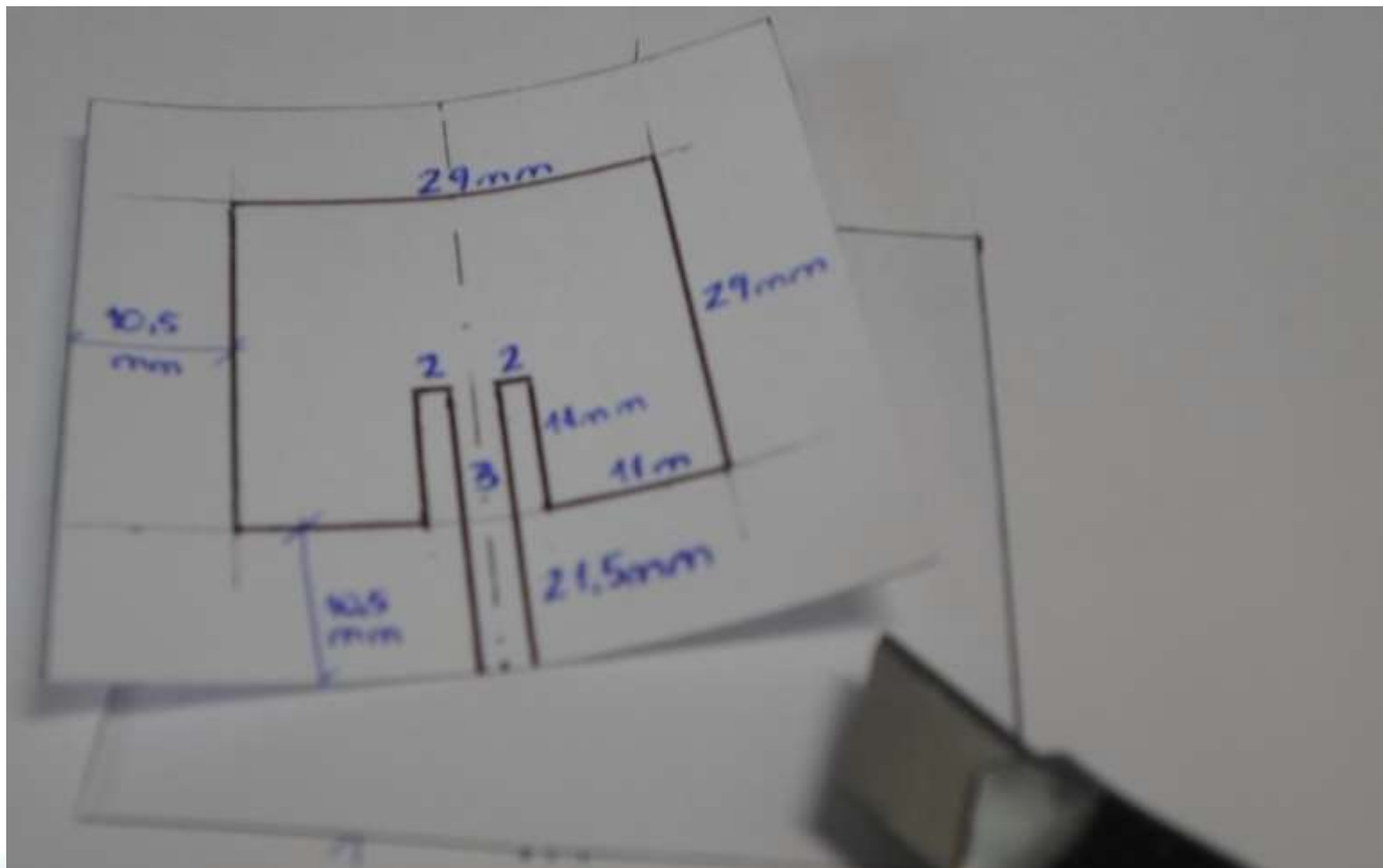
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



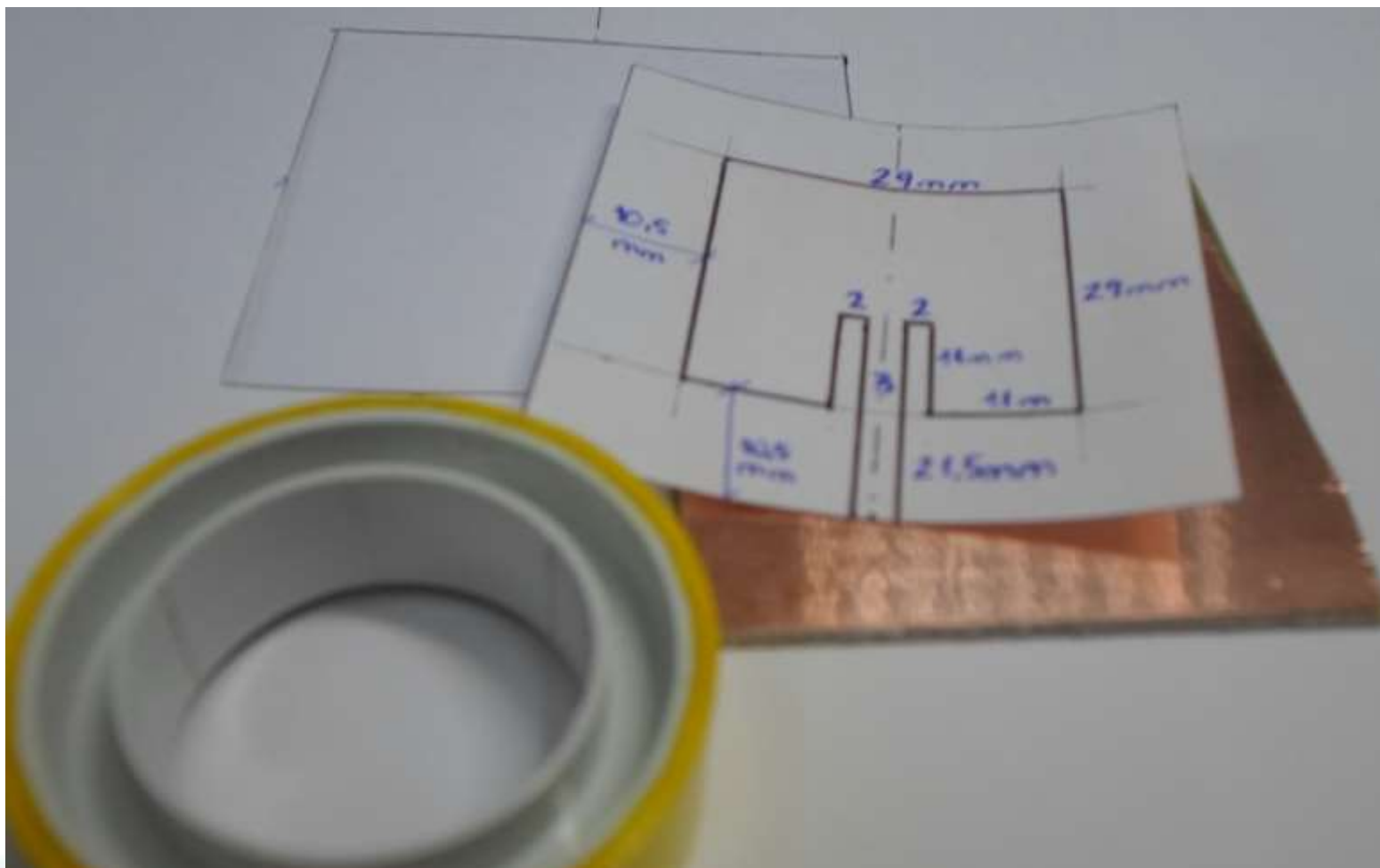
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



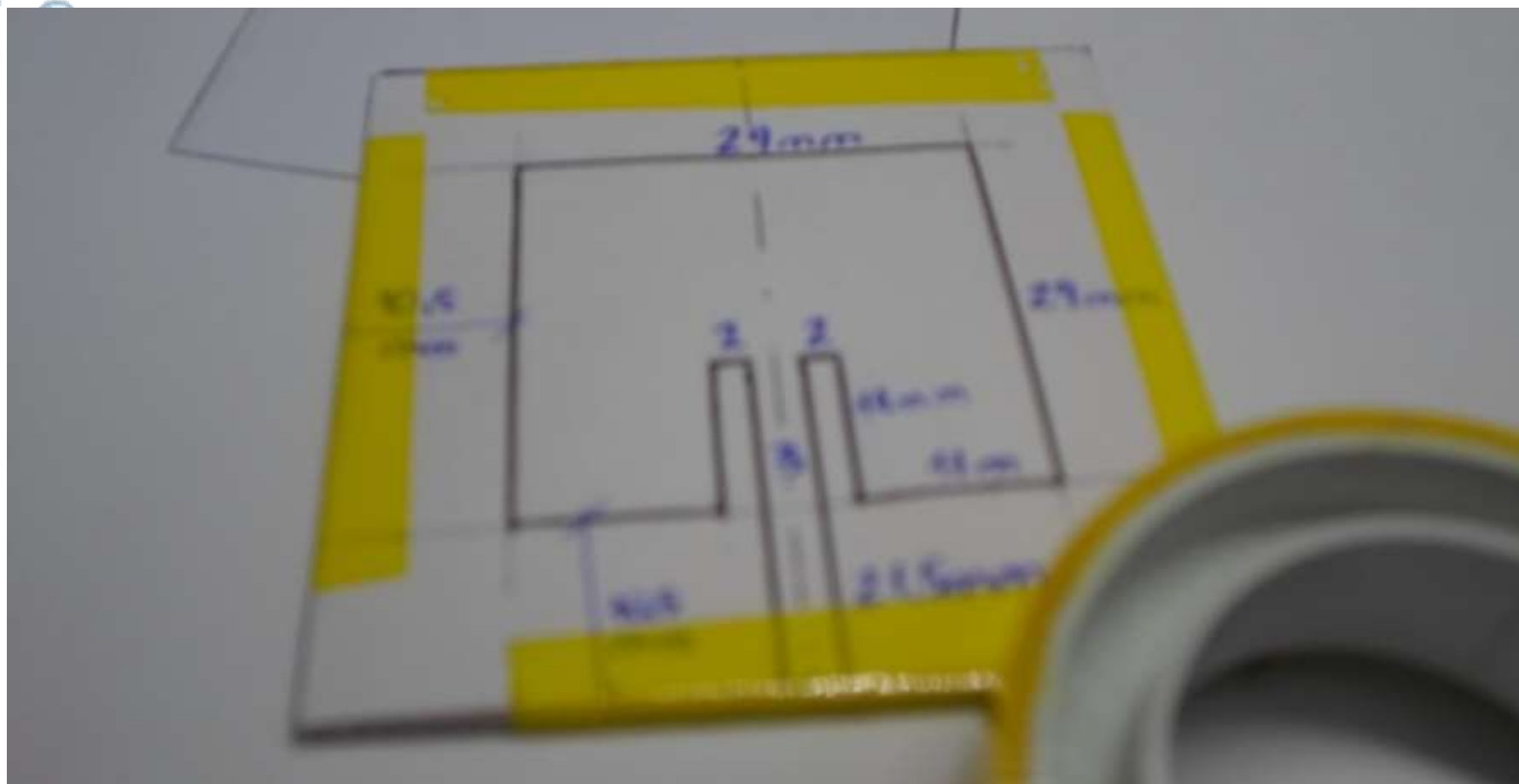
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



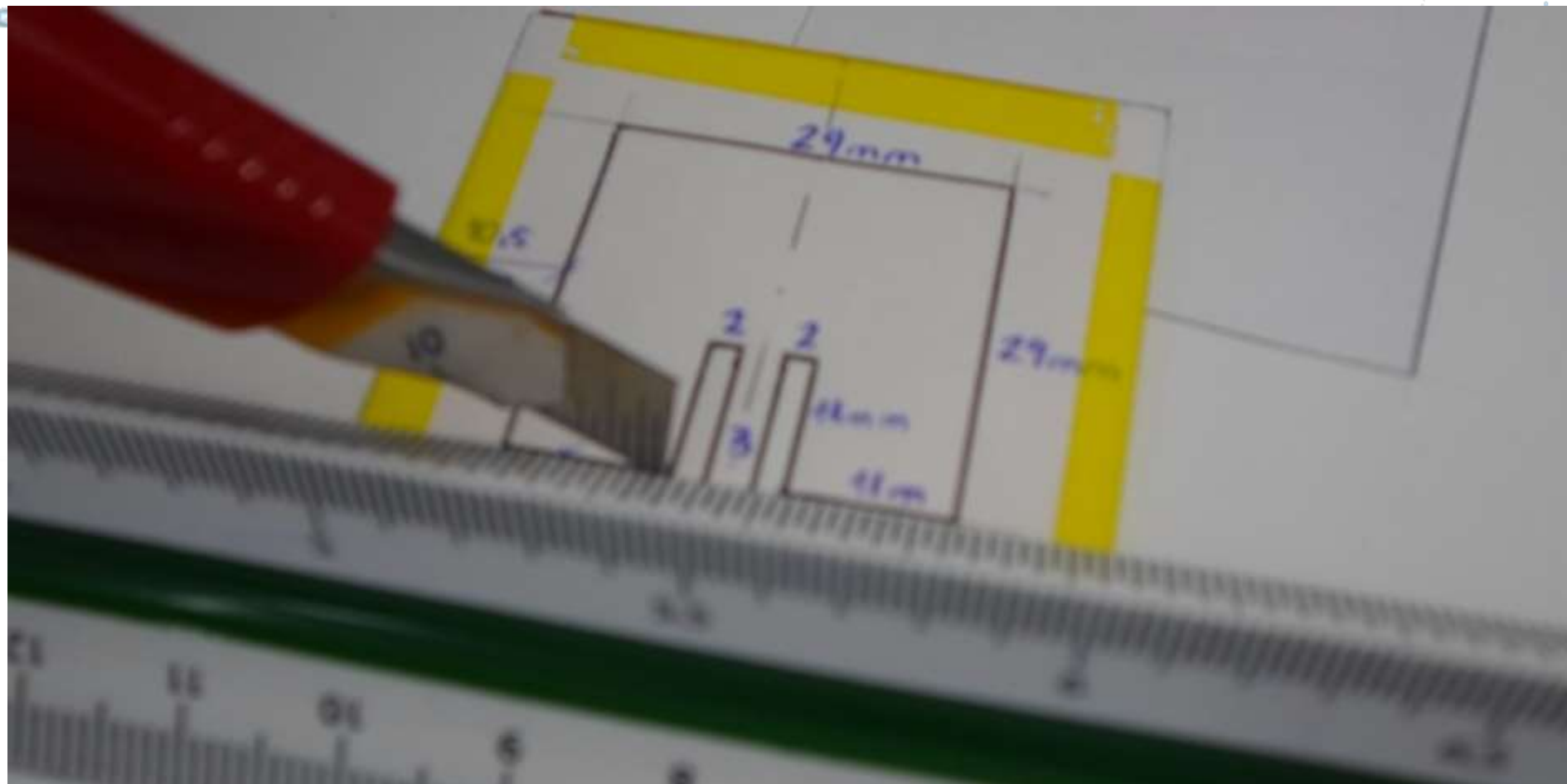
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



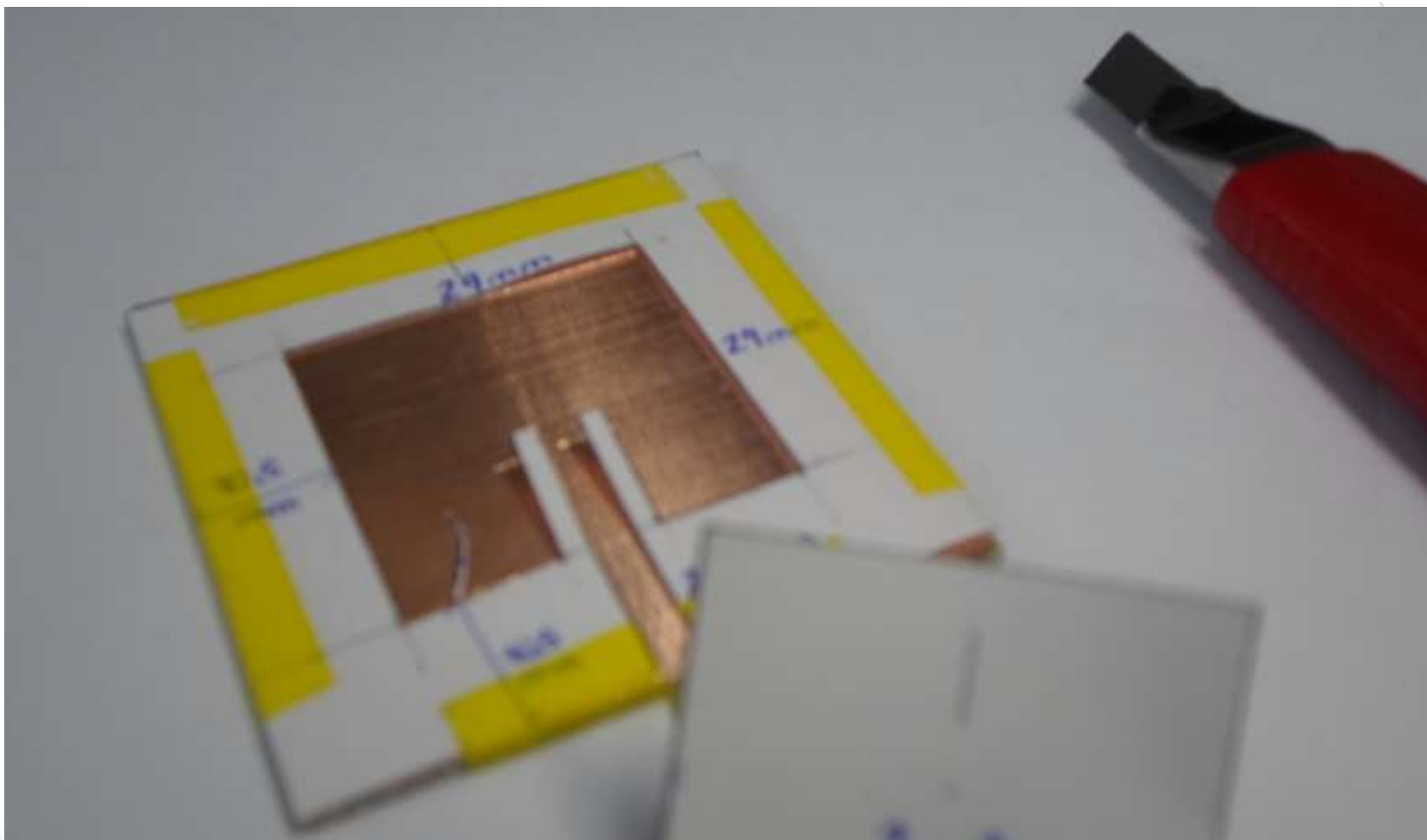
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



sbMax.org

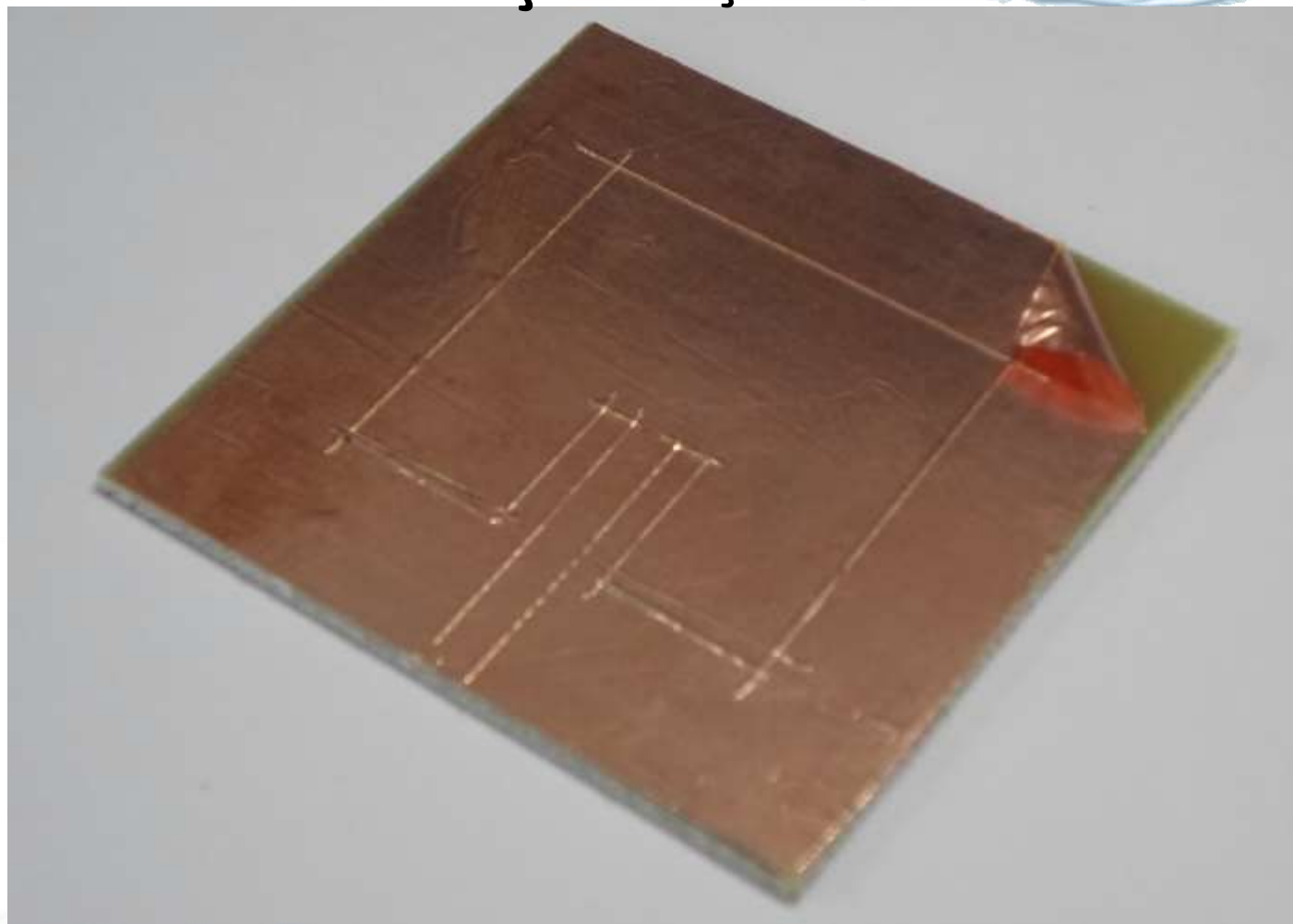


Modalidades de fabricação: Faça você mesmo





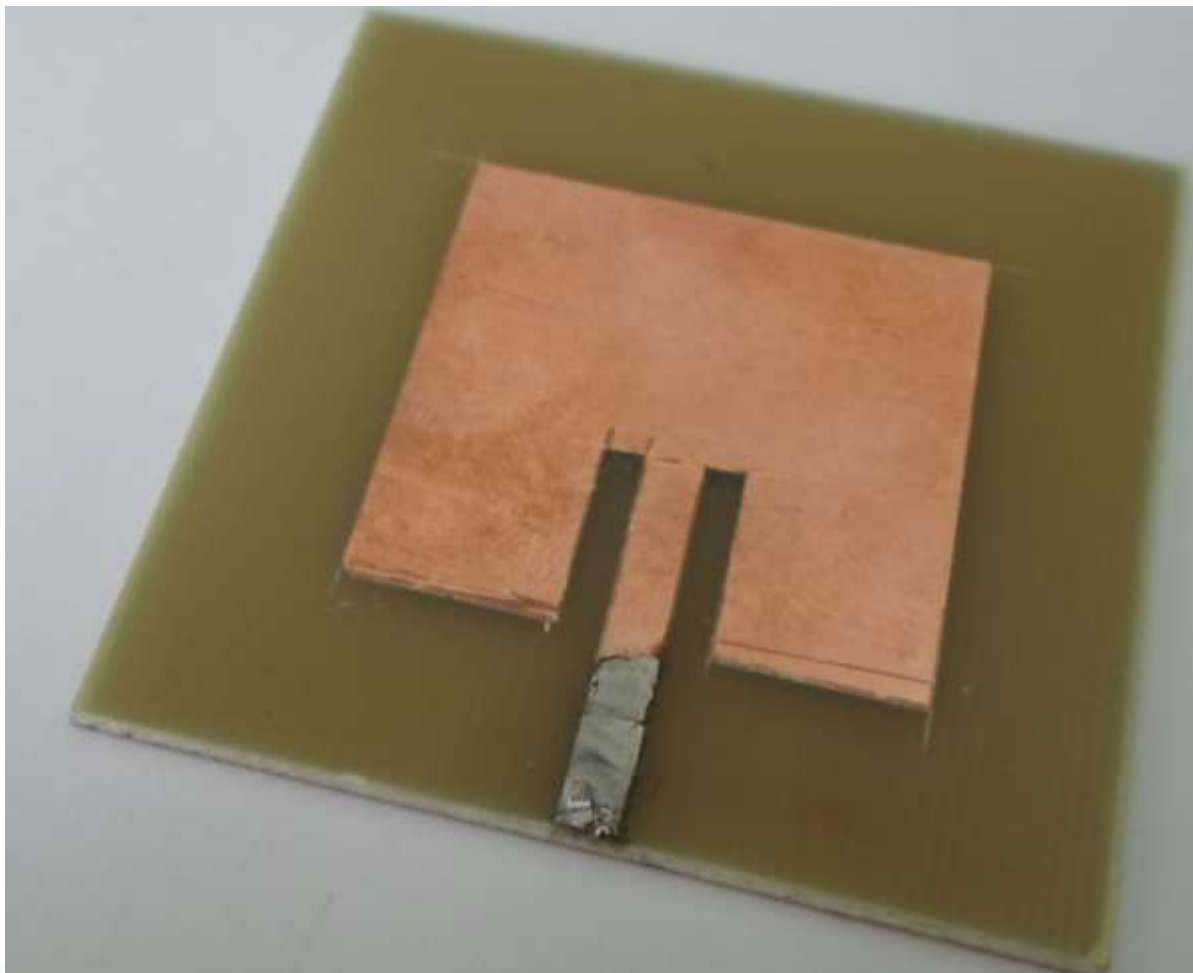
Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



Modalidades de fabricação: Faça você mesmo



www.LabMax.org



Instituto Federal de São Paulo
Laboratório Maxwell
Micro-ondas e Eletromagnetismo Aplicado
Certificado CNPq n° 5.497.663.866.471.659



LittleMax
e a luta contra o Câncer
Cerebral Infantil

Fomento a Pesquisa PRP do
IFSP via Edital n°. 823/2018



**Metodologia de Projeto de
Antena Patch Acessível**
Utilizando modelamento conceitual, numérico e empírico

www.LabMax.org

Outras formas de se projetar a Antena Patch

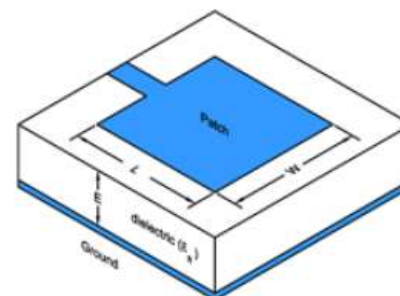
Dr. Alexandre Maniçoba de Oliveira



<https://www.pasternack.com/t-calculator-microstrip-ant.aspx>

www.LabMax.org

Dielectric Constant	4.3	
Dielectric Height:	1.6	Millimeters
Operation Frequency:	2.45	GHz
<input type="button" value="Calculate"/>		



Result:

Width: 37.58 mm
 Length: 29.14 mm

Projeto Online

$$Width = \frac{c}{2f_0\sqrt{\frac{\epsilon_R+1}{2}}}; \quad \epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_R+1}{2} + \frac{\epsilon_R-1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1+12\left(\frac{h}{W}\right)}} \right]$$

$$Length = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 0.824h \left(\frac{(\epsilon_{eff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{eff}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \right)$$



Qucs 0.0.19

Arquivo Editar Posicionamento Inserir Projeto Ferramentas Simulação Visualização Ajuda

Main Dock projeto impedancia antena patch.sch projeto impedancia antena patch.dpl

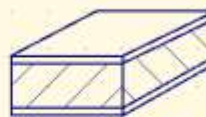
Projeto no QUCS

**simulação
do parametro S**


SPTC1
 Type=log
 Start=0.025 GHz
 Stop=3.3 GHz
 Points=5000

Equação
 Eqn1
 $S_{11_dB} = dB(S[1,1]) * 50$


FR4
 er=4.3
 h=1.6 mm
 t=2.54 um
 tand=0
 rho=2.43902e-08
 D=0




P1
 Num=1
 Z=50 Ohm




Microlinha
 Subst=FR4
 W=3 mm
 L=17.1575 mm



ANTENA
 Subst=FR4
 W=38.37 mm
 L=29.76 mm

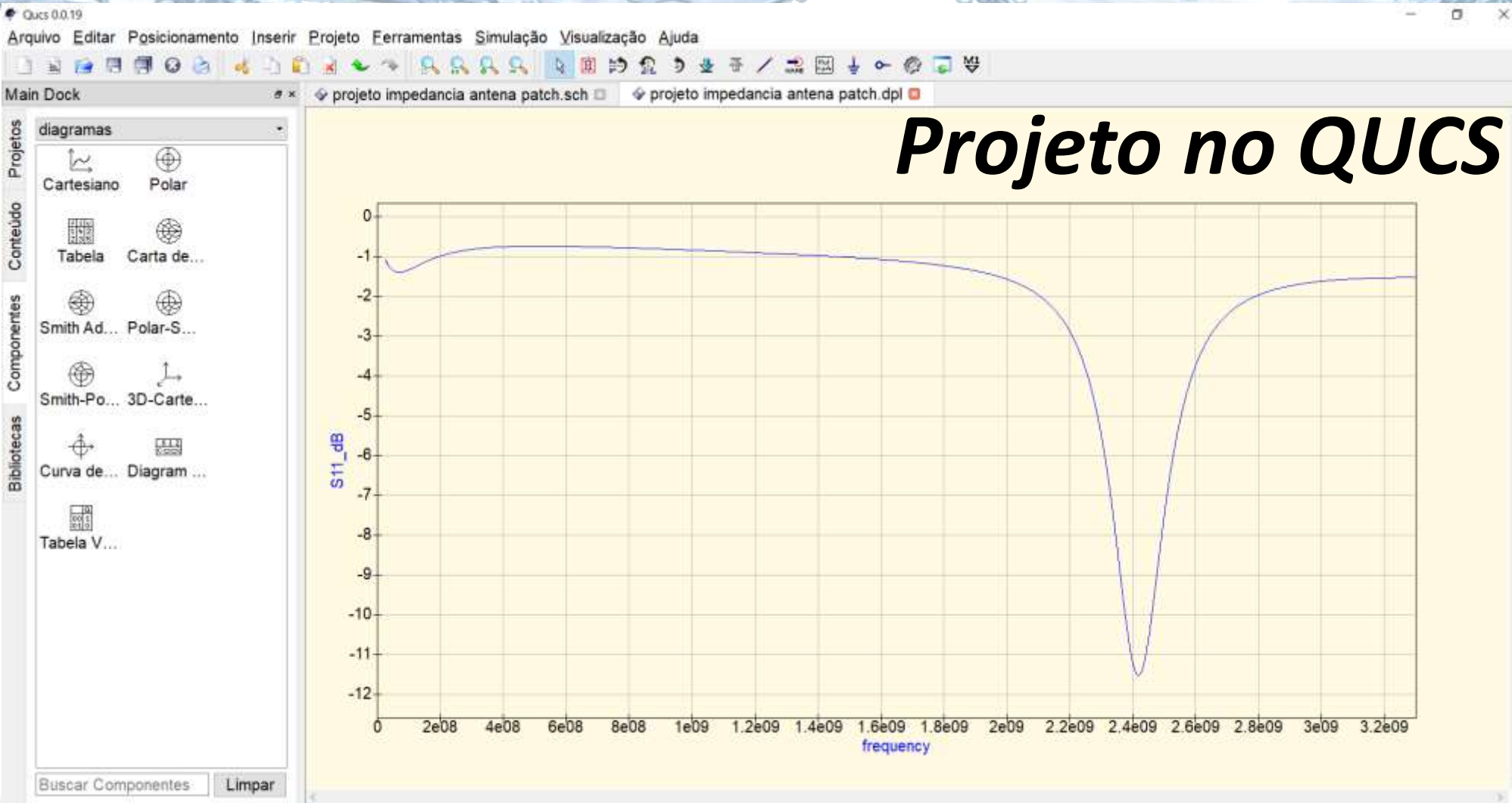


Terminal
 Subst=FR4
 W=38.37 mm



Buscar Componentes Limpar

www.LabMax.org



www.LabMax.org