

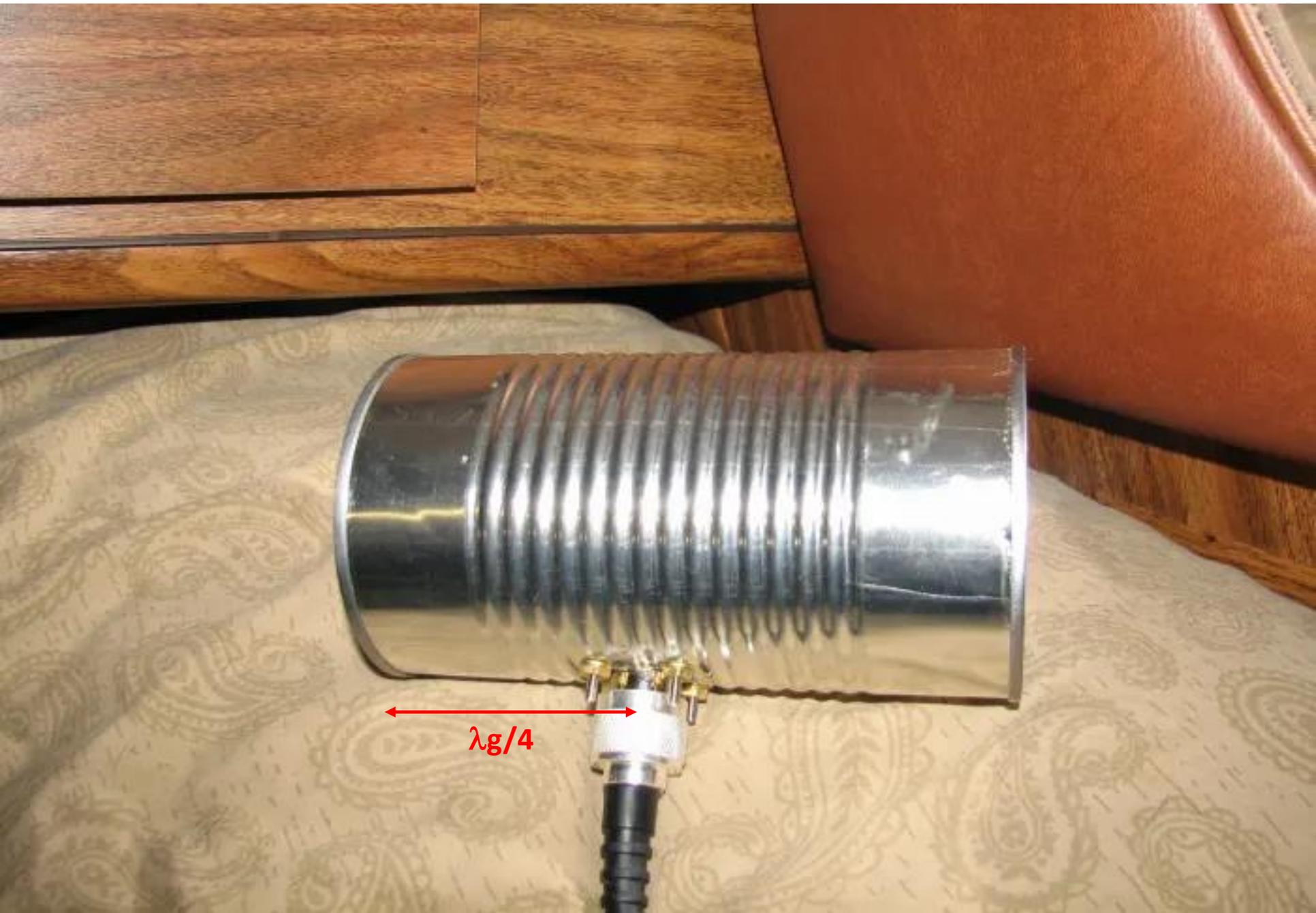
Cantenna 2.4 GHz – <https://discover.hubpages.com/technology/make-a-cantenna>



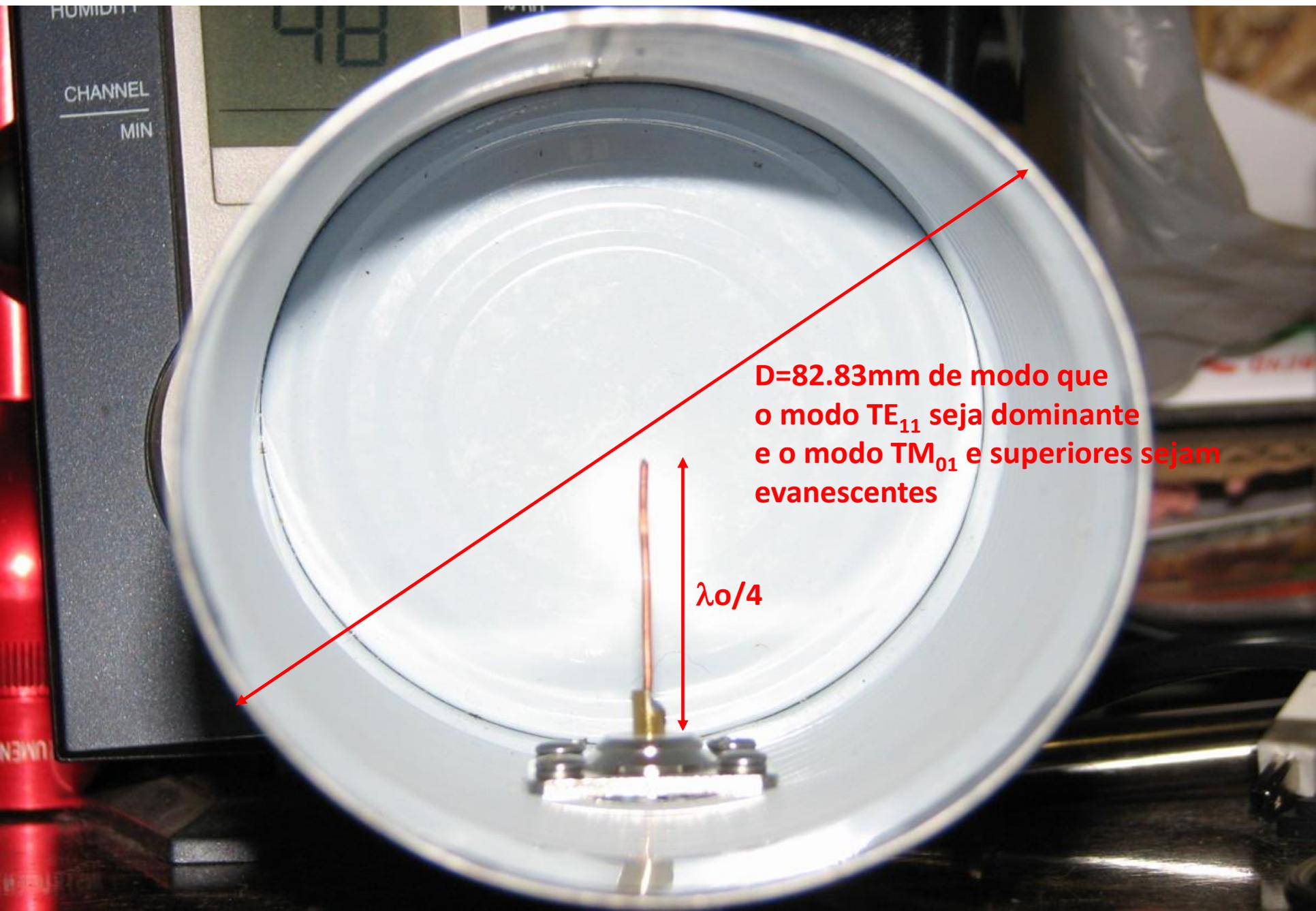
## Cantenna – material necessário:



# Cantenna – aspecto montagem final



# Cantenna – vista interna da GO



**D=82.83mm de modo que o modo  $TE_{11}$  seja dominante e o modo  $TM_{01}$  e superiores sejam evanescentes**

**$\lambda_0/4$**

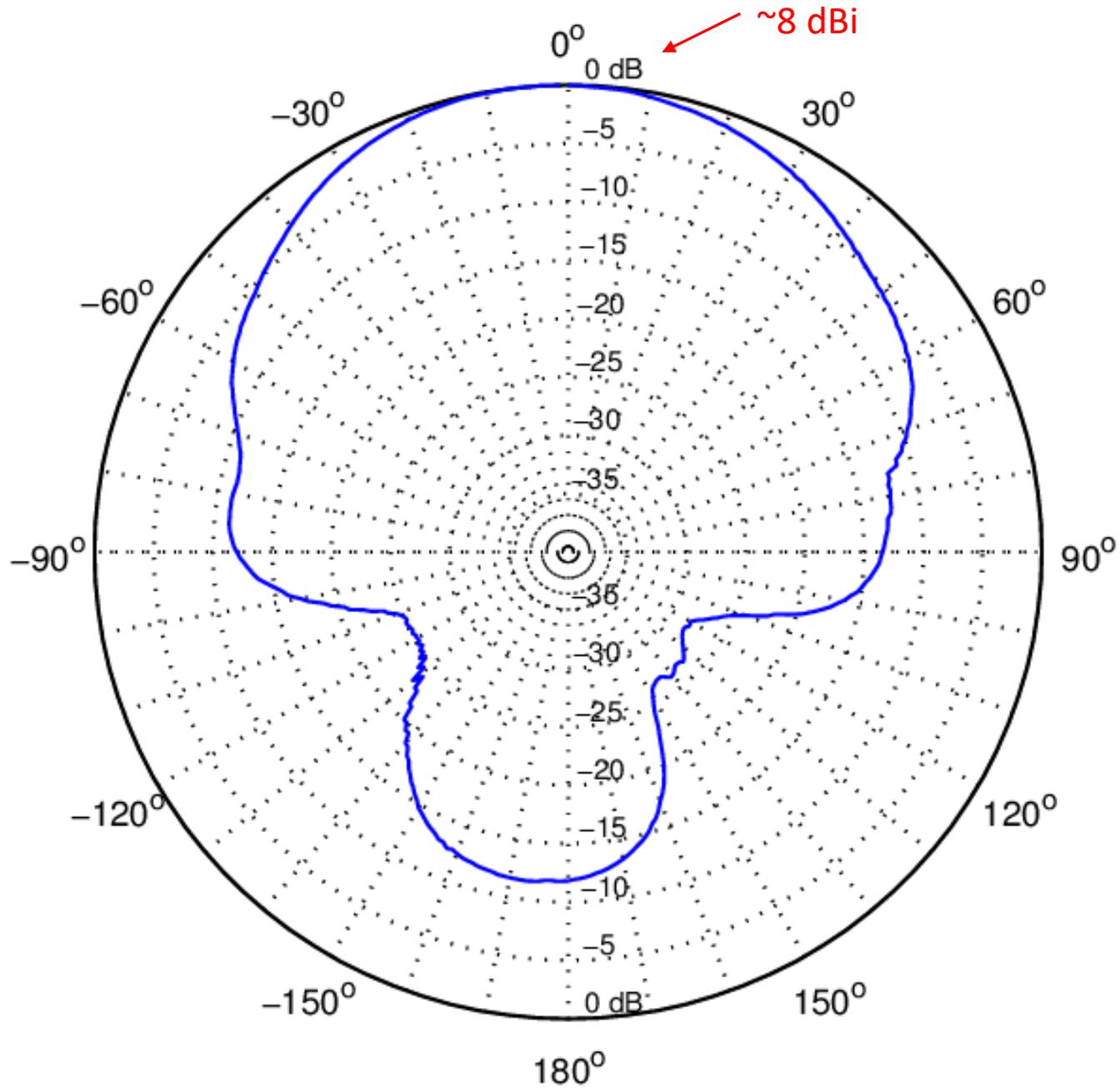
Cantenna – conector N



# Cantenna – montagem em tripé



# Antenna – diagrama de radiação azimutal



## Exemplo 1 (slide 50 do Cap V.7 de Ondas e Linhas de Transmissão)

$$\epsilon_0 := 8.854187817 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \rightarrow \text{permissividade elétrica do espaço livre}$$

$$\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \rightarrow \text{permeabilidade magnética do espaço livre}$$

$$\epsilon_r := 1 \rightarrow \text{permissividade elétrica relativa do meio de propagação da onda no interior da GO (no caso, o meio é o vácuo)}$$

$$a := \frac{82.83}{2} \text{mm} \rightarrow \text{raio da seção transversal da GO circular}$$

$$f := 2.4 \text{GHz} \rightarrow \text{frequência do sinal que excita a GO}$$

$$N := 2 \rightarrow \text{máximo valor dos índices } n \text{ e } m \text{ do número de ordem do modo}$$

$$k := 2\pi f \cdot \sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} = 50.3 \frac{\text{rad}}{\text{m}} \rightarrow \text{constante de propagação da onda EM caso a GO não tivesse paredes, conforme slide 38 do Cap VII}$$

$$\eta := \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} = 376.73 \Omega \rightarrow \text{impedância característica do meio de permeabilidade } \mu \text{ e permissividade } \epsilon \text{ no qual a onda EM se propaga no interior da GO, conforme slide 34 do Cap VII}$$

Construindo as tabelas das raízes pnm e pnm' mostradas respectivamente nos slides 42 e 41 do Cap VII:

$$i := 0..1 \quad n := 0..2$$

$$\text{rootJn}(n, x) := \text{root}(\text{Jn}(n, x), x)$$

$$\text{rootJn\_linha}(n, x) := \text{root}\left(\frac{d}{dx} \text{Jn}(n, x), x\right)$$

$$\text{pnm}_{n,0} := \text{rootJn}(n, 2 + n)$$

$$\text{pnm\_linha}_{n,0} := \text{rootJn\_linha}(n, 3)$$

$$\text{pnm}_{n,i+1} := \text{rootJn}(n, \text{pnm}_{n,i} + \pi)$$

$$\text{pnm\_linha}_{n,i+1} := \text{rootJn\_linha}(n, \text{pnm\_linha}_{n,i} + \pi)$$

	0	1	2	
pnm =	0	2.405	5.52	8.654
	1	3.832	7.016	10.173
	2	5.136	8.417	11.62

	0	1	2	
pnm\_linha =	0	3.832	7.016	10.173
	1	1.841	5.331	8.536
	2	3.054	6.706	9.969

$$\text{pnm} := \text{augment}\left[\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{pnm}\right]$$

	0	1	2	3	
pnm =	0	0	2.405	5.52	8.654
	1	0	3.832	7.016	10.173
	2	0	5.136	8.417	11.62

$$\text{pnm\_linha} := \text{augment}\left[\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{pnm\_linha}\right]$$

	0	1	2	3	
pnm\_linha =	0	0	3.832	7.016	10.173
	1	0	1.841	5.331	8.536
	2	0	3.054	6.706	9.969

(a) Da equação (5) do slide 41 e da equação (6) do slide 42 do Cap VII as frequências de corte dos modos TEnm e TMnm, para  $n := 0, 1..N$  e  $m := 1, 2..N + 1$ , são dadas por:

$$f_{c\_TE_{n,m}} := \frac{\text{pnm\_linha}_{n,m}}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot \sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}}$$

$$f_{c\_TM_{n,m}} := \frac{\text{pnm}_{n,m}}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot \sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}}$$

	0	1	2	3	
f <sub>c</sub> _TE =	0	0	4.414	8.083	11.721
	1	0	2.121	6.142	9.835
	2	0	3.519	7.726	11.486

	0	1	2	3	
f <sub>c</sub> _TM =	0	0	2.771	6.36	9.97
	1	0	4.414	8.083	11.721
	2	0	5.917	9.697	13.387

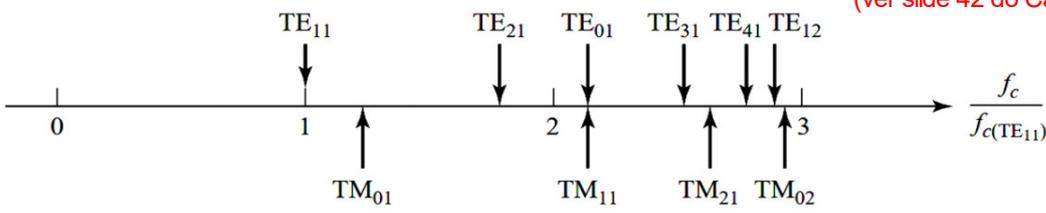
(b) Frequência de corte normalizada dos modos TE<sub>n</sub>m e TM<sub>n</sub>m, para n := 0, 1..N e m := 1, 2..N + 1:

$$\frac{f_c_{TE}}{f_c_{TE_{1,1}}} =$$

	0	1	2	3
0	0	2.081	3.81	5.526
1	0	1	2.896	4.636
2	0	1.659	3.642	5.415

**Nota 1:** Não há propagação da onda EM em qualquer modo TE<sub>n</sub>m em que m=0 (ver slide 41 do Cap VII).

**Nota 2:** Não há propagação da onda EM em qualquer modo TM<sub>n</sub>m em que m=0 (ver slide 42 do Cap VII).



$$\frac{f_c_{TM}}{f_c_{TE_{1,1}}} =$$

	0	1	2	3
0	0	1.306	2.998	4.7
1	0	2.081	3.81	5.526
2	0	2.789	4.572	6.311

Os valores das frequências de corte normalizadas obtidas numericamente são consistentes com o gráfico do slide 47.

(c) Do slide 39 do Cap VII, as constantes de propagação kc [rad/cm] da onda EM nas frequências de corte dos modos TE<sub>n</sub>m e TM<sub>n</sub>m, para n := 0, 1..N e m := 1, 2..N + 1, são dadas por:

$$kc_{TE_{n,m}} := \frac{pnm\_linha_{n,m}}{a} \quad kc_{TM_{n,m}} := \frac{pnm_{n,m}}{a}$$

$$kc_{TE} =$$

	0	1	2	3
0	0	0.925	1.694	2.456
1	0	0.445	1.287	2.061
2	0	0.737	1.619	2.407

$$kc_{TM} =$$

	0	1	2	3
0	0	0.581	1.333	2.09
1	0	0.925	1.694	2.456
2	0	1.24	2.032	2.806

(d) Do slide 40 do Cap VII, as constantes de propagação β [rad/cm] da onda EM guiada que se propaga no interior da GO nos modos TE<sub>n</sub>m e TM<sub>n</sub>m, para n := 0, 1..N e m := 1, 2..N + 1, são dadas por:

$$\beta_{TE_{n,m}} := \sqrt{k^2 - (kc_{TE_{n,m}})^2} \quad \beta_{TM_{n,m}} := \sqrt{k^2 - (kc_{TM_{n,m}})^2}$$

$$\beta_{TE} =$$

	0	1	2	3
0	0	0.777i	1.618i	2.404i
1	0	0.235	1.185i	1.999i
2	0	0.539i	1.539i	2.354i

$$\beta_{TM} =$$

	0	1	2	3
0	0	0.29i	1.234i	2.028i
1	0	0.777i	1.618i	2.404i
2	0	1.133i	1.969i	2.76i

Do slide 21 do Cap VII, as constantes de propagação β [rad/cm] da onda EM guiada que resultam em valor imaginário nas matrizes β<sub>TE</sub> e β<sub>TM</sub> acima são aquelas que correspondem a modos TE<sub>n</sub>m e TM<sub>n</sub>m que não se propagam na GO para uma frequência f = 2.4 GHz do sinal que excita a GO e, por esta razão, são denominados de **modos evanescentes**.

(e) Do slide 40 do Cap VII, o comprimento de onda λc [cm] da onda EM nas frequências de corte dos modos TE<sub>n</sub>m e TM<sub>n</sub>m, para n := 0, 1..N e m := 1, 2..N + 1, são dadas por:

$$\lambda_{c_{TE_{n,m}}} := \text{if} \left( kc_{TE_{n,m}} \neq 0, \frac{2\pi}{kc_{TE_{n,m}}}, \infty \cdot \text{cm} \right) \quad \lambda_{c_{TM_{n,m}}} := \text{if} \left( kc_{TM_{n,m}} \neq 0, \frac{2\pi}{kc_{TM_{n,m}}}, \infty \cdot \text{cm} \right)$$

$$\lambda_{c_{TE}} =$$

	0	1	2	3
0	0	6.791	3.709	2.558
1	0	14.133	4.881	3.048
2	0	8.52	3.88	2.61

$$\lambda_{c_{TM}} =$$

	0	1	2	3
0	0	10.821	4.714	3.007
1	0	6.791	3.709	2.558
2	0	5.067	3.091	2.239

(f) Do slide 40 do Cap VII, o comprimento de onda  $\lambda_g$  [cm] da onda EM guiada que se propaga no interior da GO nos modos  $TE_{nm}$  e  $TM_{nm}$ , para  $n := 0, 1..N$  e  $m := 1, 2..N + 1$ , são dadas por:

$$\lambda_{g\_TE_{n,m}} := \frac{2 \cdot \pi}{\beta_{TE_{n,m}}} \qquad \lambda_{g\_TM_{n,m}} := \frac{2 \cdot \pi}{\beta_{TM_{n,m}}}$$

	0	1	2	3
$\lambda_{g\_TE} =$	0	-8.091i	-3.884i	-2.613i
	1	26.702	-5.302i	-3.143i
	2	-11.65i	-4.082i	-2.669i

·cm

	0	1	2	3
$\lambda_{g\_TM} =$	0	-21.658i	-5.09i	-3.098i
	1	0	-8.091i	-3.884i
	2	0	-5.543i	-3.191i

·cm

Os comprimentos de onda  $\lambda_g$  [cm] da onda EM guiada que resultam em **valor imaginário** nas matrizes  $\lambda_{g\_TE}$  e  $\lambda_{g\_TM}$  acima são aquelas que correspondem a modos  $TE_{nm}$  e  $TM_{nm}$  evanescentes, i.e., modos que não se propagam na frequência  $f = 2.4\text{GHz}$  do sinal que excita a GO.

(g) Do slide 46 do Cap VII, as impedâncias de onda da onda EM guiada que se propaga no interior da GO nos modos  $TE_{nm}$ , para  $n := 0, 1..N$  e  $m := 1, 2..N + 1$ , são dadas por:

$$ZTE_{n,m} := \frac{\eta \cdot k}{\beta_{TE_{n,m}}} \qquad ZTE =$$

	0	1	2	3
0	0	-244.034i	-117.149i	-78.812i
1	0	805.311	-159.915i	-94.803i
2	0	-351.37i	-123.118i	-80.497i

 $\Omega$

As impedâncias de onda que resultam em **valor imaginário** na matriz  $ZTE$  acima são aquelas que correspondem a modos  $TE_{nm}$  evanescentes, i.e., modos que não se propagam na frequência  $f = 2.4\text{GHz}$  do sinal que excita a GO.

(h) Do slide 46 do Cap VII, as impedâncias de onda da onda EM guiada que se propaga no interior da GO nos modos  $TM_{nm}$ , para  $n := 0, 1..N$  e  $m := 1, 2..N + 1$ , são dadas por:

$$ZTM_{n,m} := \frac{\eta \cdot \beta_{TM_{n,m}}}{k} \qquad ZTM =$$

	0	1	2	3
0	0	217.277i	924.454i	1.519i · 10 <sup>3</sup>
1	0	581.582i	1.211i · 10 <sup>3</sup>	1.801i · 10 <sup>3</sup>
2	0	848.904i	1.475i · 10 <sup>3</sup>	2.067i · 10 <sup>3</sup>

 $\Omega$

As impedâncias de onda que resultam em **valor imaginário** na matriz  $ZTM$  acima são aquelas que correspondem a modos  $TM_{nm}$  evanescentes, i.e., modos que não se propagam na frequência  $f = 2.4\text{GHz}$  do sinal que excita a GO.