



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA
SEMESTRE 2024.2

Grupo 1 - Projeto da Antena Espiral

ALUNOS:

- João Vitor de Oliveira Fraga - 537377
- Abraão de Carvalho Albuquerque - 538286
- Erik Ray Barbosa Falcão - 567761
- Orleans Cardoso Viana Gomes - 433453
- Thiago Silva Mascarenhas Moraes - 538943

CURSO: Engenharia de Telecomunicações

PROFESSOR: Sérgio Antenor de Carvalho

DISCIPLINA: TI0065 - Antenas

Sumário

1	Introdução	3
2	Fundamentação Teórica	3
2.1	Polarização e Diretividade	5
2.2	Impedância Característica	6
2.3	Aplicações Práticas	6
3	Projeto da Antena	7
3.1	Antena Simulada	7
3.2	Antena Prática	7
4	Resultados	8
4.1	Antena Simulada	8
4.2	Antena Experimental	10
5	Conclusão	13
6	Códigos	15

1 Introdução

Desde a década de 1950, as antenas independentes de frequência, caracterizadas por uma geometria definida por ângulos, têm sido amplamente investigadas devido à sua capacidade de manter características como impedância, diagrama de radiação e polarização invariantes em uma ampla faixa de frequências. Inicialmente concebidas como estruturas infinitas, observou-se que o comportamento da corrente ao longo da antena permite o truncamento da geometria, definindo dimensões úteis e delimitando a frequência inferior de operação. Essas antenas, como as espirais equiangulares e log-periódicas, possuem aplicações significativas em comunicações e sensores devido à sua banda passante ampla, que pode atingir proporções de 40:1.

Este trabalho tem como objetivo projetar, simular e construir uma antena espiral equiangular, analisando seu desempenho em termos de padrão de radiação, impedância e banda passante. A metodologia adotada inclui revisão bibliográfica, simulações computacionais, desenvolvimento de protótipos e testes experimentais, permitindo uma análise comparativa dos resultados. A relevância do estudo está na crescente demanda por sistemas de comunicação eficientes e flexíveis, sendo as antenas espirais uma solução promissora devido à sua natureza independente de frequência.

O trabalho está organizado em capítulos que abordam a fundamentação teórica, aplicações das antenas espirais, projeto, resultados de simulação e experimentais, conclusões e os códigos utilizados. Esse formato busca oferecer uma visão abrangente sobre o tema e suas contribuições teóricas e práticas para o avanço tecnológico.

2 Fundamentação Teórica

As antenas espirais equiangulares são conhecidas por sua independência de frequência, uma propriedade garantida pela geometria definida por ângulos. Essa característica permite que parâmetros como impedância, diagrama de radiação e polarização permaneçam inalterados em uma ampla faixa de frequências. A curva espiral é definida matematicamente como:

$$r = r_0 e^{a\phi}, \quad (1)$$

onde:

- r_0 é o raio inicial,
- a é a constante de expansão da espiral,
- ϕ é o ângulo polar.

A frequência mínima de operação ocorre quando o comprimento total do braço da espiral é comparável ao comprimento de onda. O comprimento do braço pode ser expresso por:

$$L = \int_{\rho_0}^{\rho_1} \sqrt{1 + \left(\frac{d\rho}{d\phi}\right)^2} d\phi, \quad (2)$$

que, utilizando a equação da espiral, reduz-se a:

$$L = (\rho_1 - \rho_0) \sqrt{1 + \frac{1}{a^2}}, \quad (3)$$

onde ρ_0 e ρ_1 representam os raios interno e externo da espiral.

Além disso, a taxa de expansão da espiral, dada por $1/a$, define o ângulo entre a distância radial ρ e a tangente à espiral:

$$\phi = \frac{1}{a} \ln\left(\frac{\rho}{A}\right), \quad (4)$$

sendo A uma constante relacionada à geometria.

As configurações geométricas das antenas espirais incluem arranjos com múltiplos braços, como os mostrados na Fig. 1. Essas variações permitem ajustes no padrão de radiação e na eficiência de operação.

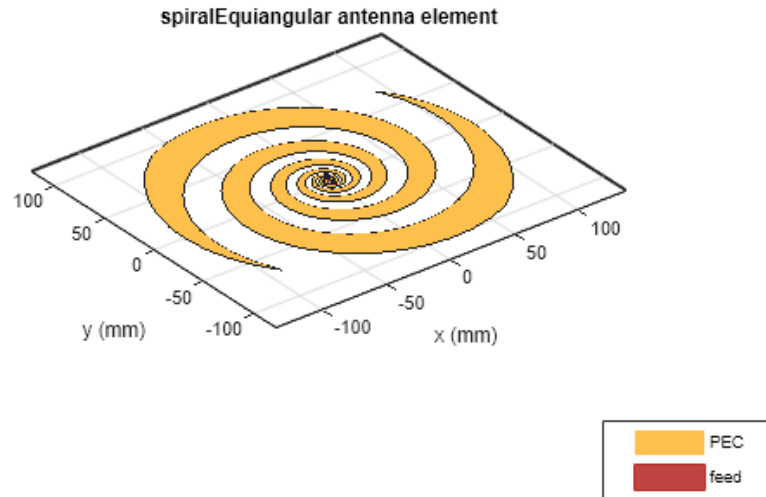


Figura 1: Estrutura Antena Espiral.

2.1 Polarização e Diretividade

Uma das principais características das antenas espirais equiangulares é sua **polarização circular**, que pode ser:

- **RHCP (Right Hand Circular Polarization)** - Polarização circular à direita.
- **LHCP (Left Hand Circular Polarization)** - Polarização circular à esquerda.

A diretividade da antena pode ser controlada pelo **tamanho da espiral** e pela **presença de um plano refletor**. Existem dois principais modos de operação:

- **Modo axial:** Quando a antena opera com um plano refletor, gerando um padrão direcional ao longo do eixo normal à espiral.
- **Modo normal:** Quando a radiação ocorre no próprio plano da antena, apresentando um padrão de radiação mais difuso.

2.2 Impedância Característica

A impedância característica pode ser aproximada por:

$$Z_{in} \approx \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right), \quad (5)$$

onde:

- Z_{in} é a impedância de entrada,
- ϵ_r é a permissividade relativa do meio,
- ρ_0 e ρ_1 são os raios interno e externo da espiral.

2.3 Aplicações Práticas

As antenas espirais são amplamente utilizadas em diversas áreas devido à sua operação em banda larga e polarização circular:

- **Radares de vigilância:** Melhoram a recepção de sinais refletidos por alvos móveis.
- **Sistemas de comunicação via satélite:** Operam em múltiplas bandas de frequência.
- **Radioastronomia:** Captam sinais de fontes astronômicas no espaço profundo.
- **Sistemas de guerra eletrônica (EW):** Identificam emissões em diversas frequências.

Logo, a geometria da antena espiral equiangular garante sua robustez, estabilidade de impedância e padrões de radiação controláveis. Sua polarização circular e sua capacidade de operar em larga faixa de frequências fazem com que seja uma das antenas mais utilizadas em sistemas modernos de comunicação.

3 Projeto da Antena

3.1 Antena Simulada

O projeto da antena espiral de Arquimedes foi realizado utilizando a *Antenna Toolbox* do MATLAB, com uma frequência central de 1.5 GHz. Esse tipo de antena é conhecido por sua operação em banda larga e polarização circular, sendo amplamente utilizado em aplicações como radares, comunicação via satélite e guerra eletrônica.

Tabela 1: Parâmetros do Projeto da Antena Espiral

Parâmetro	Valor
Tipo de Antena	Espiral de Arquimedes
Frequência Central (f_c)	1.5 GHz
Faixa de Frequências Analisada	1.0 GHz – 2.0 GHz
Impedância de Referência	50 Ω

3.2 Antena Prática

Para construir a antena utilizamos impressão em placa de cobre, utilizando papel couche e ferro de passar roupa.

Além disso temos como mostrado na Fig 2, suas dimensões são $x \times x$, onde $x = 10$ cm.

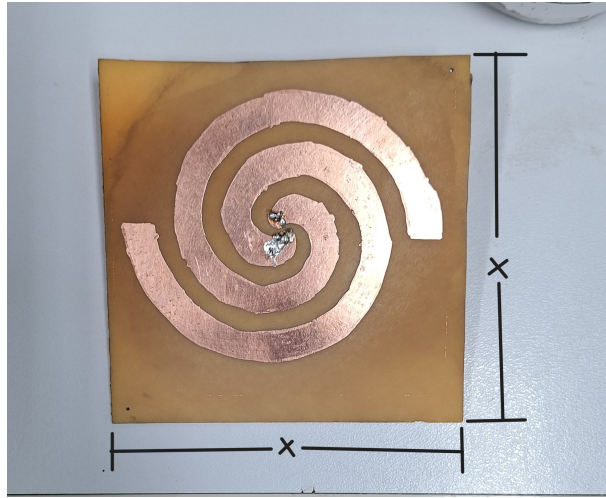


Figura 2: Arquitetura da Antena Espiral

4 Resultados

4.1 Antena Simulada

A Fig. 3 apresenta o diagrama tridimensional de diretividade da antena espiral para uma frequência de 1.5 GHz. Observa-se que a antena possui um padrão de radiação bidirecional, com os principais lóbulos concentrados ao longo do eixo z . A escala de cores indica que a máxima diretividade ocorre nas regiões vermelhas e amarelas, enquanto a mínima ocorre nas regiões azuladas.

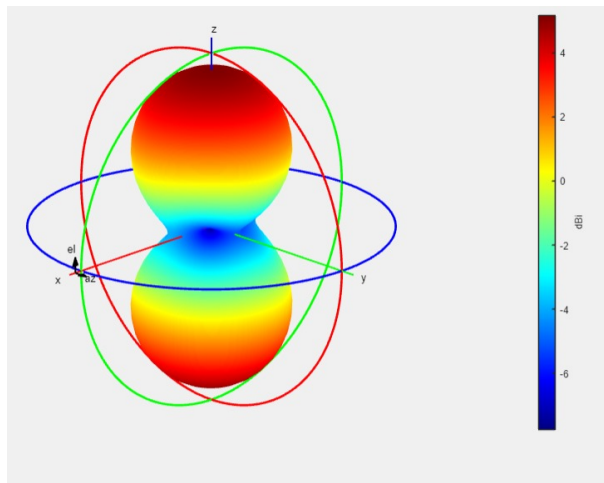


Figura 3: Diretividade 3D.

A Fig. 4 exibe o diagrama polar da diretividade da antena no plano azimutal. Observa-

se que a diretividade varia entre aproximadamente -8 dBi e 1 dBi, indicando a presença de múltiplos lóbulos. Esse comportamento é característico de antenas espirais, que possuem um padrão de radiação dependente da frequência e podem ser usadas em aplicações de comunicações de banda larga.

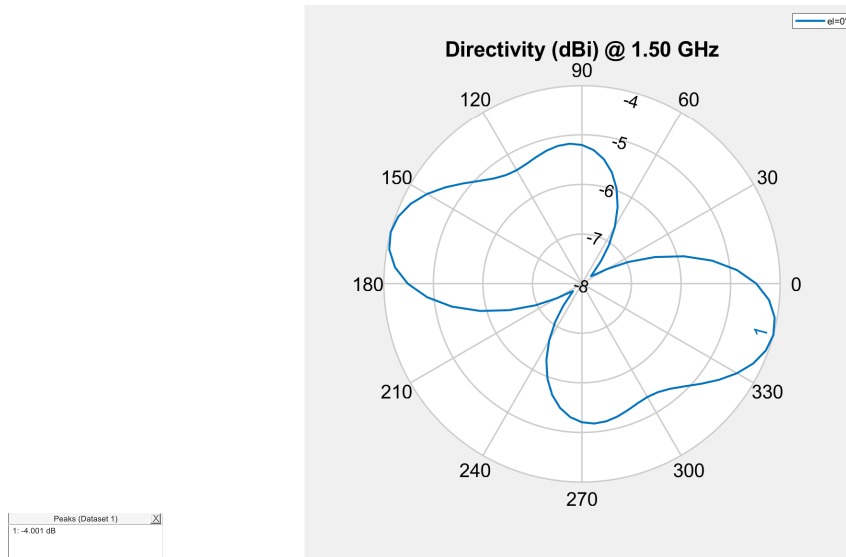


Figura 4: Diretividade Plano Azimutal.

A Fig. 5 exibe o diagrama polar da diretividade da antena no plano de elevação. Observa-se que a diretividade varia entre aproximadamente -4 dBi e 6 dBi, apresentando um padrão de radiação característico de antenas espirais. Nota-se a presença de dois lóbulos principais simétricos em relação ao eixo da antena, indicando um comportamento direcional com radiação predominante em duas direções opostas. Esse padrão é típico de antenas espirais operando em banda larga e pode ser explorado para aplicações em comunicações de ampla cobertura.

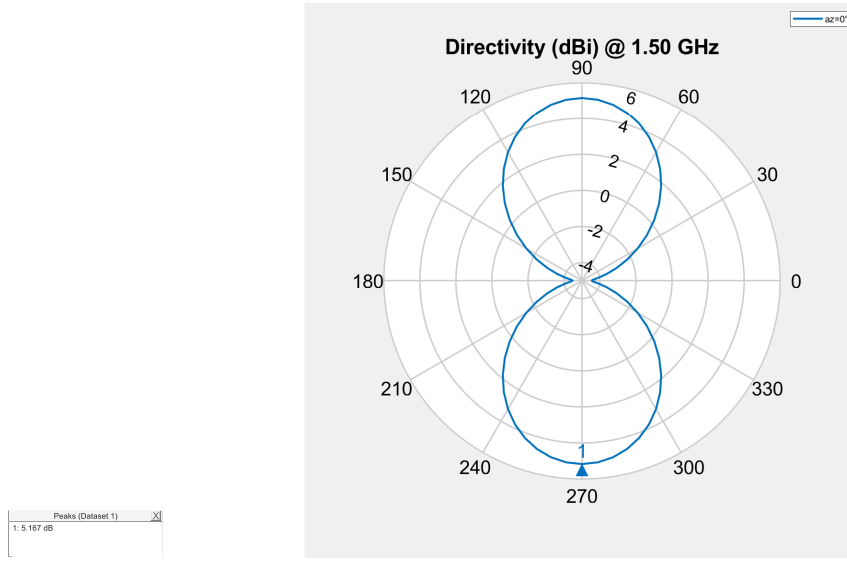


Figura 5: Diretividade Plano de Elevação.

4.2 Antena Experimental

Os diagramas de radiação podem ser representados nos planos de **elevação** e **azimutal**, que correspondem ao corte do padrão de radiação para diferentes ângulos. O **plano de elevação** (XZ ou YZ) mostra a variação do campo em função do ângulo θ (0° a 180°), enquanto o **plano azimutal** (XY) exibe a variação em função de ϕ (0° a 360°).

Para a antena espiral em teste, os planos **E** e **H** seguem a definição convencional:

- O **Plano E** contém o vetor do campo elétrico e coincide com o **plano de elevação**.
- O **Plano H** contém o vetor do campo magnético e coincide com o **plano azimutal**.

Dessa forma, os diagramas de radiação apresentados no plano de elevação (θ) representam o comportamento no **Plano E**, enquanto aqueles no plano azimutal (ϕ) representam o **Plano H**.

Analisando agora os resultados obtidos no laboratório ficamos com as seguintes análises para cada plano.

Para o plano **E**, ficamos com a Fig. 6, que é o arranjo utilizado para medir os valores.

A Fig. 7 apresenta o diagrama polar da diretividade da antena dipolo operando a 500

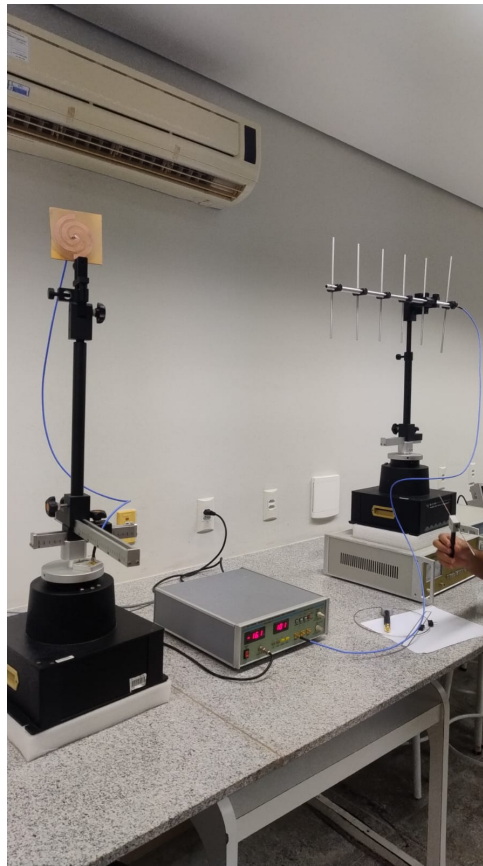


Figura 6: Arranjo Plano **E**.

MHz no **plano E**. Observa-se que a diretividade varia aproximadamente entre -25 dB e 5 dB, exibindo um padrão característico de radiação dipolar. Esse comportamento é esperado, pois o plano E contém o vetor do campo elétrico da onda irradiada, mostrando a variação angular da diretividade no plano de elevação. A presença de pequenas flutuações na curva pode ser atribuída a reflexões do ambiente de medição ou imperfeições estruturais da antena.

Já para o plano **H**, ficamos com a Fig. 8, que é o arranjo utilizado para medir os valores.

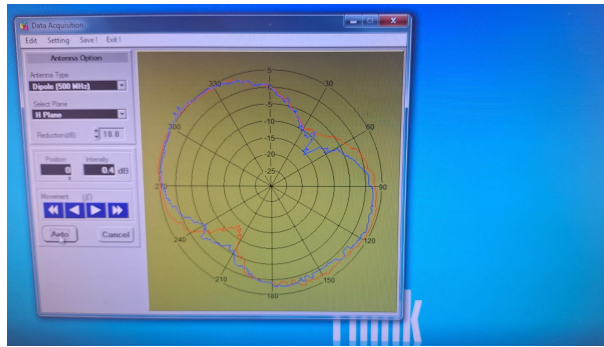


Figura 7: Diagrama de Radiação Plano **E**.



Figura 8: Arranjo Plano **H**.

A Fig. 9 apresenta o diagrama polar da diretividade da antena dipolo operando a 500 MHz no **plano H**. Observa-se que a diretividade varia aproximadamente entre -25 dB e 5 dB, exibindo um padrão de radiação característico de antenas dipolo, que tendem a irradiar de forma omnidirecional nesse plano. Pequenas flutuações na resposta podem ser atribuídas a reflexões do ambiente de teste ou imperfeições no sistema de medição. Esse comportamento confirma que a antena apresenta uma distribuição de radiação relativamente uniforme ao longo do plano azimutal, como esperado para um dipolo.

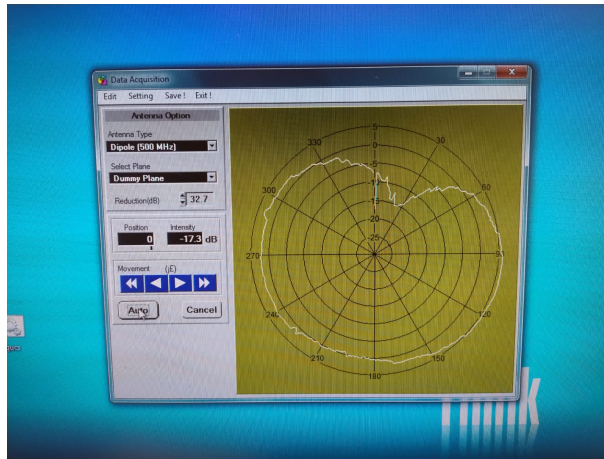


Figura 9: Diagrama de Radiação Plano H.

5 Conclusão

Os diagramas de radiação obtidos experimentalmente apresentam diferenças em relação aos resultados teóricos esperados para a antenna analisada. Essas discrepâncias podem ser atribuídas a diversos fatores práticos que influenciam a medição, incluindo:

- **Reflexões e Interferências:** No ambiente de medição, ondas refletidas em superfícies próximas podem interferir com a radiação direta da antenna, alterando a forma do diagrama polar.
- **Efeitos de Acoplamento e Estruturas de Suporte:** A presença de suportes mecânicos, conectores e até mesmo a plataforma de teste pode modificar o padrão de radiação real da antenna, desviando-se do comportamento idealizado.
- **Imprecisões na Medição:** Pequenas variações nos instrumentos de medição, alinhamento da antenna e precisão dos sensores podem introduzir discrepâncias nos valores absolutos da diretividade.
- **Variações nos Parâmetros Físicos da Antenna:** Em uma implementação prática, imperfeições na construção da antenna podem afetar a impedância, o acoplamento e a distribuição da corrente na estrutura, resultando em pequenas deformações no padrão de radiação.

Apesar dessas variações, os padrões gerais de radiação observados seguem a tendência esperada, confirmando a validade do modelo teórico como uma boa aproximação para a

caracterização da antena. Diferenças mais acentuadas podem ser minimizadas com um ambiente de teste mais controlado e técnicas avançadas de calibração dos instrumentos de medição.

6 Códigos

```
1 % Create a spiralArchimedean antenna
2 % Generated by MATLAB(R) 23.2 and Antenna Toolbox 23.2.
3 % Generated on: 21-Jan-2025 18:23:58
4
5 %% Antenna Properties
6
7 antennaObject = design(spiralArchimedean, 1500*1e6);
8 % Show
9 figure;
10 show(antennaObject)
11
12 %% Antenna Analysis
13 % Define plot frequency
14 plotFrequency = 1.5*1e9;
15 % Define frequency range
16 freqRange = (1000:15:1000)*1e6;
17 % Reference Impedance
18 refImpedance = 50;
19 % impedance
20 figure;
21 impedance(antennaObject, freqRange)
22 % sparameter
23 figure;
24 s = sparameters(antennaObject, freqRange, refImpedance);
25 rfplot(s)
26 % pattern
27 figure;
28 pattern(antennaObject, plotFrequency)
29 % azimuth
30 figure;
31 patternAzimuth(antennaObject, plotFrequency, 0, 'Azimuth', 0:5:360)
32 % elevation
33 figure;
34 patternElevation(antennaObject, plotFrequency, 0, 'Elevation', 0:5:360)
35 % current
```

```
36 figure;  
37 current(antennaObject, plotFrequency)
```