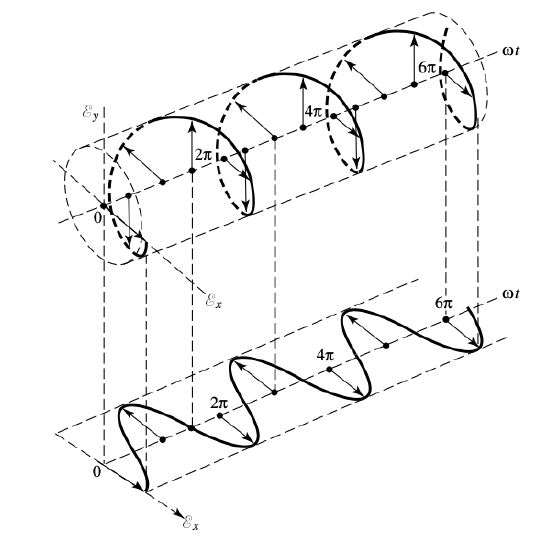
**SIMULAÇÃO DE ANTENA QUADRIFILAR HELICOIDAL E TESTES EM LABORATÓRIO COM MODELO FÍSICO**

Para recepção de imagens de satélites meteorológicos como a da constelação NOAA-N, é necessário, além do aparato eletrônico e de software, uma antena adequadamente dimensionada para este fim em específico, que possua uma grande área de cobertura e que dispense a necessidade de apontar para o satélite no momento da passagem pela região na qual a estação solo se encontra, ou seja, que tenha propriedades omnidirecionais. Devido ao tipo de modulação em RF que será captada pela antena, esta deverá adequar suas dimensões construtivas para banda de VHF e possuir o mesmo tipo de polarização circular de onda plana, a qual, também o é da antena de transmissão do sinal a ser recebido.

**Polarização da Onda Plana**

A Rotação de Faraday é considerada no dimensionamento das antenas de transmissão do satélite e recepção no segmento solo, pois com a passagem da onda eletromagnética na atmosfera terrestre a onda plana sofre rotação na direção do eixo de propagação. Para solucionar este problema a polarização da onda plana propagada deverá ser do tipo circular, contornando os efeitos da Rotação de Faraday. De acordo com Balanis (2011), a polarização de uma antena é definida pela polarização das ondas radiadas por ela. A polarização da onda plana varia com a direção das componentes da radiação eletromagnética tendo como origem o centro da antena, logo, diferentes partes do diagrama de radiação pode apresentar diferentes polarizações. A polarização de uma onda é definida pela trajetória que a extremidade do vetor campo elétrico descreve em um ponto fixo no espaço, além do sentido em que ela é traçada observando-se diante da direção de propagação (HAYT; BUCK, 2013). Um exemplo típico é mostrado na figura a seguir.



Ondas eletromagnéticas podem ter polarização linear, circular ou elíptica, sendo as duas primeiras, casos particulares da polarização elíptica (SHAKEEB, 2011). A caracterização do tipo de polarização é feita considerando-se que uma onda plana que se propaga na direção z tem seu campo elétrico representado da seguinte forma:

As componentes que se propagam nas direções podem ser decompostas em

função de suas amplitudes máxima em cada direção, da frequência , constante de

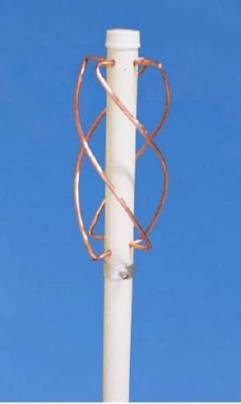
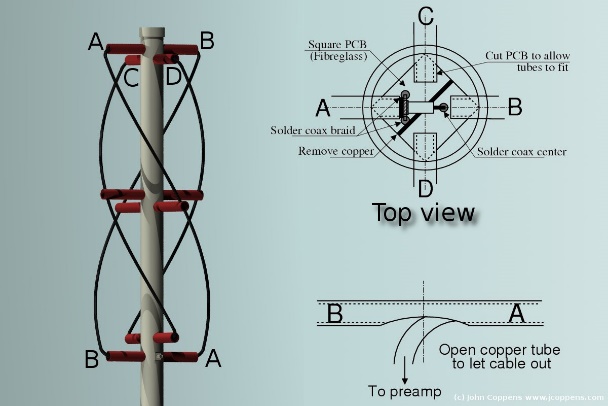
propagação e fase .

A polarização da onda será definida pela diferença entre as fases das componentes vetoriais . Para uma onda ser linearmente polarizada considera-se que:

Onde, *n* é um número inteiro positivo. Já para a polarização circular a magnitude das componentes devem ser iguais e a diferença de fase obrigatoriamente é um múltiplo ímpar de . Uma característica da polarização circular é que a resultante do campo elétrico pode assumir dois sentidos de rotação, à direita ou à esquerda. Se a fase de estiver adiantada em relação à fase de , a resultante tem sentido à direita e diz que a onda tem polarização circular à direita (RHCP – *Right Hand Circularly Polarized* ). Entretanto, se a fase de , estiver adiantada à , a resultante tem sentido à esquerda e diz que a onda é polarizada à esquerda (LHCP – *Left Hand Circularly Polarized*). Se a onda possuir magnitudes diferentes em , então diz que a mesma possui polarização elíptica.

**Antena Quadrifilar Helicoidal ( QFH )**

A mais utilizada para aplicações de aquisição de imagens no formato APT. Possui um diagrama de radiação muito bom e ganho adequado. Por possuir uma geometria mais elaborada necessita de cuidados com relação a observação de sua resistência mecânica e observar um possível ajuste no casamento de impedância com a linha de transmissão. A seguir, há alguns exemplos de antenas do tipo QFH em diferentes aplicações.

[4] [5]

**Projeto e Construção**

A antena escolhida para este estudo é a antena quadrifilar helicoidal. Como é demonstrado por Dascal (2015), a QFH possui o melhor desempenho para aquisição de sinais analógicos com relação ao ganho em altas elevações e diagrama de radiação com maior alcance de azimute. Serão destacados os parâmetros fundamentais para sua construção e testados em laboratório, tais como, ganho, impedância de entrada e comprovação das características omnidirecionais por meio dos diagramas de radiação.

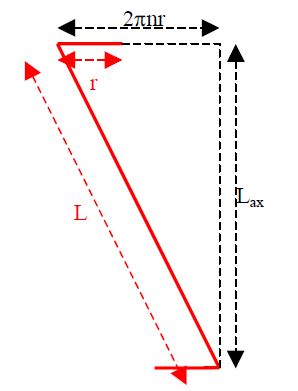
Para uma sintonia em frequência central de 137,5 MHz necessária para recepção do sinal transmitido pela constelação NOAA, a antena QFH deve ser dimensionada segundo os cálculos que se seguem:

L = comprimento de metade de um loop da hélice

Lax = comprimento axial do cilindro

r = raio do cilindro

n = número de voltas de uma hélice

[6]

Segundo o trabalho de R.W. Hollander, há o fator de alongamento e R que é a razão do diâmetro da antena e sua altura. Assim, pode-se determinar os parâmetros fundamentais como é mostrado a seguir:

O fator de alongamento é obtido experimentalmente de acordo com a frequência de ressonância da antena. Hollander recomenda fator de aproximadamente .

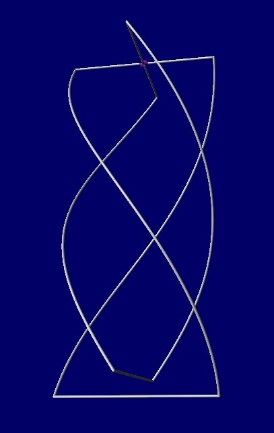
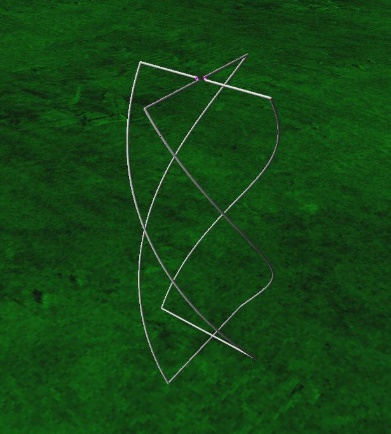
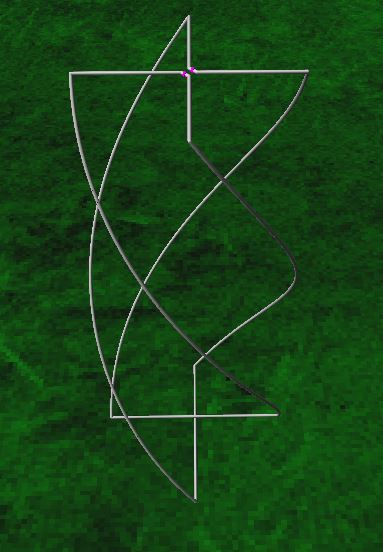
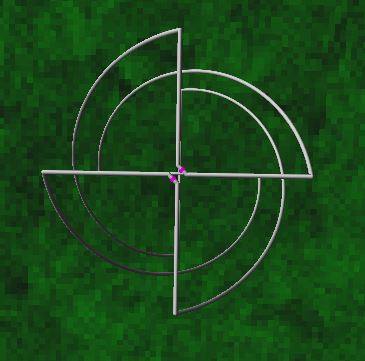
O fator R é a razão do diâmetro da espira com sua altura, e determina o padrão de radiação da antena. Quanto menor R, maior será seu ganho na elevação em detrimento do azimute. Assim, quanto maior for R, o ganho no azimute é maior em relação a elevação. Recomenda-se R = 0,44 para obter um diagrama de radiação homogêneo.

Assim, pode-se obter , , , para a espira longa.

Para a espira curta basta estabelecer uma altura em 95% de , e calcular as demais medidas aplicando os mesmos fatores aplicados para a espira longa.

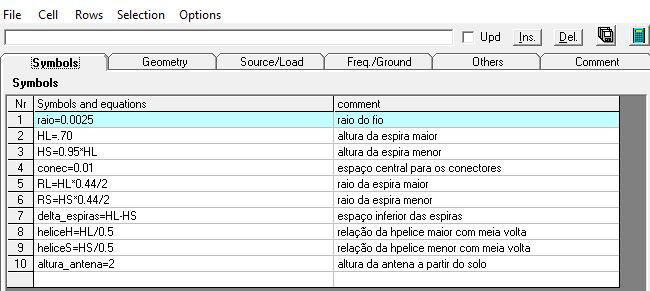
Portanto, , , , para a espira curta.

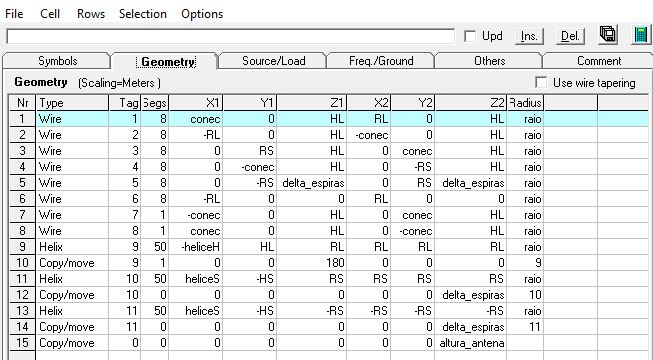
A seguir, são apresentadas algumas imagens em perspectivas das dimensões calculadas para o estudo da antena.



**Simulação da Antena QFH**

Ao alimentar o software “4NEC2” com as dimensões construtivas da antena, a simulação da impedância característica, gráfico de Smith, diagrama de radiação e gráfico de coeficientes de onda estacionária são gerados a fim de verificar se as dimensões e comportamento da antena submetida ao espectro de RF desejado, condizem com o esperado no projeto. Assim, pode-se ter uma ideia do que esperar dos resultados em laboratório.





Para uma faixa de frequência de 133 MHz até 139MHz, acoplada com gerador com impedância interna de 50 Ω, submetida a ensaio de campo distante. Com estas configurações, o programa “4NEC2” forneceu os resultados a seguir:

Diagramas de radiação:

Abaixo, estão representados os diagramas de radiação selecionados de 133 MHz até 139 MHz com resolução de 1º de elevação.

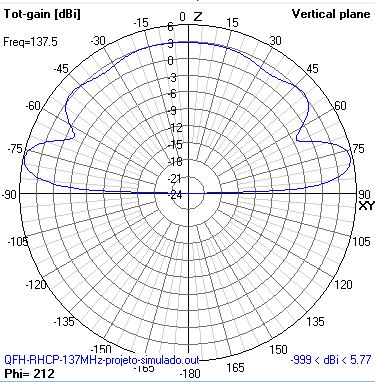


Diagrama de Smith:

O diagrama representado abaixo identifica a impedância normalizada da antena de acordo com as faixas de frequências selecionadas no intervalo de 133 MHz até 139 MHz com resolução de 0,1 MHz.

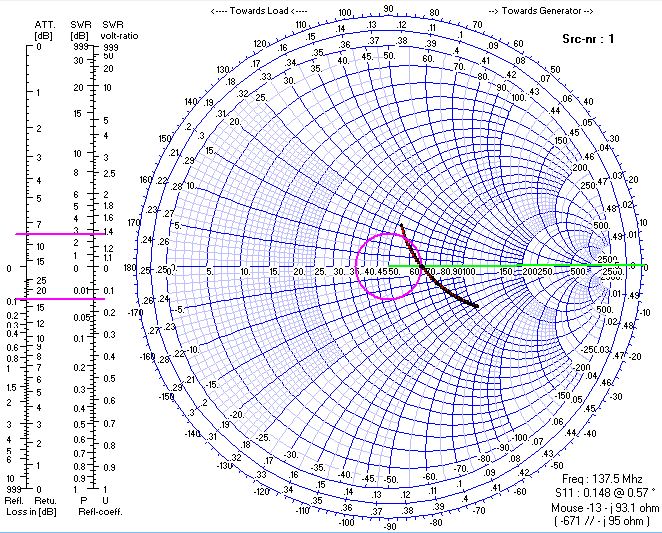


Gráfico de Coeficiente de Onda Estacionária e Coeficiente de Reflexão:

Os valores ideais para o COE e , seriam para a mínima variação de acordo com o intervalo de frequência desejado em torno da central de 137,5 MHz.

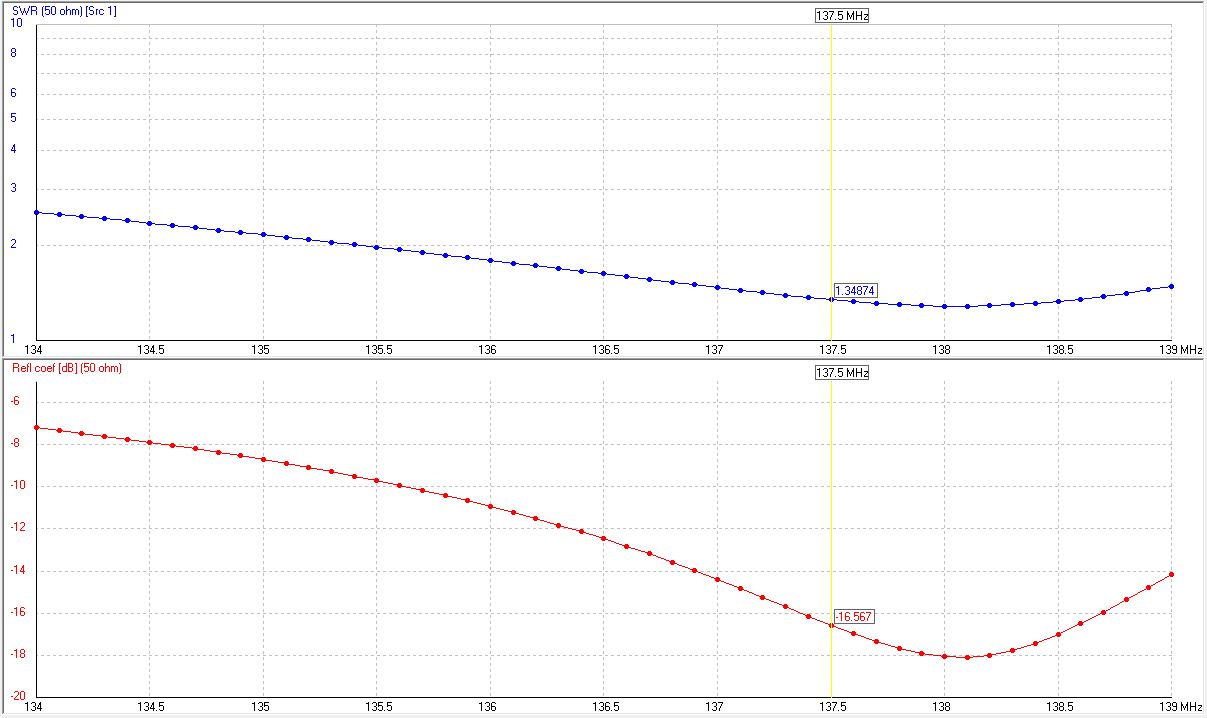
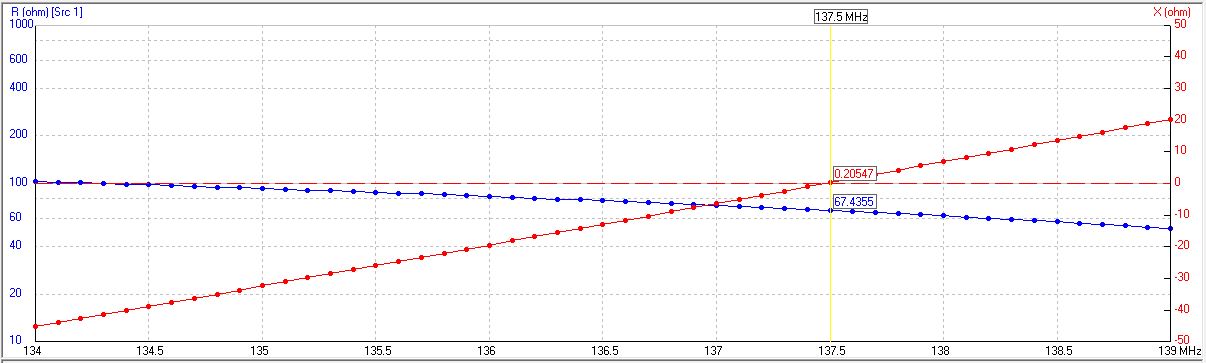


Gráfico de impedância:

****

Como indicado no gráfico acima, ainda que a reatância da linha esteja próximo de zero, o casamento de impedância da antena com a linha do cabo coaxial de 50 Ω deve ser colocado como uma alternativa a ser considerada caso os dados a serem aquisitados não correspondam ao esperado, já que a sua parte real apresenta valor superior à impedância da linha.

**Testes em Laboratório**

Com a antena confeccionada, os testes de impedância característica e ganho foram feitos no Laboratório de Metrologia Elétrica do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, com auxílio do Pesquisador Fabrício Torres.

Os testes foram realizados em duas etapas. Primeiro, foi realizado o teste de atenuação no cabo coaxial separado da antena. Na segunda etapa, o cabo foi acoplado a antena e verificado a atenuação, perda de retorno e impedância do conjunto.

Com o Vector Network Analyzer, foi medido 0,7 dB de atenuação no cabo coaxial RG58 de 3m de comprimento.

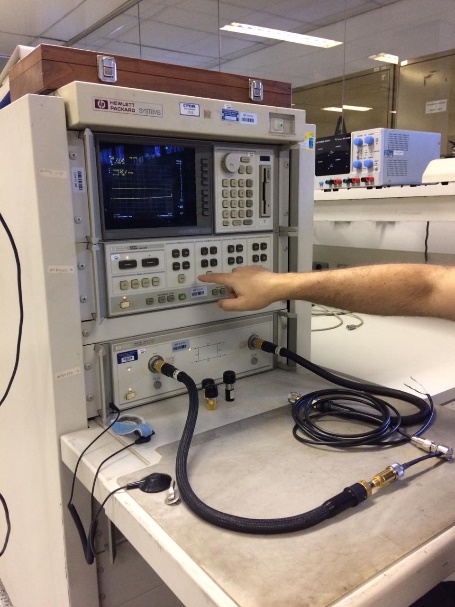
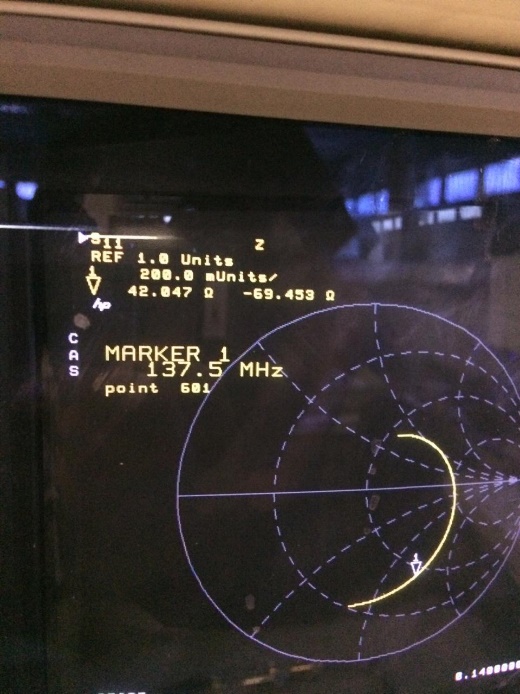


Foto xx – Vector Network Analyzer

Fonte – Laboratório de Metrologia Elétrica – IPT

Acoplando o cabo a antena, e com o VNA configurado para gerar um sinal na faixa de 130 MHz até 140 MHz, a seguinte figura é apresentada no diagrama de Smith do equipamento.



Fotoxx- diagrama de Smith do conjunto cabo-antena

Fonte – Laboratório de Metrologia Elétrica – IPT

Nele, com a frequência posicionada em 137,5 MHz, apresentou perda de retorno de -4,5 dB e coeficiente de onda estacionária em aproximadamente 4. A impedância do conjunto apresentou característica capacitiva no valor de .

Para perda de retorno de – 4,5 dB, a porcentagem equivalente da potência refletida equivale a aproximadamente 36%, o que significa 64% de eficiência do conjunto. [10]

Recomenda-se, para uma boa antena o mínimo de -10 dB de perda de retorno, ou um COE com no máximo 2:1, assim, pode-se ter uma eficiência de, no mínimo, 90% da potência irradiada.

Levando em consideração de que a antena aqui estudada é confeccionada de maneira artesanal e com materiais improvisados, pode-se considerar que seu desempenho como razoável frente aos resultados obtidos em laboratório e nas aquisição de imagens, bastando apenas dimensionar um casamento de impedâncias adequado para diminuir o COE e poder aumentar sua eficiência, a fim de garantir maior confiabilidade nos resultados onde ela for aplicada.

[7]LRPT WEATHER SATELLITE IMAGE ACQUISITION USING A SDR-BASED RECEPTION SYSTEM. - DASCAL, Paul Vladut

[2] HAYT, W. H.; BUCK, J. A. Eletromagnetismo. [S.l.]: Bookman Editora, 2013.

[1] BALANIS, C. A. Modern antenna handbook. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

[3] SHAKEEB, M. Circularly Polarized Microstrip Antenna. Tese (Doutorado) — Concordia

University, 2011.

[4]https://www.arsatc.org/noaa2.html, 08/09/2019, 17h

[5] http://www.inpe.br/scd1/site\_scd/scd1/osatelite.htm, 08/09/2019, 18h15min

[6] R.W. Hollander, “Resonant Quadrafilar Helical Antenna”, WORKING GROUP SATELLITES, 1999.

[8] http://www.py2bbs.qsl.br/qfh.php, 08/09/2019, 12h23min

[9] http://www.eldtec.com.br/cabos/rf50/rg58, 08/09/2019, 14h

[10] - <http://www.antenna-theory.com/definitions/vswr.php>