

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA
Campus São José

Projeto e Testes de performance de Antena Yagi-Moxon ZBZ+

Disciplina: Antenas

Professor: Ramon Mayor Martins

Alunos: Alisson Boeing e Guilherme Medeiros

São José, 09 de Julho de 2019

1. RESUMO

A antena Yagi-Moxon ZBZ+ foi projetada para funcionar nas faixas de VHF (Moxon) e UHF (Yagi). A união das duas antenas a torna formidável para a comunicação utilizando frequências específicas dessas faixas. A antena foi construída, testada, tendo como maior ganho em um teste meio aberto de -15,4dBm e valor de SWR igual à 1,28, ambos para frequência de 145,8MHz. A antena foi construída sem equipamentos específicos para a construção deste tipo de aparato, mesmo assim os resultados foram bastante positivos. Diferentes materiais e formas mais eficazes de montagem podem melhorar os resultados obtidos neste artigo, assim como métodos de testes mais precisos.

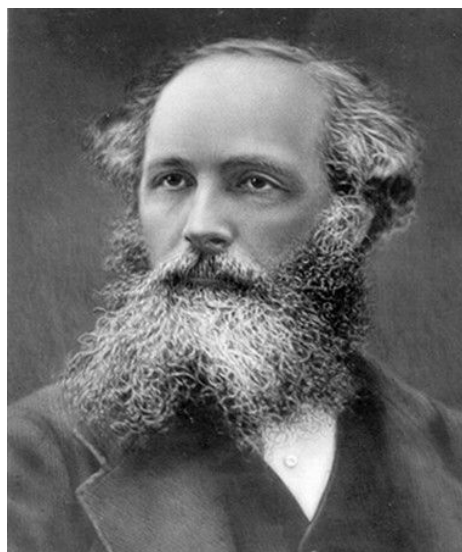
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base para o funcionamento de antenas está no estudo de óptica, campo eletromagnético e ressonância.

2.1 A ONDA ELETROMAGNÉTICA

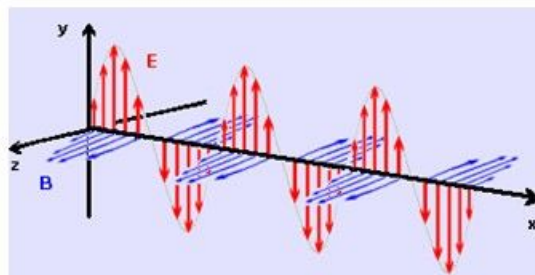
Trabalhos de cientistas, no século XIX, tornaram possível que James Maxwell (1831 - 1879), descrevesse o campo eletromagnético como a união de um campo elétrico [1] e um campo magnético, com as ondas fazendo noventa graus entre si (figura 2). Além disso, a determinação de que qualquer carga elétrica oscilando gera este campo também faz parte do seu trabalho. Estas duas concepções mudaram a física dos séculos que viriam a seguir e sem dúvida estão entre as descobertas mais importantes do século XIX.

Existem diversas formas de se gerar uma onda eletromagnética, tais como salto quântico em elétrons, choque de partículas em alta velocidade, entre outros. Este estudo será focado[2] na obtenção de ondas eletromagnéticas por processos eletrônicos utilizando circuitos RLC.



(Figura 1 - James Maxwell, fonte: Brasil Escola)

Os osciladores são uma maneira de se obter um sinal elétrico repetitivo [3] e podem ser construídos em circuitos elétricos estabilizando impedâncias específicas. Osciladores RC operam em frequências baixas, já os osciladores LC operam em frequências elevadas, ambos variáveis de acordo com o valor final de impedância e o quão capacitiva (ou indutiva) é a mesma.



(Figura 2 - Onda Eletromagnética, fonte: Infoescola)

Osciladores RC são limitados à frequências inferiores à 1MHz, por isso, considerando a aplicação deste relatório, os circuitos LC são muito mais importantes, que se baseiam na ação de carregar e descarregar o capacitor em polaridades opostas, gerando uma onda senoidal periódica na frequência em que esse ciclo se completa [3].

O projeto do oscilador depende dos valores de capacitância e indutância do circuito, determinados pela equação 1.

$$F = 1/(2\pi\sqrt{LC}), \text{ equação 1 [3]}$$

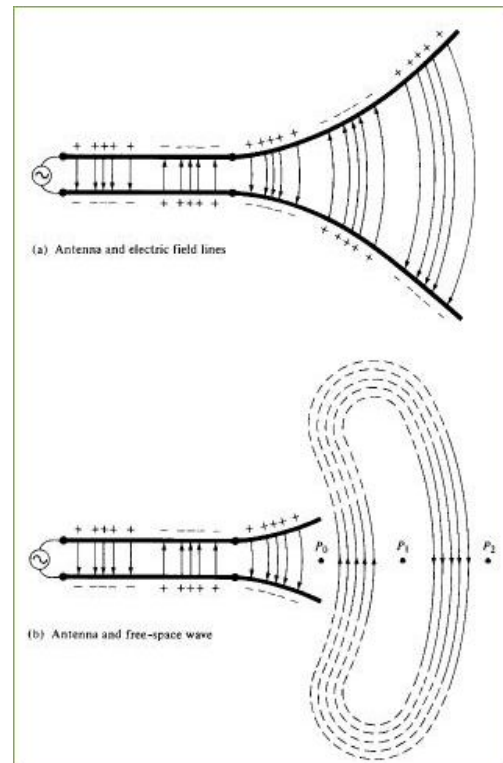
Como todo circuito elétrico, independente de componente comercial, possui resistência elétrica, o sinal tende a atenuar com o tempo, por isso, na construção de um oscilador LC, é necessário o emprego de um amplificador.

2.3 MECANISMOS DE RADIAÇÃO

Com o sinal pronto para transmissão, ele é transmitido à uma antena. Uma antena é um dispositivo que ao receber um sinal elétrico tem a capacidade de desprender um campo eletromagnético em frequência constante e conhecida.

Há várias maneiras de construir e dispor os condutores que formam uma antena, dentre os mais utilizados praticamente, está o uso de dois condutores conectados à um gerador de sinal (figura 3) que conseguem transmitir um campo elétrico no espaço. As duas linhas de transmissão [3] criam um campo elétrico entre os condutores ao mesmo tempo que criam uma polaridade elétrica em cada fio, criando uma tensão elétrica. Ao mesmo tempo o movimento das cargas

cria uma corrente elétrica que, ao variar nos dois condutores (já que a corrente é alternada), cria um campo magnético. Assim existe uma ressonância entre a corrente e a tensão nos condutores do dispositivo, criando assim, o campo eletromagnético.

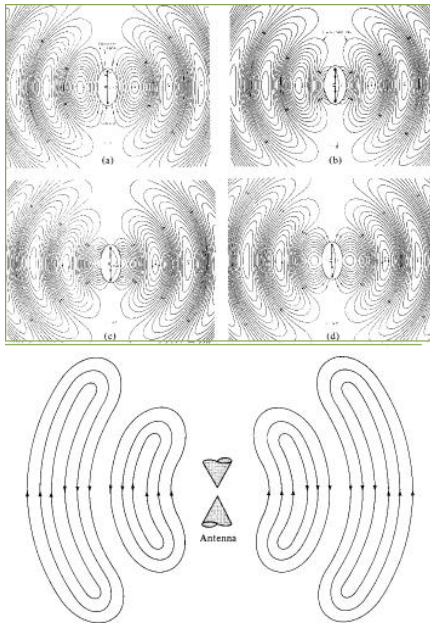


(Figura 3 - Fonte, transmissão, antena e desprendimento do campo eletromagnético, fonte: Balanis)

Este tipo de antena, também conhecida como dipolo tem a capacidade de irradiar o espaço em 360 graus em relação ao dispositivo (figura 4), com ambas as hastes condutoras tendo, em princípio, de tamanho, um múltiplo inteiro do comprimento de onda do sinal a ser transmitido.

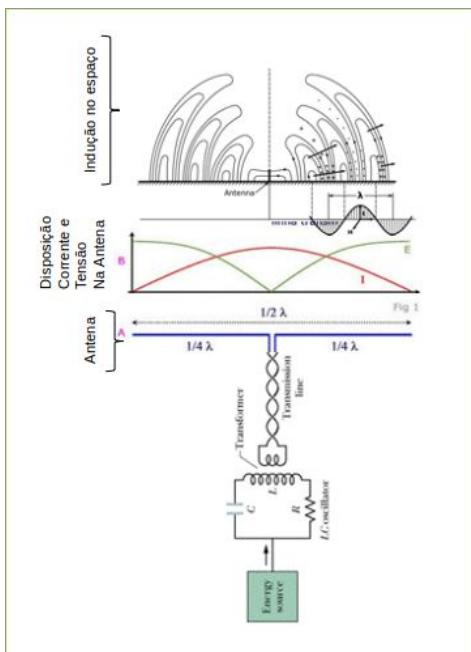
O desprendimento do campo acontece puramente com indução: O campo da antena induz o meio à sua frente, que induz o meio ainda mais a frente, e assim por diante, criando uma frente de onda que é repetida pelas várias vezes que

esse processo é feito na antena. O espaço entre uma frente de onda e outra é o mesmo comprimento de onda λ da onda enviada pelo circuito oscilador.



(Figura 4 - Desprendimento da onda eletromagnética em uma dipolo, fonte: Balanis)

A corrente e tensão nos condutores da antena ficam conforme a figura 5.

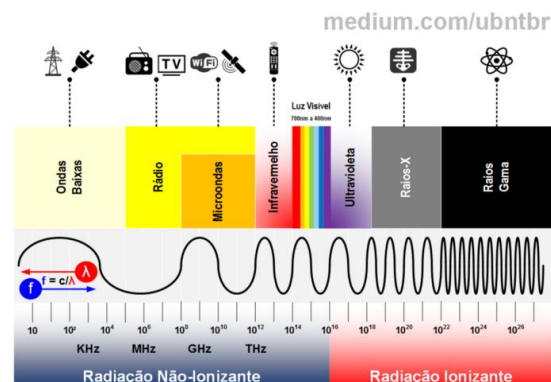


(Figura 5 - Corrente e tensão nos condutores de uma antena do tipo dipolo, fonte: Ribeiro)

2.4 O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

O espectro eletromagnético representa toda a gama de diferentes tipos de campos elétricos e suas aplicações dependendo da frequência de oscilação do campo.

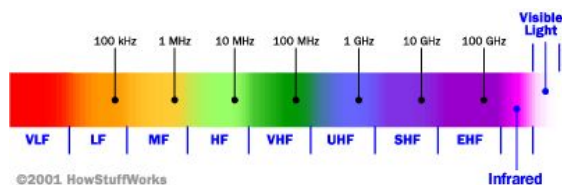
Das mais baixas às mais altas frequências (figura 6) existem aplicações e utilidades, este artigo irá focar apenas nas ondas de rádio, especificamente na região do VHF e do UHF.



(Figura 6 - Espectro eletromagnético e algumas de suas aplicações, fonte: Medium)

2.4.1 ONDAS DE RÁDIO, VHF E UHF

As ondas de rádio (Figura 7) compreendem a faixa de 3Hz a 3THz, e são as ondas mais utilizadas para a comunicação humana. De aplicações que vão à mais baixa frequência (como comunicações submarinas) até as aplicações com altíssima frequência (rádio astronomia e experimentos de física da matéria condensada), há aplicações para todas as faixas de frequência deste grupo.



(Figura 7 - O Espectro de Radiofrequência, fonte How Stuff Works)

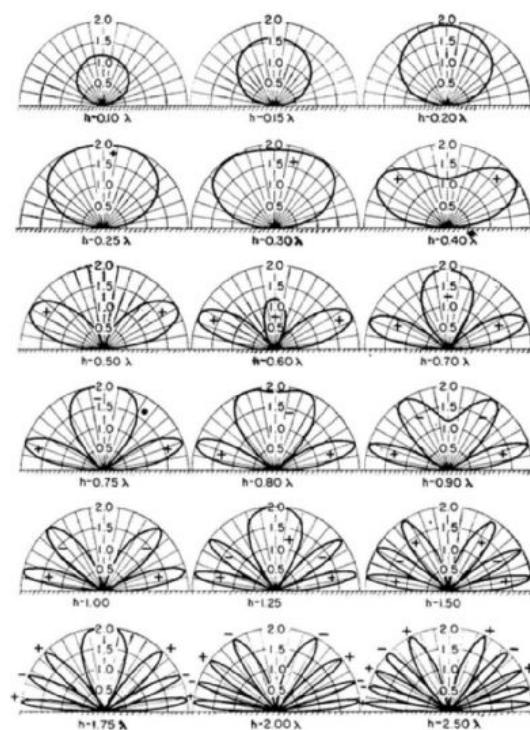
Serão estudadas aqui as ondas que pertencem ao VHF (*very high frequency*) e UHF (*ultra high frequency*), já que a antena produzida neste projeto funciona nestas duas faixas de frequência.

O UHF compreende a faixa de 300MHz à 1GHz, com ondas com comprimento de 1 metro à 3 decímetros [3]. São ondas que viajam normalmente em uma linha de visada, sendo pouco absorvidas pelo solo e pouco refletidas pela ionosfera. Nesta frequência, as ondas não atravessam obstáculos físicos muito rígidos como montanhas ou solo, mas podem adentrar em edifícios e construções no geral. Elas são usadas para comunicação, em aplicações em transmissão de sinais de televisão, emissoras de rádio, walkie talkies, radioamador, entre outros.

A faixa do VHF está muito próxima do UHF, e compreende a faixa de 30MHz até 300MHz, onde o UHF já começa, esta faixa está compreendida entre ondas que vão de 1 metro à 10 metros [3]. As características de propagação são muito semelhantes às da faixa do UHF, assim como as aplicações, que em muitos casos são as mesmas. As aplicações mudam normalmente se referindo ao tipo de dado que quer transmitir e ao equipamento que está sendo usado, já que as duas possuem bastante semelhanças [7].

2.5 DO LÓBULO DE ENERGIA E DIRECIONAMENTO

Arranjos diferentes de antenas podem deformar o direcionamento do sinal transmitido ou a região de recepção do sinal de uma antena, tornando-a mais ou menos direcional, ou criando multi regiões de propagação (figura 7).



(Figura 7 - Diferentes lóbulos de radiação de antenas, fonte: Ribeiro)

Essas deformações são causadas por maneiras diferentes de se construir a morfologia de uma antena, e pode ser oriundo tanto da própria forma da antena quanto de arranjos parasitas, condutores não conectados ao transmissor ou receptor de sinal que modificam o campo eletromagnético que se desvincula do elemento acionado, modificando o lóbulo de energia.

Arranjos parasitas são colocados com objetivo de dar mais diretividade [4], diminuindo o raio de recepção ou transmissão de uma antena, mas

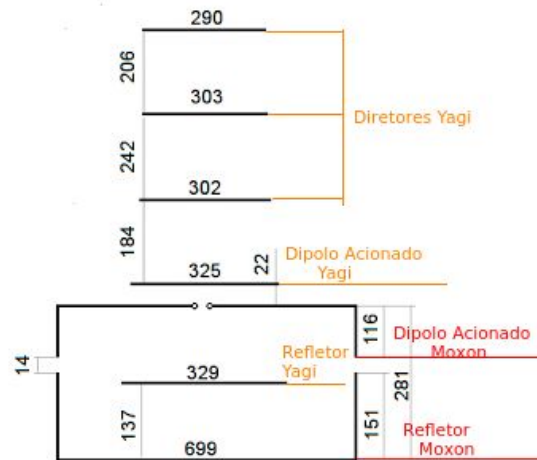
aumentando o ganho na parte central do lóbulo. Eles possuem dimensão apenas um pouco diferente do elemento acionado e se dividem em duas categorias:

- Refletores: São colocados no lado oposto do que se deseja que o lóbulo seja projetado, e reflete a energia para o lado oposto. Normalmente são 5% mais longos do que o elemento acionado, mas essa medida pode mudar de acordo com as condições necessárias da antena.
- Diretores: São colocados no sentido do lóbulo de energia desejado e normalmente são 5% mais curtos que o elemento acionado (podendo haver variações como no refletor), e tem o objetivo de direcionar o lóbulo de energia, aumentando o ganho nesta direção.

No mero estudo destes arranjos já é possível perceber que, já que qualquer condutor não conectado ao arranjo acionado pode modificar o lóbulo de energia recebido/transmitido, qualquer modificação ou imprecisão na hora de se construir uma antena pode causar mudanças drásticas do modelo projetado. Quanto mais precisas forem as ferramentas e os materiais utilizados para a fabricação do dispositivo, mais próximo do projeto o comportamento da antena será.

3. REALIZAÇÃO DO PROJETO

A antena foi realizada utilizando um projeto [8] da Arsatec, de uma antena conhecida como Yagi MoxonZBZ+ (figura 8).



(Figura 8 - Antena Yagi MoxonZBZ+, fonte: Arsatec)

Esta antena possui duas frequências de utilização, A Yagi em UHF (parte superior da figura 8, não ativada), e a Moxon em VHF (parte inferior da figura 8, elementos dobrados, acionados por um cabo coaxial). A Yagi não possui conexão para recepção, ela o faz recebendo a onda e ressoando com a Moxon logo abaixo (com a dobra para baixo no sentido da figura 8), fazendo com que a mesma faça a recepção.

A antena foi realizada para fazer comunicação com o saudSat S050, satélite da Arábia Saudita com frequência de uplink em 145.860MHz e frequência de downlink de 435.795MHz. Neste objetivo, o projeto fará testes com a antena considerando a sua parte Yagi para o downlink e sua parte Moxon para uplink. Os testes serão realizados nestas frequências.



(Figura 9 - Satélite SAUDISAT SO50, fonte: Arsatec)

A antena foi montada utilizando hastes de alumínio como condutores e um tubo de plástico PVC como suporte. Os furos da antena foram realizados como no projeto da figura 8, utilizando uma furadeira e durepox para fixar as hastes. Um cabo coaxial foi montado para transmitir o dado de um gerador de função a antena, com uma ponta com um conector e a outra desmontada, soldando o conector central em uma dos lados do dipolo acionado da Moxon e a malha no outro lado.

3.1 CÁLCULOS DOS ARRANJOS

Com o projeto em mãos, e determinados os valores de cada elemento, cálculos foram realizados para compreender o projeto da Arsatec. Foi compreendido que o tamanho dos diretores da Yagi foi diminuindo gradativamente até chegar aos 29cm do projeto. Essa diminuição é prevista pela teoria de arranjos parasitas, com objetivo de afinar o lóbulo e melhorar o ganho na direção dos diretores.

Os refletores, tanto da Yagi quanto da Moxon, são maiores que o dipolo principal. A Moxon está bem próximo dos 5% de aumento descrito na teoria, aumentando de 81,5cm do dipolo acionado para 85cm, já a Yagi aumenta muito menos do esperado, de 32,5cm do dipolo principal para 32,9cm do refletor.

A haste inteira do elemento principal da Yagi tem 32,5cm, sendo que o comprimento de onda da frequência na qual ela foi projetada para operar é de 69cm. Do centro da haste até a

extremidade temos então 16,25, muito próximo de $\lambda/4$ (múltiplo inteiro do comprimento de onda bastante utilizado) para a frequência de 436,796MHz, que é de 17cm.

A haste inteira da Moxon tem 81,5cm, sendo que o comprimento de onda da frequência para qual ela foi projetada para operar é de 206 cm. Cada meia haste da Moxon tem aproximadamente 0,4 do comprimento de onda, uma proporção válida para a construção, mesmo que não usual [4].

3.2 SIMULAÇÕES

Simulações foram realizadas no software MANAGAL e foram obtidos os lóbulos de energia e os valores de ganho e SWR.

Tentativas foram feitas de aumentar o ganho da antena modificando o tamanho dos arranjos, mas todos os testes resultaram em aumento de SWR, portanto todos foram descartados e foi mantido o projeto original da Arsatec.

4. TESTES E RESULTADOS

4.1 TESTE DE SWR E IMPEDÂNCIA

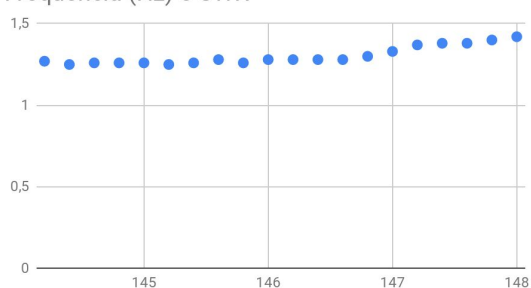
O primeiro teste executado foi o teste de onda estacionária na Moxon, já que ela é a transmissora. Grandes valores de onda estacionária podem ocasionar problemas na transmissão e até danificar aparelhos que estejam sendo utilizados para a transmissão de dados, por isso os valores de SWR testados devem estar sempre próximos de 1. Foi medido a onda estacionária para valores diferentes de frequência e anotados, os dados seguem na tabela 1 e podem ser analisados na figura 10.

Frequência	Impedância	SWR
------------	------------	-----

(Hz)		
144	24	1,27
144,2	24	1,25
144,4	24	1,26
144,6	24	1,26
144,8	24,5	1,26
145	25	1,25
145,2	25	1,26
145,4	26	1,28
145,6	27	1,26
145,8	30	1,28
146	36	1,28
146,2	37,5	1,28
146,4	38	1,28
146,6	40	1,3
146,8	43	1,33
147	44	1,37
147,2	48	1,38
147,4	49	1,38
147,6	50	1,4
147,8	50	1,42
148	51	1,44

(Tabela 1 - Impedância e SWR pela frequência)

Frequência (Hz) e SWR



(Figura 10 - Gráfico Frequência por SWR, fonte: Autores)

Como pode ser visto nos dados, o SWR praticamente se manteve constante para todos os valores de frequência testados e sempre próximo de 1.

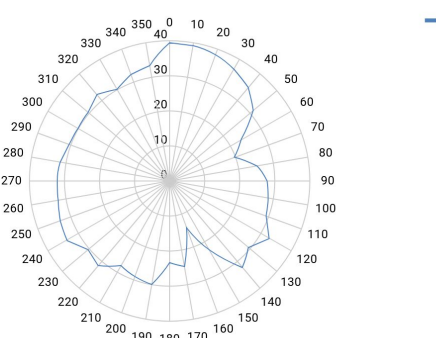
4.2 TESTE MEIO ABERTO

O teste meio aberto serve para determinar o lóbulo de energia da antena, os testes foram realizados na dependência do IFSC campus São José e medidos para a frequência de 145,860MHz e seguem na tabela 1, assim como no gráfico da figura 11. O teste consiste em, usando uma antena funcional, enviar um sinal na frequência determinada e ir rotacionando a antena a ser testada, medindo o ganho com um analisador de espectro.

ÂNGULO	NÍVEL (dbM)
0	-15,4
10	-15,6
20	-16,3
30	-18
40	-19,9
50	-23,5
60	-31,1
70	-35,2
80	-29,5
90	-26,9
100	-26,2
110	-25,6
120	-22,1
130	-25,4
140	-22,6
150	-31,7
160	-40,5
170	-30
180	-31,5
190	-24,7
200	-25,7
210	-26,8
220	-23,2
230	-24,4
240	-20,9
250	-21,7
260	-22,5
270	-22,6
280	-23

290	-24,4
300	-24,5
310	-24,5
320	-22,5
330	-24,7
340	-22,5
350	-21,3

(Tabela 2 - Valores de ângulo pelo ganho em dBm do teste meio aberto)



(Figura 11 - Diagrama de ganho do teste meio aberto da Moxon em 145.860MHz)

A partir dos resultados medidos e demonstrados neste relatório, foi possível observar que a Moxon obteve resultados ótimos nos testes de SWR, entretanto ela obteve resultados positivos, porém com alguns problemas no teste meio aberto. Estes problemas provavelmente se devem principalmente aos materiais pouco precisos para a montagem e ao local de teste que não era apropriado devido a quantidade de materiais condutores e paredes que conseguem refletir o campo para a antena.

Mesmo com os dados com bastante imprecisão, os valores com maior ganho ainda estão na linha de visada, e pode-se observar o lóbulo na figura 11.

Os testes em relação ao satélite S0-50 não foram realizados.

5. CONCLUSÃO

Com os resultados colhidos e discutidos, percebe-se que a antena funcionou, mesmo com alguns pesares, e que infelizmente a falta de condições para testes talvez tenha atrapalhado um pouco na coleta dos dados.

Foi demonstrado que a produção de uma antena com materiais simples é plenamente possível. Algumas dificuldades foram enfrentadas para a produção, principalmente no sentido de deixar todas as hastes alinhadas, entretanto, os resultados ainda foram positivos.

Não foi possível, infelizmente, realizar os testes com o satélite SaudiSat S0-50, este teste ainda fica por ser feito em trabalhos futuros para determinar a possibilidade da antena de se comunicar com uma estação que, justamente, trabalha nesta frequência.

7.REFERÊNCIAS

- [1] MARQUES, Domiciano. **Maxwell e a integração da luz com o magnetismo**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/maxwell-integracao-luz-com-magnetismo.htm>>. Acesso em: 09 jul. 2019.
- [2] PAULA, Ricardo Normando Ferreira de. **Ondas Eletromagnéticas**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/ondas-eletromagneticas/>>. Acesso em: 09 jul. 2019.
- [3] BALANIS, Constantine A.. **Antenna Theory: Analysis and Design**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1997.

[4] RIBEIRO, José Antônio Justino. **Engenharia de Antenas: Fundamentos, Projetos e Aplicações**. São Paulo: Erica, 2012. 584 p.

[5] BRITO, Samuel Henrique Bucke. **Como o Sinal Wi-Fi é Propagado na Natureza?** Disponível em: <<https://medium.com/ubntbr/como-o-sinal-wifi-%C3%A9-propagado-na-natureza-d87daef39575>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

[6] BRAIN, Marshall. **How the Radio Spectrum Works**. Disponível em: <<https://electronics.howstuffworks.com/radio-spectrum.htm>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

[7] VEAR, Tim. **What is the difference between UHF and VHF frequencies?** Disponível em: <<https://www.shure.com/en-GB/support/find-an-answer/what-is-the-difference-between-uhf-and-vhf-frequencies>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

[8] ARSATC. **PROJETOS**. Disponível em: <<https://www.arsatc.org/projetos.html>>. Acesso em: 09 jul. 2019.