

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES**

Fernando de Moura Bandinelli

**SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE MODELOS DE
ANTENAS EM MICROFITA PARA A INTEGRAÇÃO EM
NANO SATÉLITES**

**Santa Maria, RS, Brasil
2022**

Fernando de Moura Bandinelli

**SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE MODELOS DE ANTENAS EM
MICROFITA PARA A INTEGRAÇÃO EM NANO SATÉLITES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Telecomunicações**.

Orientador: Prof. Dr. Prof. Natanael Rodrigues Gomes

**Santa Maria, RS, Brasil
2022**

Fernando de Moura Bandinelli

**SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE MODELOS DE ANTENAS EM
MICROFITA PARA A INTEGRAÇÃO EM NANO SATÉLITES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Telecomunicações**.

Aprovado em 25 de Fevereiro de 2022:

Prof. Natanael Rodrigues Gomes, Dr. (UFSM)
(Presidente/ Orientador)

Prof. Vitalio Alfonso Reguera, Dr. (UFSM)

Prof. Vitor Cristiano Bender, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS, Brasil
2022

AGRADECIMENTOS

Em um primeiro momento, gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade concedida. Durante esse intervalo de tempo, tive o prazer de conviver com pessoas que contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Em um segundo momento, gostaria de agradecer a minha família por todo o esforço realizado, especialmente ao meu pai Claudio Bandinelli e minha mãe Rita de Moura Bandinelli, onde todo o apoio prestado por eles nesses últimos anos foram indispensáveis e cruciais para a conclusão desta etapa.

Gostaria também de registrar o meu agradecimento ao Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes, pessoa a qual tive a oportunidade de conviver e ser orientado desde os primeiros semestres da faculdade.

Durante esse período, tive a oportunidade de conhecer diversas pessoas, onde várias delas hoje apresentam suma importância em minha vida, então também gostaria de assinalar o meu agradecimento a minha namorada Ivana Camargo Braga e aos meus amigos João Marcos Botton Consentino, Jefferson Tavares de Oliveira, Micael Welter, Lucas Bueno, Filipe Guterres Ferreira, entre outros que fizeram com que essa jornada se tornasse algo mais simples.

Por fim e de forma não menos importante, agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

“ Os cientistas estudam o mundo como ele é; os engenheiros criam um mundo como ele nunca havia sido.

Theodore von Karman”

RESUMO

SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE MODELOS DE ANTENAS EM MICROFITA PARA A INTEGRAÇÃO EM NANO SATÉLITES

AUTOR : FERNANDO DE MOURA BANDINELLI
ORIENTADOR: PROF. NATANAEL RODRIGUES GOMES

Esse documento, busca apresentar os procedimentos adotados para o desenvolvimento de uma antena de microfita, com frequência central de 401 MHz e polarização linear, modelada através do método de linha de transmissão, utilizando o substrato Taconic CER-10 em um patch retangular, alimentado através de uma prova coaxial, considerando um conector SMA, com o objetivo de integrar um enlace entre os nanossatélites e as plataformas de coleta de dados ambientais do Sistema Brasileiro de Coletas de Dados. Também, realizou-se testes variando a permissividade do substrato, com fim de observar a relação da grandeza com a dimensão total da antena. Posteriormente, o patch modelado passou por um processo de otimização através do software HFSS, buscando melhorar seus parâmetros de operação e por último, testou-se a aplicação de fractais ao modelo, buscando realizar a diminuição das dimensões do patch.

Palavras-chave: Nano satélites, antenas, microfita, miniaturização.

ABSTRACT

**MODELING AND CONTROL OF A PV
INVERTER GRID-CONNECTED**

AUTHOR: FERNANDO DE MOURA BANDINELLI
ADVISOR: PROF. NATANAEL RODRIGUES GOMES

This document seeks to present the procedures adopted for the development of a microstrip antenna, with a center frequency of 401 MHz and linear polarization, modeled through the transmission line method, using the Taconic CER-10 substrate in a rectangular patch, fed through a coaxial probe, considering a SMA connector, with the objective of integrating a link between the nanosatellites and the environmental data collection platforms of the Brazilian Data Collection System. Too, tests were carried out varying the permissiveness of the substrate, in order to observe the relationship of the magnitude with the total dimension of the antenna. Subsequently, the modeled patch passed by an optimization process through the HFSS software, seeking to improve its operating parameters and finally, the application of fractals to the model was tested, seeking perform the reduction of the dimensions of the patch.

Keywords: Simulation and optimization of a microstrip antenna model for nanosatellite integration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	– Modelo de patch retangular.....	15
Figura 2.2	– Arquitetura da Missão CONASAT.....	16
Figura 2.3	– Modelo de patch retangular.....	17
Figura 2.4	– Representação da forma de patches em microfita	18
Figura 2.5	– Método de de alimentação por linha.....	20
Figura 2.6	– Método de de alimentação por prova coaxial	20
Figura 2.7	– Método de de alimentação por proximidade	21
Figura 2.8	– Método de de alimentação por fenda	22
Figura 2.9	– Vista Superior	23
Figura 2.10	– Linhas de Campo.....	23
Figura 2.11	– Linha de Transmissão.....	23
Figura 2.12	– Curva de Koch.....	26
Figura 2.13	– Ilha de Koch.....	26
Figura 3.1	– Conector SMA modelado.....	28
Figura 3.2	– Perspectiva Trimétrica.....	29
Figura 3.3	– Perspectiva Inferior	29
Figura 3.4	– Padrão S11.....	30
Figura 3.5	– Carta de Smith.....	31
Figura 3.6	– Diagrama de Ganho.....	31
Figura 3.7	– Diagrama de Radiação.....	32
Figura 3.8	– Padrão S11 - Modelo Otimizado	33
Figura 3.9	– Carta de Smith - Modelo Otimizado.....	33
Figura 3.10	– Vista Superior - Fractal Nível 1	34
Figura 3.11	– Vista Superior - Fractal Nível 2	35
Figura 3.12	– Padrão S11 - Fractal Nível 2.....	35
Figura 3.13	– Carta de Smith - Fractal Nível 2 em 401 <i>MHz</i>	36
Figura 3.14	– Diagrama de Ganho- Fractal Nível 2	37
Figura 3.15	– Quadro de Cantor.....	37
Figura 4.1	– Diagrama de Ganho utilizando a otimização do Software ANSYS ...	39
Figura 4.2	– Diagrama de Radiação utilizando a otimização do Software ANSYS	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SBCD	Sistema Brasileiro de Coletas de Dados
PCD	Plataforma de Coleta de Dados Ambientais
CMCD	Centro de missão e coleta de dados
CONASAT	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
HEO	Highly Elliptical Orbit
LEO	Low Earth Orbit
MEO	Medium Earth Orbit
GEO	Geosynchronous Earth Orbit
Cal Ply	Universidade Politécnica da Califórnia
BW	Largura de Banda

LISTA DE SÍMBOLOS

L	Largura do Patch
W	Comprimento do Patch
h	Espessura do Substrato
ϵ_r	Permissividade Elétrica
μ	Permeabilidade Magnética
Q	Fator de Qualidade
Ω	Ohms
v_0	Velocidade da Luz no Espaço Livre
f_r	Frequência de Ressonância da Antena
ϵ_{ref}	Permissividade elétrica efetiva
ΔL	Permissividade elétrica efetiva
S_{11}	Coefficiente de Reflexão
S_{11}	Coefficiente de Reflexão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 SATÉLITES ARTIFICIAIS	13
2.1.1 PADRÃO CUBESAT	14
2.1.2 PROGRAMA CONASAT	15
2.2 ANTENAS EM MICROFITTA	16
2.2.1 MÉTODOS DE ALIMENTAÇÃO	19
2.2.1.1 ALIMENTAÇÃO POR LINHA DE TRANSMISSÃO	19
2.2.1.2 ALIMENTAÇÃO ATRAVÉS DE PROVA COAXIAL	20
2.2.1.3 ALIMENTAÇÃO POR PROXIMIDADE	21
2.2.1.4 ALIMENTAÇÃO POR FENDA	21
2.2.2 MÉTODOS SIMPLIFICADOS PARA A ANÁLISE DE ANTENAS DE MICROFITTA	22
2.2.2.1 MODELO DE LINHA DE TRANSMISSÃO ADAPTADO PARA O PATCH RETANGULAR	22
2.3 TÉCNICAS DE MINIATURIZAÇÃO DE ANTENAS	24
2.3.1 SUBSTRATOS DE ALTA CONSTANTE DIELETRICA	25
2.3.2 GEOMETRIAS FRACTAIS	25
2.3.2.1 CURVA E ILHA DE KOCH	26
3 MODELO PROPOSTO	28
3.1 INTRODUÇÃO	28
3.2 ESCOLHA DO SUBSTRATO UTILIZADO	28
3.3 MODELO UTILIZANDO O SUBSTRATO TACONIC CER - 10	30
3.4 OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS VIA O SOFTWARE ANSYS HFSS	32
3.5 APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE GEOMETRIA FRACTAL	34
4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	38
4.1 MODELO UTILIZANDO O SUBSTRATO TACONIC CER - 10	38
4.2 MODELO OTIMIZADO ATRAVÉS DO SOFTWARE ANSYS HFSS	38
4.3 MODELO UTILIZANDO GEOMETRIAS FRACTAIS	40
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Devido a necessidade e a suma importância da coleta de dados ambientais, o Brasil, assim como outros países, possui um sistema responsável apenas pelo cumprimento dessa missão. O Sistema Brasileiro de Coletas de Dados (SBCD) foi idealizado nos anos de 1970, entrando em operação no início de 1993, ano no qual o Brasil colocou em órbita o SCD1 (INPE, 2016).

Promovendo a aquisição dos dados ambientais brasileiros, por meio da utilização de satélites, o SBCD é composto por diversas Plataformas de Coleta de Dados Ambientais (PCD) espalhadas em solo e mar, onde cada uma delas possui sensores que extraem dados específicos à suas aplicações, transmitindo-os através da utilização de satélites até o centro de missão e coleta de dados (CMCD). O CMCD por sua vez, tem como objetivo o processamento e distribuição desses dados a diversas instituições, as quais dependem desses para a realização de estudos e controles ambientais na área de hidrologia, meteorologia, oceanografia, química da atmosfera, monitoramento do nível do reservatório de usinas hidrelétricas, entre outros. Devido a sua grande importância no cenário Nacional, o projeto recebeu em 1998 e em 2007, dois novos reforços, anos nos quais, respectivamente, entraram em operação os satélites SCD 2 e o CBERS-2B.

Com o objetivo de realizar a modernização do SBCD, surgiu o projeto conhecido como Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais (CONASAT), o qual possui a missão de conceber uma solução para o SBCD, baseado em nano satélites (INPE, 2016).

Assim, através da utilização de satélites cada vez menores, se torna necessária a utilização de antenas de pequenas dimensões as quais sejam capazes de realizar com êxito o envio das informações através de ondas que se propaguem no espaço, promovendo uma perfeita comunicação entre a constelação, o PCD e o CMCD.

Para isso, devido sua robustez, baixo custo de fabricação, pequeno volume e pequenas dimensões, as antenas de microfita ganharam espaço nesse segmento, tornando-se fundamentais para a realização da comunicação entre a constelação e as estações terrenas, aumentando ainda mais a eficiência do projeto SBCD.

Deste modo, o presente trabalho busca realizar a apresentação do projeto de um protótipo de antena em microfita, desenvolvido para realizar a comunicação entre as bases e a constelação, buscando posteriormente a comparação do protótipo inicial, com novos modelos obtidos através da aplicação de técnicas de miniaturização de antenas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para um melhor entendimento dos passos tomados para a realização do presente projeto, precisa-se primeiramente abordar alguns conceitos, os quais serão apresentados a seguir.

2.1 SATÉLITES ARTIFICIAIS

Satélites artificiais, são equipamentos construídos para operar na órbita Terreste, ou de outro corpo celeste, denominado como principal, como afirma o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses equipamentos, tornaram-se fundamentais no funcionamento de diversas tecnologias, desde sistemas de geo posicionamento até mesmo ferramentas de gerenciamento e sensoriamento remoto que gerenciam e controlam o desmatamento em florestas.

Esses equipamentos, podem ser classificados de acordo com dois quesitos. O primeiro, diz respeito a órbita e classifica os satélites em Highly Elliptical Orbit (HEO), Low Earth Orbit(LEO), Medium Earth Orbit(MEO) e Geosynchronous Earth Orbit (GEO), separados de acordo com a altitude a qual orbitam. Já o segundo critério de rotulação, analisa a massa do satélite, classificando-o em grande e médio porte, minissatélites, microsatélites, nanosatélites, picosatélites e femtosatélites. A magnitude dos valores que definem esses equipamentos dentro de suas classes, pode ser observada através das Tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1 – Classificação dos satélites de acordo com as principais órbitas

Tipos de Órbitas	Altitude
LEO	Até 1.000 Km
MEO	Entre 10.000 e 14.000 Km
GEO	36.000 Km

Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2018)

Tabela 2.2 – Classificação dos satélites de acordo com sua massa

Classe	Massa (Kg)
Grande Porte	>1.000
Médio Porte	500 - 1.000
Minissatélites	100 - 500
Microssatélites	10 - 100
Nanossatélites	1 - 10
Picossatélites	0,1 - 1
Femtossatélites	<0,1

Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2018)

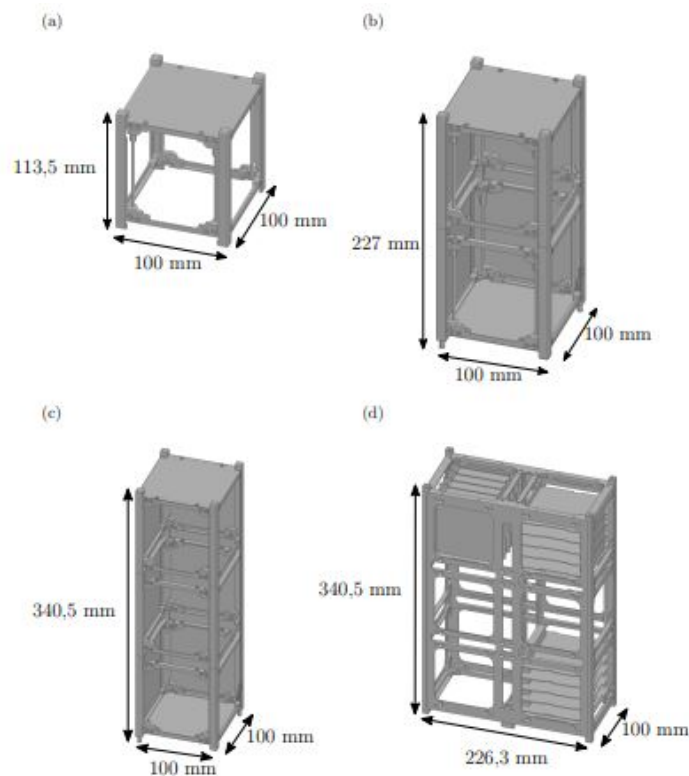
Através da evolução tecnológica em termos de componentes eletrônicos, se tornou possível a elaboração de satélites cada vez menores, equipados com sensores muitas vezes superiores aos que eram utilizados nos primeiros modelos desenvolvidos. Como consequência dessa redução, obtém-se uma diminuição no seu custo de lançamento.

2.1.1 PADRÃO CUBESAT

O Padrão Cubesat foi desenvolvido em 1999 pela Universidade Politécnica da Califórnia(Cal Poly) e a Universidade de Stanford. Teve como objetivo principal, padronizar o projeto de pequenos satélites, diminuindo assim seus custos e tempo de desenvolvimento, proporcionando um aumento na frequência de lançamentos (POLY, 2014).

Considerando modelos baseados em cubos de dimensões pré definidas com arestas de 10 cm e massa de cerca de 1,33 Kg, possibilita a criação de satélites classificados em uma unidade comum (U), mantendo uma escala padrão (VIEIRA, 2019). A organização e a disposição desses blocos que caracterizam os satélites podem ser observadas através da Figura 2.1.

Figura 2.1 – Modelo de patch retangular



Fonte: Adaptado de (VIEIRA, 2019)

2.1.2 PROGRAMA CONASAT

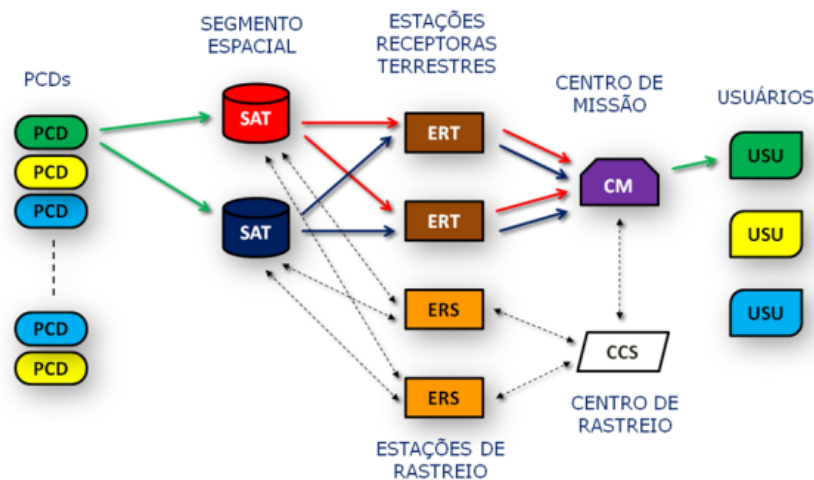
O programa CONASAT foi criado com o missão de conceber uma solução para o SBCD, baseado na utilização de satélites com massa entre 1kg a 10kg, utilizando tecnologias emergentes nos ramos da eletrônica e das telecomunicações (LIMA; JOTHA; BIONDI, 2011). A constelação de Nanosatélites desenvolvidos pelo programa CONASAT, busca uma modernização do modelo abordado inicialmente pelo SBCD, proporcionando uma estrutura capaz de realizar a coleta de dados em qualquer PCD espalhadas por todo o território Nacional. Garantindo assim a continuidade da coleta de dados ambientais para o SBCD por meio de uma constelação de nanosatélites de baixo custo, buscando a ampliação do alcance geográfico do serviço prestado, incluindo também ao território de análises, faixas de território inclusos do Oceano Atlântico Tropical (LIMA; JOTHA; BIONDI, 2011).

A arquitetura busca aproveitar ao máximo a já existente e utilizada pelo SBCD, sendo constituída de uma rede de PCD espalhadas por todo o território Nacional, fixas e móveis, localizadas nos mais diversos locais, como embarcações, estações terrenas e boias. Os dados coletados pelas plataformas de coletas, devem chegar ao CMCD, onde esses são armazenados e processados, sendo distribuídos aos usuários finais. Para isso, é utilizada

uma constelação de nanosatélites, bem como estações de recepção terrestre, estações de rastreo e centro de rastreo, onde esses quatro segmentos, operando em conjunto são responsáveis pela retransmissão dos dados obtidos pelas PCD até o centro de missão e coleta de dados (LIMA; JOTHA; BIONDI, 2011).

A arquitetura geral da missão CONASAT, pode ser observada através da Figura 2.2.

Figura 2.2 – Arquitetura da Missão CONASAT



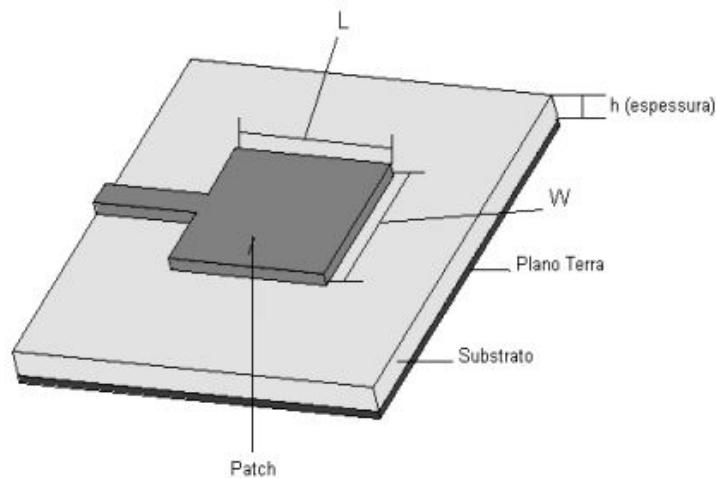
Fonte: (LIMA; JOTHA; BIONDI, 2011)

2.2 ANTENAS EM MICROFITA

Podemos definir uma antena como um dispositivo capaz de receber ou transmitir ondas eletromagnéticas podendo ser agrupada em famílias de acordo com seu diagrama de radiação ou caracterizada de acordo com seu método de construção. Para antenas de microfita a ideia permanece exatamente a mesma, sendo que sua principal diferença para as antenas convencionais está em sua estrutura, composta basicamente de um condutor metálico separado do plano terra por um substrato com constante dielétrica conhecida. Antenas com essas características, são dispositivos amplamente utilizados para diversas aplicações em aeronaves, satélites, entre outras necessidades as quais necessitem de uma boa performance assentada a baixo peso e pequenas dimensões. Além de suas vantagens físicas, como pequenas dimensões e baixo peso, esse tipo de antena apresenta características construtivas importantes, como por exemplo a estreita largura de banda, compatibilidade com circuitos integrados e radiação unidirecional. (BALANIS, 2015) (JAMES et al., 1989) (POZAR, 1985) (FERREIRA, 2016).

O esquemático básico para o entendimento desse tipo de tecnologia pode ser observado através da Figura 2.3.

Figura 2.3 – Modelo de patch retangular



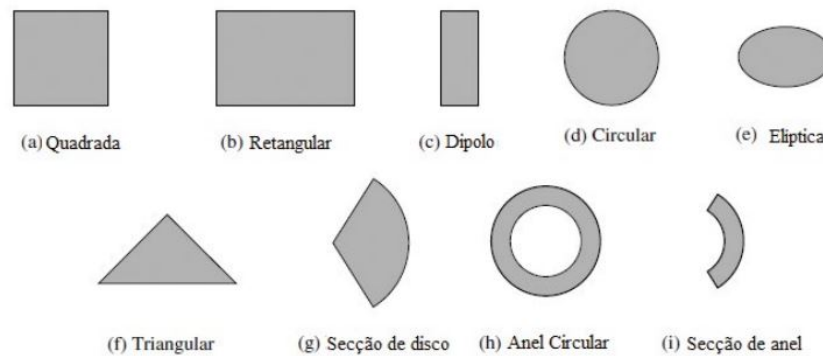
Fonte: (BALANIS, 2015)

Diferentes materiais podem ser utilizados como substratos no projetos de antenas com microfita, com constantes dielétricas entre $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$. O tipo de substrato escolhido depende da aplicação da antena. Materiais mais espessos e com constante dielétrica de baixo valor, permitem uma maior eficiência, maior largura de banda e melhor irradiação dos campos eletromagnéticos. (BALANIS, 2015).

Porém, deve se ter um equilíbrio entre as condições de melhorias e as limitações estruturais da antena, tendo em vista que a utilização de substratos mais espessos ocasionam o excitamento de ondas de superfície, desperdiçando parte da potência fornecida pela fonte (FERREIRA, 2016).

Já os elementos irradiantes e linhas de alimentação, são gravados na parte metálica da placa sobre o substrato dielétrico, de acordo com o formato do patch desejado, o qual pode ser quadrado, retangular, setor de disco, anel ou setor de anel, entre outros. Os formatos mais utilizados para a composição de elementos irradiantes para antenas de microfita podem ser observados através da Figura 2.4.

Figura 2.4 – Representação da forma de patches em microfita



Fonte: (BALANIS, 2015)

Antenas em microfita apresentam a capacidade de operar em múltiplas bandas, com fácil integração a circuitos de microondas devido a seu formato, baixo arrasto aerodinâmico, porém quando comparado aos modelos de antenas convencionais, como Yagis, Painéis Setoriais, Parabólicas entre outras encontradas no mercado, essas acabam apresentando algumas desvantagens como sua banda reduzida, eficiência moderada, baixo ganho e baixa capacidade de potência, a relação entre as principais vantagens e desvantagens de antenas de microfita pode ser observada através da Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Comparação entre antenas casuais e de microfita

Vantagens	Desvantagens
Baixo peso e pequenas dimensões	Largura de banda estreita
Baixo arrasto aerodinâmico	Eficiência moderada
Capacidade de operar em duas ou múltiplas bandas	Baixo ganho
Robustez mecânica quando montada sobre uma superfície rígida	Baixa capacidade de potência

Fonte: Adaptado de (BERNARD; ILOH, 2013)

A diferença de potencial entre o elemento irradiador e o plano terra, faz com que se crie linhas de campos que se desprendem do patch e continuam a se propagar pelo espaço.

Antenas de microfita são projetadas de modo que apresentem a máxima irradiação na região normal ao patch, possuindo um elevado fator de qualidade (Q) o qual pode ser reduzido conforme se aumenta a espessura do substrato dielétrico. Contudo, conforme se alarga a espessura do substrato, parte da potência fornecida pela fonte é desperdiçada, causando degradações nas características da antena. (FERREIRA, 2016).

2.2.1 MÉTODOS DE ALIMENTAÇÃO

A escolha do método de alimentação utilizado pela antena tem relação direta com a complexidade e eficiência do elemento irradiado, e sua definição deve ser cuidadosamente analisada de acordo com sua aplicação. Esses métodos podem ser divididos em dois grandes grupos, alimentação por contato como por exemplo a alimentação por linha ou prova coaxial e sem contato, onde nesse segundo grupo estão presentes as alimentações por acoplamento eletromagnético, seja ele por fenda ou por aproximação.

Cada método apresenta suas particularidades e devemos levar em conta principalmente a Radiação Espúria emitida pela linha de alimentação, sua confiabilidade, complexidade de fabricação e seu casamento de impedância.

Através da Tabela 2.4, pode-se relacionar cada um desses métodos a suas particularidades.

Tabela 2.4 – Métodos de alimentação e suas particularidades

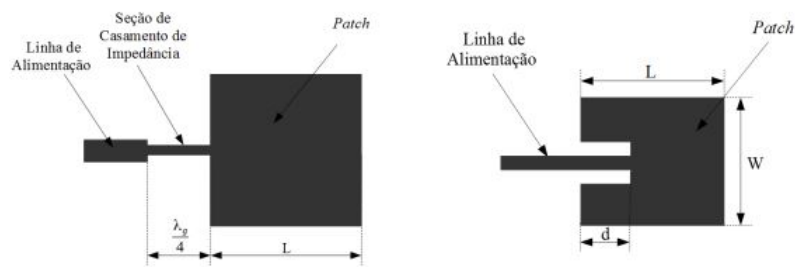
Características	Linha de Transmissão	Prova Coaxial	Acoplamento por Abertura	Acoplamento por proximidade
Radiação espúria	Alta	Alta	Baixa	Baixa
Confiabilidade	Boa	Pobre	Boa	Boa
Fabricação	Fácil	Perfuração e soldagem	Atenção ao alinhamento da estrutura	Atenção ao alinhamento da estrutura
Casamento de Impedância	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil

Fonte: (BALANIS, 2015)

2.2.1.1 ALIMENTAÇÃO POR LINHA DE TRANSMISSÃO

Um dos métodos mais tradicionais e simples implementação, sendo gravada juntamente com o patch na estrutura de cobre sobre o substrato. Apresenta baixa complexidade e seu método para controle de casamento pode ser realizado através da implementação de um transformador de um quarto de comprimento de onda ou a criação de lacunas no substrato de modo a inserir a linha de alimentação até um ponto de menor impedância dentro do patch. A representação desse método de alimentação pode ser observada na Figura 2.5, bem como os métodos utilizados para a realização do casamento de impedância.

Figura 2.5 – Método de de alimentação por linha



Fonte: (JAMES et al., 1989)

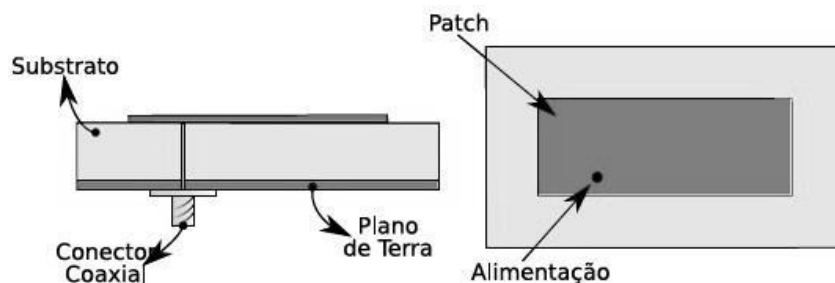
O problema desse tipo de alimentação está relacionado a sua estreita largura de banda, que ao ser solucionado com o alargamento da espessura do dielétrico gera um aumento na presença de ondas de superfície e irradiação espúria.

2.2.1.2 ALIMENTAÇÃO ATRAVÉS DE PROVA COAXIAL

Estrutura de alimentação composta por um prova coaxial inserida pela parte inferior do patch. Consiste de um condutor inserido pela parte de baixo do patch, atravessando a estrutura dielétrica e se conectando ao patch em um ponto onde se obtenha uma impedância de entrada de 50Ω .

O casamento de impedância nesse tipo de alimentação, é obtida através da posição da prova em relação ao patch, sendo similar ao ponto de conexão da linha no método apresentado anteriormente. O esquemático básico por trás dessa tecnologia pode ser observado na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Método de de alimentação por prova coaxial



Fonte: (BALANIS, 2015)

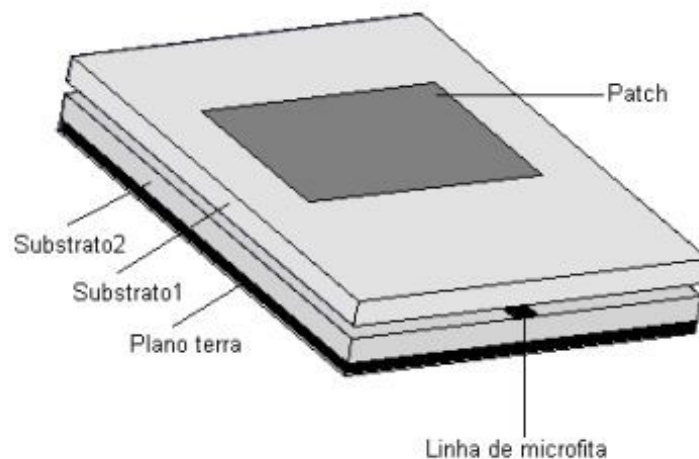
Porém ao se considerar esse tipo de alimentação para antes de microfita, se observa que no momento em que se busca aumentar a largura de banda e conseqüentemente a espessura do substrato, introduz-se um reatância indutiva de prova que acaba por dificultar o casamento de impedância. A vantagem desse método está relacionado com a

sua posição em relação ao patch, pois por serem introduzidos por trás do hemisfério de radiação acabam por não inserir efeitos indesejados ao diagrama de irradiação.

2.2.1.3 ALIMENTAÇÃO POR PROXIMIDADE

Técnica essa implementada através do posicionamento da linha de alimentação entre o patch e o plano terra, sendo separados esses através de duas camadas dielétricas. Esse método de acoplamento eletromagnético ajuda a contornar problemas como por exemplo a limitada largura de banda desse tipo de antena, apresentando como outra vantagem, uma baixa radiação espúria. Porém sua dupla camada de dielétrico acaba por gerar uma maior dificuldade durante a fabricação da antena. Pode-se observar através da Figura 2.7, uma antena alimentada por meio do acoplamento por proximidade.

Figura 2.7 – Método de de alimentação por proximidade



Fonte: (BALANIS, 2015)

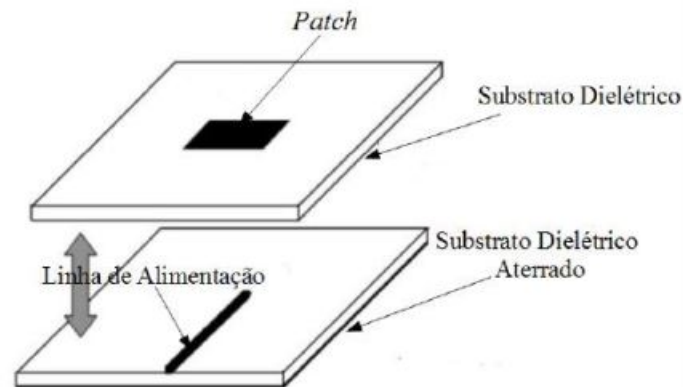
2.2.1.4 ALIMENTAÇÃO POR FENDA

Entre todos os métodos aqui apresentados, esse é o mais difícil de se implementar. No entanto, apresenta uma baixa interferência eletromagnética devido a radiação espúria, promovendo assim uma maior pureza de polarização, não degradando o diagrama de irradiação da antena. Antenas que utilizam esse método de alimentação são formadas por dois substratos separados pelo plano terra, sendo o dielétrico abaixo do terra composto por um material que apresenta espessura e constante dielétrica menor quando comparados ao substrato de cima, sendo a energia acoplada através de aberturas feitas no plano terra superior a linha de alimentação. Este sistema apresenta maior acoplamento de energia de

alimentação devido à maior concentração de campos acima da linha de alimentação em que a abertura está posicionada (JAMES, 1989).

Podemos observar através da Figura 2.8, uma representação desse tipo de alimentação.

Figura 2.8 – Método de de alimentação por fenda



Fonte: (BALANIS, 2015)

2.2.2 MÉTODOS SIMPLIFICADOS PARA A ANÁLISE DE ANTENAS DE MICROFITA

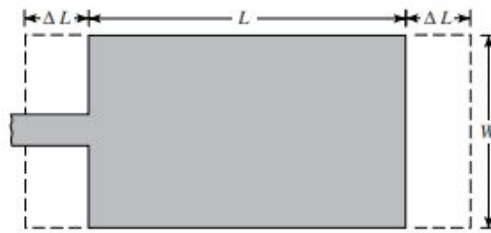
Existem diversos métodos para a análise de antenas de microfita, sendo os mais populares os de linha de transmissão, cavidade ressonante e onda completa. Para fins de teste, utiliza-se nesse trabalho o método da linha de transmissão, pois a partir do mesmo torna-se possível determinar as dimensões da antena de uma forma simples e rápida. Esse método parte do princípio de um modelo de linha de transmissão para realizar a modelagem da antena de microfita. Quando comparado aos outros dois citados nesse capítulo, esse apresenta uma menor precisão, simples para o cálculo das dimensões aproximadas do patch, conforme(BALANIS, 2015).

2.2.2.1 MODELO DE LINHA DE TRANSMISSÃO ADAPTADO PARA O PATCH RETANGULAR

Embora apresente uma menor precisão quando comparado a outros métodos, o modelo de linha de transmissão apresenta, desde que considerado algumas tolerâncias, resultados iniciais satisfatórios, desde que restritos a patches retangulares.

As Figuras 2.9, 2.10 e 2.11 apresentam as dimensões a serem consideradas no modelagem por linha de transmissão.

Figura 2.9 – Vista Superior



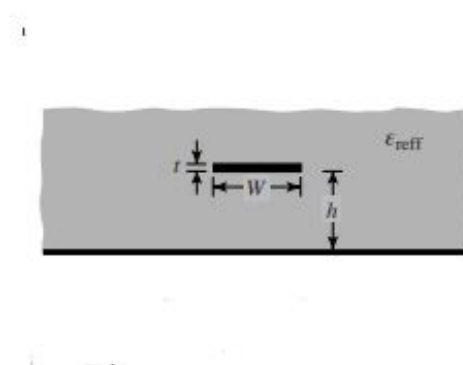
Fonte: (BALANIS, 2015)

Figura 2.10 – Linhas de Campo



Fonte: (BALANIS, 2015)

Figura 2.11 – Linha de Transmissão



Fonte: (BALANIS, 2015)

Utilizando o modelo de linha de transmissão, as dimensões e características de uma antena de microfita com patch retangular podem ser obtidas através das equações 2.1,

2.2, 2.3 e 2.4, conforme afirma (VIEIRA, 2019).

$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.1)$$

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W}\right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

$$\Delta_L = 0,412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{ref} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} \quad (2.3)$$

$$L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{ref}}} - 2\Delta_L \quad (2.4)$$

onde :

- f_r é a frequência de operação em Hz
- ϵ_{ref} é a permissividade elétrica efetiva;
- ϵ_r é a permissividade elétrica relativa do substrato;
- h é a espessura do substrato;
- W e L se referem respectivamente a Largura e Comprimento o Patch e podem ser observados nas Figuras 2.9, 2.10 e 2.11;
- Δ_L faz referência ao valor de extensão do patch;
- v_0 é a velocidade da luz no espaço livre;

2.3 TÉCNICAS DE MINIATURIZAÇÃO DE ANTENAS

As antenas de microfita, possibilitaram a evolução tecnológica em diversos segmentos, como por exemplo o espacial. Essa evolução, estimulou estudos com objetivos de aprimorar esse tipo de antena, possibilitando a partir da utilização de técnicas, realizar uma diminuição de suas dimensões, tornando esse modelo de antena mais robusto. As técnicas de minituarização avaliadas e comparadas nesse trabalho são as de substratos dielétricos de alta permissividade e as técnicas de geometrias fractais.

Dentre as principais técnicas de miniaturização, destaca-se Técnicas de Geometrias Fractais, a utilização de substratos dielétricos de alta permissividade.

2.3.1 SUBSTRATOS DE ALTA CONSTANTE DIELÉTRICA

O substrato é um material físico constituído de espessuras que variam de alguns microns até poucos centímetros apresentando formatos retangulares ou em pastilha (SOUZA, 2014).

A escolha do substrato utilizado para o projeto de antenas de microfita é um fator fundamental para seu bom funcionamento, para isso, é necessário analisar o tipo de antena a ser confeccionada, sua aplicação e a frequência de operação (SOUZA, 2014).

A utilização de substratos com uma alta permissividade relativa (ϵ_r), não possui uma relação com alterações realizadas ao desenho do patch, como é o caso das Geometrias Fractais. Mas tem como um de seus resultados a diminuição física da antena, tendo em vista que os valores de suas dimensões estão diretamente ligadas a valores de outras constantes, responsáveis pela modelagem da antena, conforme observamos através das Equações 2.2, 2.1, 2.3 e 2.4.

2.3.2 GEOMETRIAS FRACTAIS

Estruturas fractais, são estruturas que possuem uma propriedade especial, que é construir uma imagem de si própria em cada uma de suas partes, sendo gerada a partir de uma lei de formação matemática (SOUZA, 2018). Essas estruturas apresentam invariância na sua forma à medida em que a escala, sob a qual a mesma é analisada, é alternada, mantendo-se sua estrutura igual a original (ASSIS et al., 2008).

Essas estruturas, apresentam algumas propriedades que as caracterizam, sendo as principais: a auto-semelhança e complexidade infinita. A primeira, consiste em uma das principais características dos fractais, e afirma que é possível se obter réplicas menores de uma forma por meio de sua divisão, apresentando um mesmo aspecto visual, independente de um aumento ou uma diminuição de escala. Já a complexidade infinita nos diz que os fractais são gerados por processos recursivos, ou seja a medida que busca-se um maior número de interações dentro do processo, é encontrado cada vez um maior número de detalhamento, tendo em vista que as formas se replicam. Desta forma, matematicamente é possível obter formas fractais com um detalhamento infinito, gerando assim, estruturas fractais complexas (MEDEIROS, 2013).

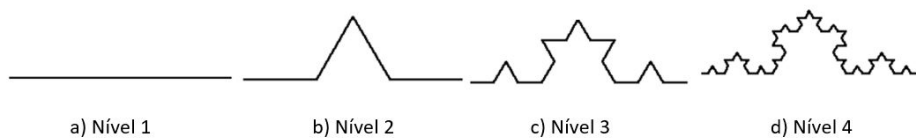
Os fractais, podem ser classificados e definidos por sistemas de funções iteradas, por uma relação de recorrência ou de forma aleatória. Quando analisados, os modelos definidos de forma iteradas, encontram-se modelos definidos por matemáticos os quais apresentam suas características e formas de obtenção, dentre os mais conhecidos destacam-se: o Conjunto de Cantor, Curva de Peano, Curva de Hilbert, Curva de Koch, Ilha de Koch, Triângulo de Sierpinski, Tapete de Sierpinski e Esponja de Menger (MEDEIROS,

2013).

2.3.2.1 CURVA E ILHA DE KOCH

A construção da curva de Koch, ocorre de maneira iterativa, partindo de um segmento de reta e o dividindo em 3 segmentos iguais, onde o segmento do meio é substituído por um triângulo equilátero sem a aresta de sua base (MEDEIROS, 2013). Realizando esse procedimento repetidamente, chegamos a um resultado semelhante ao apresentado na Figura 2.12.

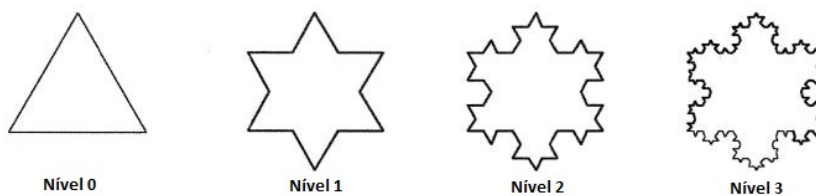
Figura 2.12 – Curva de Koch



Fonte: Adaptado de (MEDEIROS, 2013)

A partir da Curva de Koch, consegue-se chegar a uma outra definição, conhecida como Ilha de Koch. Sua geração, inicia-se a partir de um triângulo equilátero, construindo-se para cada lado do triângulo, sua respectiva Curva de Koch, obtendo-se um resultado semelhante ao apresentado na Figura 2.13.

Figura 2.13 – Ilha de Koch



Fonte: Adaptado de (MEDEIROS, 2013)

A medida em que se evolui nos níveis, encontra-se cada vez mais um número maior de lados com comprimentos cada vez menores, justificando a complexidade infinita. O número de lados, bem como seus comprimentos até um nível K , podem ser observados através da Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Características da Ilha de Koch

Iterações	Número de Lados	Comprimento dos Lados
0	$3 \times 4^0 = 3$	$3^0 = 1$
1	$3 \times 4^1 = 12$	$3^{-1} = \frac{1}{3}$
2	$3 \times 4^2 = 48$	$3^{-2} = \frac{1}{9}$
3	$3 \times 4^3 = 192$	$3^{-3} = \frac{1}{27}$
...
k	3×4^k	3^{-k}

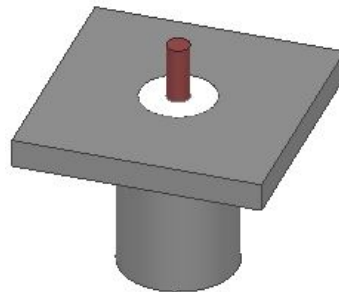
Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2018)

3 MODELO PROPOSTO

3.1 INTRODUÇÃO

O modelo projetado, tem como objetivo estabelecer o enlace de subida entre as PCD's e os nanosatélites. Desde modo a mesma precisa operar em uma frequência central de $401MHz$, largura de banda de $4MHz$ e uma polarização circular à direita. Vale ressaltar que por se tratar de uma simulação, a ponto de levantar os principais componentes necessários para a realização do projeto desse tipo de antena, foi utilizado no modelo uma polarização linear, não havendo assim o desenvolvimento de circuitos para a adequação do modelo proposto ao utilizado. Outro ponto importante a ser frisado, faz referência ao modelo de alimentação utilizado, sendo optado pela prova coaxial, juntamente com um conector SMA semelhante ao apresentado na Figura 3.1, ambos modelados para uma impedância de entrada de 50Ω .

Figura 3.1 – Conector SMA modelado



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

3.2 ESCOLHA DO SUBSTRATO UTILIZADO

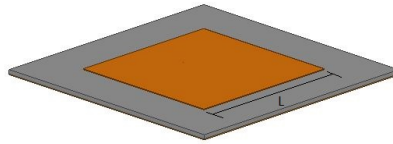
Devido a necessidade de otimizar as dimensões das antenas, bem como diminuir seu peso, partiu-se da utilização de um substrato com um maior ϵ_r , sendo escolhido para para análise e posteriormente aplicação no projeto o Tactonic CER-10 e o Rogers RO 4360G2 os quais apresentam constantes dielétricas respectivamente de 10 e 6,15 e espessura de 3,18mm e 0,61mm. Além da diminuição da dimensão das antenas, a utilização desses substratos busca obter bons valores para os parâmetros do Coeficiente de Reflexão (S_{11}), bem como uma largura de banda (BW) satisfatória (SOUZA, 2014).

Para o cálculo das dimensões iniciais utilizadas para ambos os modelos de antena,

aplicou-se o método da Linha de Transmissão o qual é descrito nesse trabalho. Como comentado anteriormente, por se tratar de uma técnica de modelagem simples, as dimensões encontradas através dela devem sofrer ajustes a fim de otimizar seus valores, e assim tornar possível por meio da antena desenvolvida atender as necessidades de projeto.

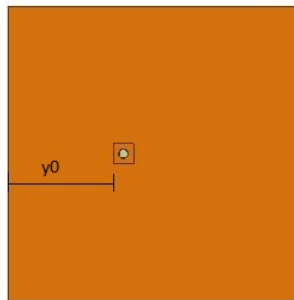
As Figuras 3.2 e 3.3 nos trazem a ideia do modelo projetado.

Figura 3.2 – Perspectiva Trimétrica



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Figura 3.3 – Perspectiva Inferior



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Através da Tabela 3.1 pode-se observar a relação das dimensões encontradas.

Tabela 3.1 – Comparação entre os Substratos RO 4360G2 e CER - 10

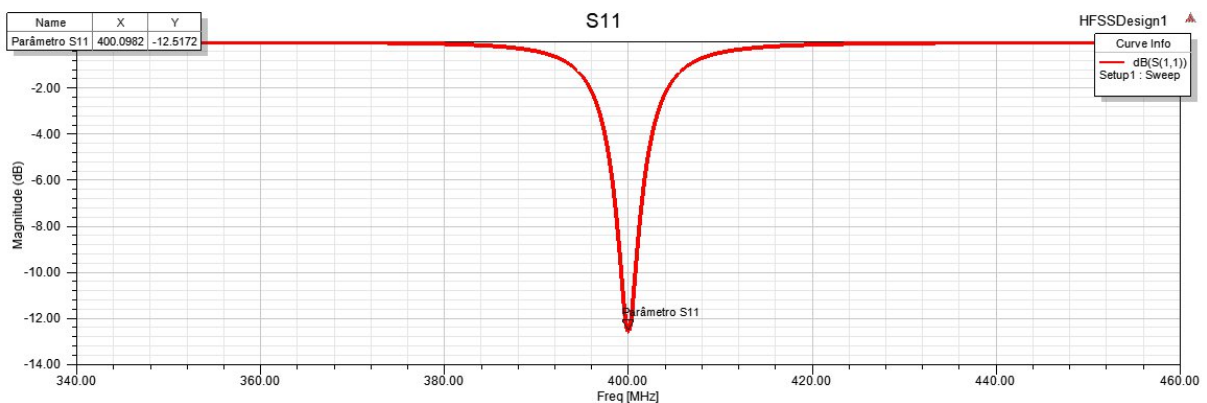
Substrato		Método da Linha de Alimentação
Taconic CER - 10	L	118 mm
	y0	40,9 mm
Rogers RO 4360G2	L	150 mm
	y0	49

Como é possível observar, as dimensões encontradas através da utilização do substrato Tactonic CER-10 são menores do que quando comparados ao do Rogers RO 4360G2, isso se dá pela relação existente entre a ϵ_r e as dimensões física da antena, conforme pode-se observar nas equações 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 . Devido a isso e pela necessidade de se obter pequenas dimensões e uma maior largura de banda, as simulações tiveram continuidade utilizando o substrato Tactonic CER-10, o qual apresenta uma maior permissividade e espessura.

3.3 MODELO UTILIZANDO O SUBSTRATO TACONIC CER - 10

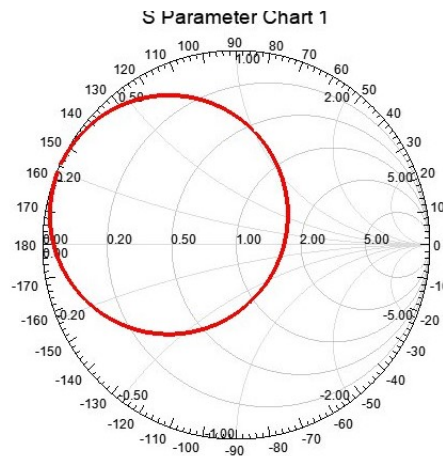
O substrato Taconic como já falado anteriormente, apresenta uma espessura (h) de 3,18mm e uma permissividade elétrica (ϵ_r) de cerca de 10. Com essas informações juntamente com as encontradas através da modelagem pelo método de linha de transmissão e apresentadas na Tabela 3.1 foi possível através da utilização da plataforma de simulação eletromagnética ANSYS HFSS realizar a simulação e encontrar dados apresentados nas Figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

Figura 3.4 – Padrão S11



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

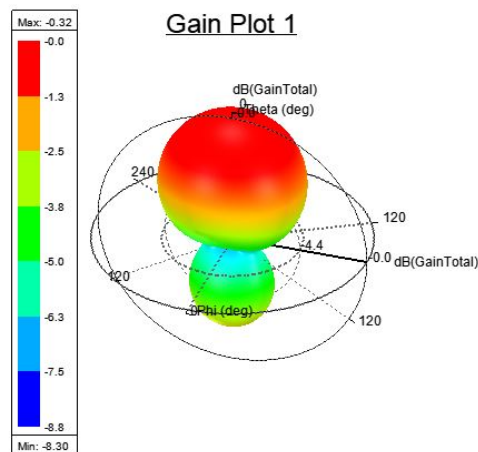
Figura 3.5 – Carta de Smith



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

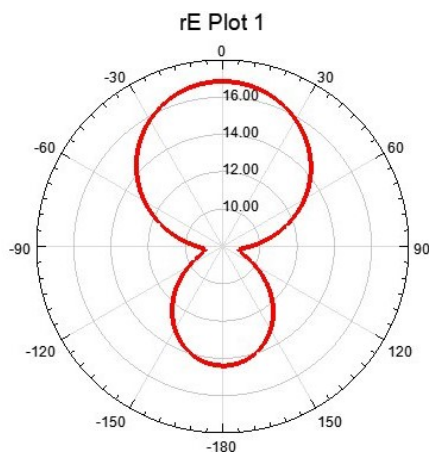
É possível observar a existência de um descasamento de impedância no modelo obtido através do método da linha de transmissão, tendo em vista que o círculo obtido e apresentado na Figura 3.5, não cruza o centro da carta, demarcado com o valor unitário. Deste modo, torna-se necessária a correção da impedância de entrada para um melhor aproveitamento da antena projetada.

Figura 3.6 – Diagrama de Ganho



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Figura 3.7 – Diagrama de Radiação



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Ao se analisar as Figuras 3.6 e 3.7, nota-se que o modelo apresenta um ganho de $8,3 \text{ dB}$ e embora ocorra a existência de um lóbulo traseiro, a antena é definida como uma antena diretiva.

3.4 OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS VIA O SOFTWARE ANSYS HFSS

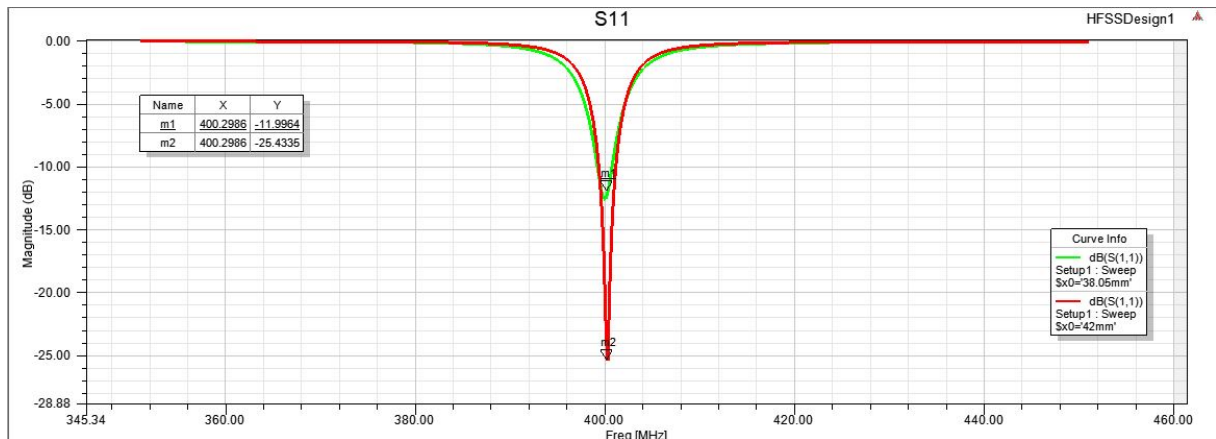
O método de modelagem através da linha de transmissão, embora apresente uma baixa complexidade em sua implementação, apresenta resultados que podem ser otimizados, buscando assim uma melhor eficiência do modelo projetado. Para isso utilizou-se uma ferramenta disponível no software ANSYS HFSS, a qual permite a seleção de determinadas variáveis, para testes interativos dentro de um determinado intervalo. Desta forma, encontrou-se valores diferentes para alguns parâmetros, conforme apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Comparação entre o modelo otimizado e não otimizado

Antena		Dimensões
Não Otimizada	L	118 mm
	y0	40,9 mm
Otimizada	L	117,5 mm
	y0	42 mm

A aplicação dessas alterações ao modelo, possibilitou a otimização de alguns parâmetros da antena, obtendo-se assim, uma melhora na frequência de ressonância da antena, um aprimoramento do parâmetro S_{11} e uma correção da impedância de entrada da antena, conforme observa-se nas Figuras 3.8 e 3.9.

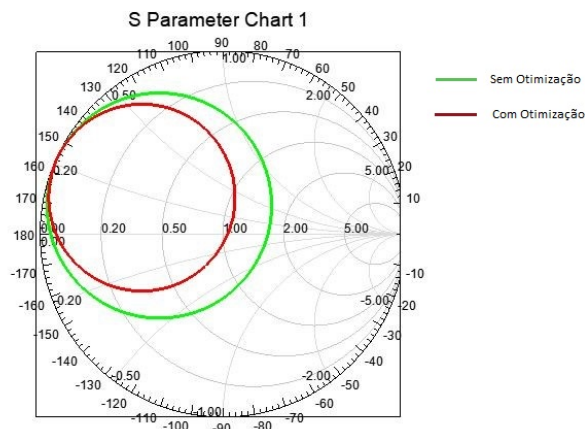
Figura 3.8 – Padrão S11 - Modelo Otimizado



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Através da Figura 3.8, observa-se uma melhora no padrão S11, reduzindo assim, o coeficiente de reflexão da antena projetada.

Figura 3.9 – Carta de Smith - Modelo Otimizado



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Observa-se através da Figura 3.9, uma melhora na impedância de entrada da antena, ocasionando um melhor casamento de impedância entre a antena, conector, cabo e rádio, os quais devem possuir uma impedância de cerca 50Ω , resultando assim em uma melhor transferência entre as partes de um sistema de telecomunicações.

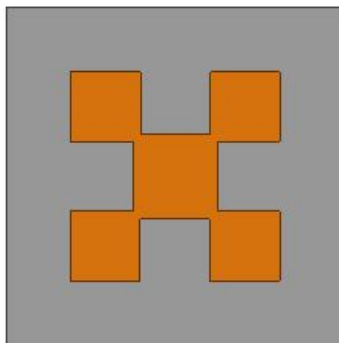
Deste modo, através da ferramenta disponível no software ANSYS HFSS, encontram-se melhores resultados para a antena projetada, corrigindo como por exemplo, sua impedância de entrada e obtendo-se assim, valores satisfatórios para os parâmetros analisados.

3.5 APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE GEOMETRIA FRACTAL

A técnica de Geometria Fractal foi aplicada ao modelo obtido após a otimização realizada no software ANSYS HFSS, com o objetivo de avaliar a área ocupada pelo cobre, e tentar reduzir o peso total da antena. Os procedimentos adotados foram baseados na Tabela 2.5, a qual apresenta uma relação entre o número de interação adotada, o número de lados e o valor adotado para a redução.

Utilizou-se um modelo de nível dois, sendo em um primeiro momento necessário a redução da antena para lados iguais a $\frac{1}{3}$ do valor estabelecido na Tabela 2.4 para L , ou seja, cerca de 39,16 mm (nível 1), obtendo-se o layout apresentado na Figura 3.10.

Figura 3.10 – Vista Superior - Fractal Nível 1

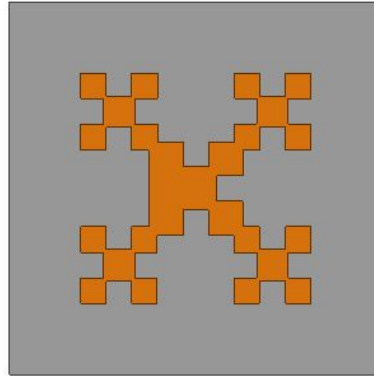


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

O modelo apresentado na Figura 3.10 não teve seus resultados de impedância, ganho e coeficiente de reflexão testados, tendo em vista que a aplicação do fractal de nível 1 faz parte do processo de interação e torna-se necessário antes da aplicação dos fractais de níveis 2, tendo em vista que trata-se de um processo iterativo.

Para o dimensionamento dos lados do fractal de nível 2, adotou-se um fator de redução de $\frac{1}{9}$ de L , respeitando o valor definido na Tabela 2.4 e o procedimento apresentado na Tabela 2.5, onde o modelo encontrado, pode ser analisado através da Figura 3.11.

Figura 3.11 – Vista Superior - Fractal Nível 2

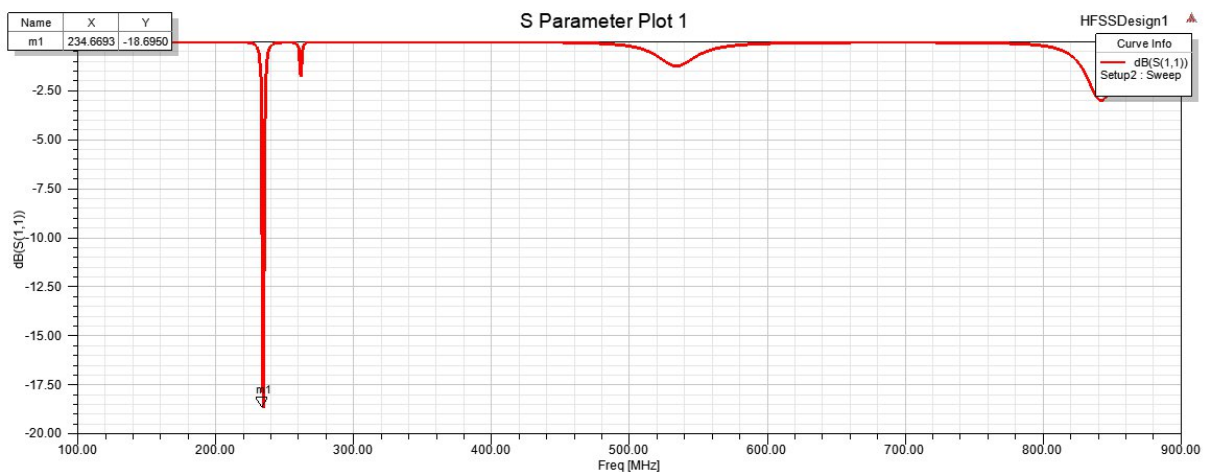


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Pode-se observar tanto na Figura 3.10, como na Figura 3.11 o fenômeno da auto-similaridade, onde cada um dos pequenos quadrados representa uma réplica menor do patch original, apresentando um mesmo aspecto visual e mantendo a dimensão de 117,5 mm entre as extremidades do patch.

O modelo proposto, que considera um fractal de nível 2 e é exposto na Figura 3.11, apresenta uma significativa redução na utilização de cobre no patch da antena, porém a utilização da técnica de geometrias fractais acarretou em significativas alterações nos valores de impedância, ganho e coeficiente de reflexão, alterando até mesmo a frequência de ressonância do modelo estudado, conforme observa-se na Figura 3.12.

Figura 3.12 – Padrão S11 - Fractal Nível 2



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

É possível observar, um intervalo maior de análise quando comparado ao apresentado na Figura 3.8, isso se dá pelo fato de que tornou-se necessário a ampliação da faixa

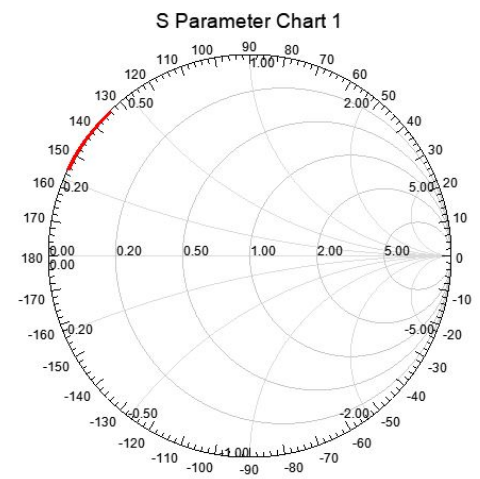
de frequência analisada de 351 a 451 MHz , para 100 a 900 MHz de modo à conseguir identificar a nova frequência de ressonância.

As possíveis causas para a alteração da frequência de ressonância, esta no fato que ao se alterar o formato do patch, modifica-se o diagrama de radiação da antena, isto é, a forma como as ondas eletromagnéticas se desprendem da antena. Essa alteração se deve, provavelmente a alteração da distribuição de corrente no patch devido sua nova forma.

A aplicação de geometrias fractais fez com que a frequência de operação passasse do projetado no modelo inicial que era de 401 MHz , para 234 MHz no modelo fractal.

Outro fator que devemos ressaltar, é a alteração do casamento de impedância da antena, onde podemos observar através da Figura 3.13, onde a linha traçada foge do círculo central da carta.

Figura 3.13 – Carta de Smith - Fractal Nível 2 em 401 MHz

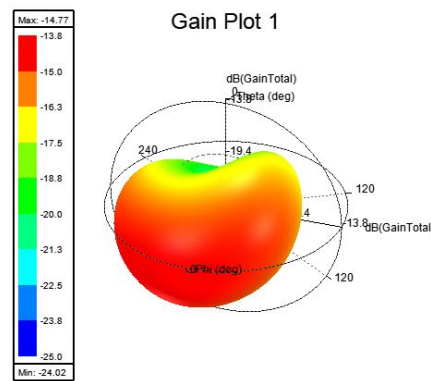


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

O ponto que define a impedância de entrada da antena, é a distância entre a extremidade do patch e o ponto de alimentação. Ao se definir o valor para essa distância, estamos definindo o ponto onde encontra-se a impedância desejada, no caso, 50 Ω . Ao se aplicar as geometrias fractais, criamos uma alteração na distância entre o ponto de alimentação e a extremidade do patch e conseqüentemente, uma mudança na impedância de entrada da antena para a frequência de 401 MHz .

Outro fator que devemos analisar, é o diagrama de ganho e de radiação da antena, o qual podemos observar através da Figura 3.14.

Figura 3.14 – Diagrama de Ganho- Fractal Nível 2

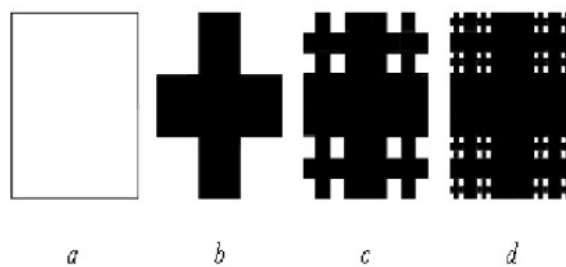


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Observa-se um brusca mudança no diagrama da antena após a aplicação do fractal de segundo nível, onde além de seu ganho percebe-se uma drástica mudança na diretividade da antena, oriundo da alteração do na geometria do elemento irradiador da antena.

A ideia neste estudo inicial a respeito da geometria fractal foi desenvolver uma metodologia para implementação da geometria no software utilizado para simulação, nesse caso o HFSS. Outro objetivo foi avaliar a variação da largura de banda, frequência de ressonância a partir da redução da percentagem de cobre da antena em microfita. Baseado nos resultados obtidos e considerando o prazo para apresentação dos resultados desse trabalho, uma proposta futura, é a utilização da geometria fractal denominada Quadrado de Cantor, a qual possui sua representação mostrada na Figura 3.15.

Figura 3.15 – Quadro de Cantor



Fonte: Adaptado de (JENA et al., 2019)

Essa geometria é gerada a partir de uma estrutura básica cuja a forma é um sinal de adição. Então, quatro números de estrutura em forma de sinal de adição são criados em uma segunda e após dezesseis são criados e este procedimento continua para outras iterações, conforme mostrado na a Figura 3.15.

Nesse caso, pode-se acrescentar uma quantidade de cobre em cada iteração e avaliar os resultados obtidos para o diagrama de radiação, frequência de ressonância e impedância da antena.

4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

4.1 MODELO UTILIZANDO O SUBSTRATO TACONIC CER - 10

O substrato Taconic como já falado anteriormente, apresenta uma espessura (h) de 3,18 mm e uma permissividade elétrica (ϵ_r) de cerca de 10. Com essas informações juntamente com as encontradas através da modelagem pelo método de linha de transmissão e apresentadas na Tabela 3.1 foi possível através da utilização da plataforma de simulação eletromagnética ANSYS HFSS realizar a simulação e encontrar os dados apresentados nas Figuras 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7 e na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características do modelo utilizando o substrato Taconic CER-10

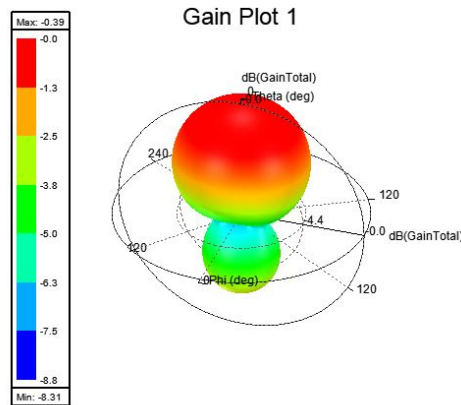
Dimensão	Valor Encontrado
Área do Patch	13924 mm^2
Largura do Patch	118 mm
Ganho	8,3 dB
S11	-12,51 dB

A tabela 4.1, nos trás a relação dos valores encontrados através da simulação, apresentando suas dimensões, área, ganho e coeficiente de reflexão.

4.2 MODELO OTIMIZADO ATRAVÉS DO SOFTWARE ANSYS HFSS

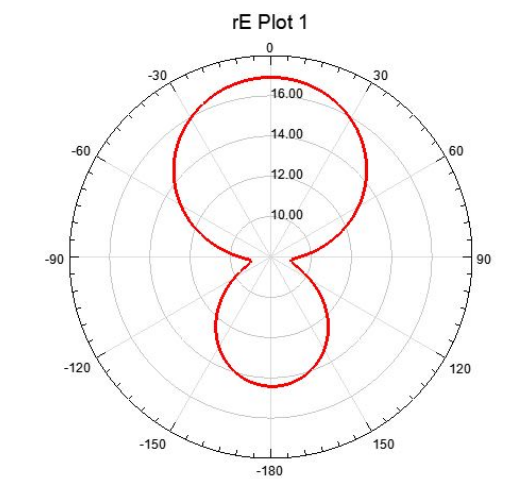
Através de ferramentas disponíveis pelo software fornecido pela ANSYS, é possível uma otimização dos resultados obtidos através da modelagem pelo método da linha de transmissão. Desta forma, o modelo envolvendo o CER - 10, pode ser aperfeiçoado, a fim de se encontrar melhores resultados para a frequência de ressonância, impedância de entrada e coeficiente de reflexão. Esses valores podem ser observados através das Figuras 3.8, 3.9, 4.1 e 4.2 e na Tabela 4.2.

Figura 4.1 – Diagrama de Ganho utilizando a otimização do Software ANSYS



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Figura 4.2 – Diagrama de Radiação utilizando a otimização do Software ANSYS



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Ao se analisar as Figuras 4.1 e 4.2, nota-se que o modelo apresenta um ganho de 8,31 dB e embora ocorra a existência de um lóbulo traseiro, a antena é definida como uma antena diretiva.

Tabela 4.2 – Características do modelo utilizando a otimização do Software ANSYS HFSS

Dimensão	Valor Encontrado
Área do Patch	13806,2 mm^2
Largura	117,5 mm
Ganho	8,31 dB
S11	-24,53 dB

A Tabela 4.2, nos traz a relação dos valores encontrados através da simulação, apresentando suas dimensões, área, ganho e coeficiente de reflexão.

Essa diferença entre os valores otimizados e os encontrados através das equações das Equações 2.2, 2.1, 2.3 e 2.4, se dá pelo fato de que embora trate-se de um método de simples aplicação, a modelagem através do método de linha de transmissão acaba apresentando pequenas divergências nas dimensões da antena quando comparado ao que se considera ideal, onde tem-se valores para a impedância de entrada e frequência de ressonância iguais ao projetado. De qualquer forma, o método apresenta resultados aceitáveis, quando utilizado para a análise de patches retangulares.

4.3 MODELO UTILIZANDO GEOMETRIAS FRACTAIS

As simulações obtidas através da aplicação do método de Geometria Fractal, teve como objetivo obter-se uma redução da quantidade de cobre utilizado no patch e conseqüentemente realizar uma diminuição do peso total da antena, onde os resultados podem ser observados nas Figuras 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14.

A aplicação de um fractal de nível dois, o qual possui suas dimensões apresentadas na Tabela 2.5, embora tenha resultado em uma diminuição da quantidade de cobre utilizado, de $13806,25 \text{ mm}^2$ para $5417,74 \text{ mm}^2$, cerca de 60 %, resultou em valores insatisfatórios para os parâmetros de impedância, ganho e coeficiente de reflexão, não podendo assim, ser aplicado com o objetivo que havia sido proposto. Embora o método das geometrias fractais seja fundamentado nos princípios da auto-semelhança e complexidade infinita, quando aplicado ao patch retangular o mesmo não gerou os resultados esperados, sendo a frequência de ressonância da antena alterada de 401 MHz para 234 MHz , sua impedância de entrada em 401 MHz inaceitável para uso, resultando em um completo descasamento de impedância e seu diagrama de radiação alterado em grande parte, mudando até mesmo a diretividade do patch.

Embora a dimensão geral do patch utilizada não tenha sido alterada, as ramificações criadas pelo fractal não foram capazes de manter as características do modelo inicial e assim não apresentou valores satisfatório. Algumas alterações já eram esperadas, como por exemplo um pequeno descasamento de impedância ou até mesmo um maior valor para S_{11} , porém os resultados encontrados através da utilização dessa técnica, tornou a antena inutilizável para a frequência de 401 MHz .

5 CONCLUSÃO

Após a realização de diversos estudos e simulações, foi possível chegar a um modelo de antena em microfita capaz de operar em 401 MHz , frequência essa utilizada como padrão para o enlace de subida entre as *PCDs* e os nanosatélites. Em um primeiro momento, através de cálculos matemáticos, baseados nas equações apresentadas nesse documento e que buscam trazer o caminho necessário para a modelagem de um patch retangular utilizando o método da linha de transmissão, realizou-se a comparação entre dois substratos capazes de operar na frequência desejada, onde devido sua maior permissividade o patch modelado utilizando o substrato *Taconic CER – 10* obteve menores dimensões quando comparado ao que utilizou o substrato *Roger RO4360G2*.

Assim, após a definição do substrato utilizado nas simulações, deu-se início a modelagem da antena através do método de linha de transmissão utilizando o *RO4360G2*. Desta forma, observou-se um protótipo capaz de operar na frequência desejada para o estabelecimento do enlace de subida entre as *PCDs* e os nanosatélites. Porém o mesmo apresentou respostas que demandaram otimizações, buscando uma melhor eficiência da antena e posteriormente uma melhor qualidade do enlace, visando uma maior eficiência na transferência de informações entre os satélites e a estação de recepção.

O segundo protótipo, teve seu projeto construído através da aplicação de uma ferramenta de otimização disponível no software da ANSYS sobre o modelo que utilizava o substrato *Roger RO4360G2*, com isso tornou-se possível a obtenção de melhores resultados para o coeficiente de reflexão e impedância de entrada da antena, fazendo com que a mesma torna-se mais eficiente na transferência das informações.

Conclui-se que essas diferenças encontradas entre as dimensões obtidas através do método da linha de transmissão e do modelo otimizado através do software ANSYS HFSS, tem origem da simplicidade do equacionamento utilizado pelo método da linha de transmissão. Porém, de qualquer forma, essa pequena diferença na precisão das dimensões encontradas, justifica-se quando analisada a complexidade do método com os outros disponíveis.

A aplicação da geometria fractal definida como Ilha de Koch ao patch anteriormente modelado. As geometrias fractais trazem em sua proposta, a divisão de uma aresta em arestas menores, criando quadrados com dimensões inferiores ao de origem, porém esses sendo réplicas do modelo original apenas em uma escala menor. As dimensões entre os vértices do modelo, se manteve a mesma, ocorrendo apenas a subdivisão do patch maior em patch menores. Como resultado, obteve-se uma alteração na frequência de ressonância da antena tornando, para o caso estudado o modelo impróprio para a utilização na frequência de 401 MHz . Quando analisada a redução proporcionada pelo método, observou-se uma diminuição de cerca de 60% na área do patch quando comparado ao modelo original, porém ao se analisar o conjunto das respostas, o modelo torna-se

impróprio para sua aplicação.

Assim, após a conclusão desse trabalho, observou-se que a utilização do método de linha de transmissão, associado a criação de patches retangulares, com a utilização de substratos com uma maior permissividade, permite criar antenas menores do que se comparados a substratos com permissividade menor. Notou-se também, que o modelo após uma otimização via o software HFSS apresenta melhores resultados para o estabelecimento de um enlace em 401 MHz, sendo necessária a inclusão ao sistema de um circuito capaz de alterar a alimentação da antenas para a utilizada pelos satélites, mudando assim de uma polarização linear para uma polarização circular a direita. Quando analisado os resultados obtidos através da aplicação das técnicas de geometrias fractais, percebe-se que a simulação não se mostrou efetiva, sendo necessário o estudo e a utilização de outras geometrias fractais para o aperfeiçoamento da técnica.

Deste modo, o trabalho avaliou 2 métodos para a redução do tamanho da antena, onde o primeiro apresentou um resultado satisfatório, ocasionando uma alteração do substrato utilizado e conseqüentemente a permissividade relativa, a qual tem influência sobre os valores encontrados para o dimensionamento da antena através do método de linha de transmissão. Além disso, houve uma otimização via HFSS, fixando um intervalo e uma variável de teste, onde o software de maneira interativa encontra diversas respostas da antena de acordo com o valor da variável testada.

Já o método de Geometrias Fractais, teve seu dimensionamento definido através da forma iterativa apresentada nesse trabalho. Existem diversos modelos de Fractais utilizados com o intuito de diminuir a utilização de cobre em patches de antenas, porém devido a sua grande aplicação, o método escolhido foi a Ilha de Koch, o qual após diversos testes alterou a frequência de ressonância, casamento de impedância e diagrama de radiação da antena, tornando-a incapaz de operar na frequência desejada. Dessa forma pode-se controlar o diagrama de radiação, impedância e frequência de ressonância da antena.

Dessa forma, é necessário mais estudos que busquem o aperfeiçoamento do modelo utilizado, a fim de torná-lo apto a operar nas especificações desejadas como por exemplo, como já comentado na Seção 4.3, pode-se avaliar a geometria fractal denominada o Quadrado de Cantor. Pois para essa geometria é possível tentar controlar a quantidade de cobre a ser inserida na antena microfita.

Desse modo, sugere-se os seguintes temas para trabalhos futuros:

- Aprimoramento da técnica de geometrias fractais;
- Projeto de um acoplador híbrido;
- Realização da implementação física da antena;

REFERÊNCIAS

- ASSIS, T. A. d. et al. Geometria fractal: propriedades e características de fractais ideais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 30, p. 2304–1, 2008.
- BALANIS, C. A. **Antenna theory: analysis and design**. [S.l.]: John wiley & sons, 2015.
- BERNARD, V.; ILOH, J. P. I. Microstrip antenna design using transmission line model. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, Citeseer, v. 3, n. 11, p. 410–415, 2013.
- FERREIRA, F. G. Projeto e construcao de uma rede de antenas em banda s para nanosatélites. 2016.
- INPE. Sistema brasileiro de coletas de dados. 2016.
- JAMES, J. R. et al. **Handbook of microstrip antennas**. [S.l.]: IET, 1989. v. 1.
- JENA, M. R. et al. Fractal geometry and its application to antenna designs. **Int J Eng Adv Technol**, v. 9, n. 1, p. 3726–3743, 2019.
- LIMA, J.; JOTHA, L.; BIONDI, R. Constelaç ao de nano satélites para coleta de dados ambientais: Documento de descriçao da missao. **Centro Regional do Nordeste-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRN/INPE)**, Natal-RN, 2011.
- MEDEIROS, T. E. d. L. Antenas de microfita sobre substrato dielétrico organizado de forma quase periódica. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2013.
- POLY, C. San luis obispo. **CA, USA**, v. 1, 2014.
- POZAR, D. M. Microstrip antenna aperture-coupled to a microstripline. **Electronics letters**, IET, v. 21, n. 2, p. 49–50, 1985.
- SOUZA, E. A. M. d. Antenas compactas e miniaturizadas para sistemas de comunicações sem fio e nanosatélites do padrão cubesat. Brasil, 2018.
- SOUZA, J. A. M. **Efeitos Do Uso de Substrato de Alta Permissividade Dielétrica Em Diversos Tipos de Antenas de Micro-Ondas**. Tese (Doutorado) — Tese de Doutora pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2014.
- VIEIRA, J. M. Estudo de antenas dielétricas ressoadoras para nanosatélites. Universidade Federal do Pampa, 2019.

NUP: 23081.016632/2022-51

Prioridade: Normal

Homologação de ata de defesa de TCC e estágio de graduação

125.322 - Bancas examinadoras de TCC: indicação e atuação

COMPONENTE

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
16	Trabalho de Conclusão de Curso	TCC_VERSÃO_FINAL (1).pdf

Assinaturas

12/04/2023 09:24:37

NATANAEL RODRIGUES GOMES (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)
07.09.14.00.0.0 - CURSO DE ENGENHARIA EM TELECOMUNICAÇÕES - CETEL



1960



1960

Código Verificador: 2619721

Código CRC: 1e67e537

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

