

# **Projeto e caracterização de um filtro passa faixa do tipo hairpin com supressão da segunda ressonância utilizando estruturas DGS.**

**Herbeth Jonnas Lins de Queiroz**

**João Pessoa – PB  
Dezembro de 2017**

**INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE**  
**TELECOMUNICAÇÕES**

**Projeto e caracterização de um filtro passa faixa do tipo  
hairpin com supressão da segunda ressonância utilizando  
estruturas DGS.**

Herbeth Jonnas Lins de Queiroz

Trabalho submetido à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Área de Concentração: Telecomunicações

Jefferson Costa e Silva, Dr.  
Professor Orientador

Herbeth Jonnas Lins de Queiroz

## **Projeto e caracterização de um filtro passa faixa do tipo hairpin com supressão da segunda ressonância utilizando estruturas DGS.**

Trabalho submetido à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

### EXAMINADORES

---

Prof. Jefferson Costa e Silva, Dr – **IFPB**  
**Membro da Banca**

---

Prof. Alfrêdo Gomes Neto, Dr– **IFPB**  
**Membro da Banca**

---

Prof. Joabson Nogueira de Carvalho, Dr – **IFPB**  
**Membro da Banca**

João Pessoa – PB  
Dezembro de 2017



*Este trabalho é dedicado especialmente a minha família e esposa, que sempre me apoiaram diante das dificuldades impostas pela vida. Também dedico aos amigos e próximos que me acompanham nesta jornada.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Os agradecimentos principais são direcionados ao meu professor e orientador Jefferson Costa, pela paciência para comigo na elaboração deste trabalho e também ao professor Alfrêdo Gomes por está sempre presente nas pesquisas relacionadas a este trabalho.*

*Também a todos os professores desta instituição que direta e indiretamente fizeram parte da minha formação, e aos colegas de aula, em especial meu amigo Renato de Andrade por ter me ajudado nesse estudo, o meu muito obrigado.*

*Porque dele e por ele, e para ele,  
são todas as coisas;  
glória, pois,  
a ele eternamente.  
Amém.*

*Romanos 11:36*

## RESUMO

Recentemente tem ocorrido um avanço tecnológico em larga escala que engloba varias áreas do conhecimento. Nesse processo a área de telecomunicações assume um papel de destaque, principalmente com os sistemas de telecomunicações sem fio e móveis. Considerando a convergência dos diversos sistemas de telecomunicações, faz-se necessário a construção de dispositivos com baixos custos, miniaturizados, leves e que apresentem uma resposta em frequência que atenda aos requisitos específicos das diversas aplicações. Considerando este contexto, neste trabalho é apresentado o projeto e a caracterização de um filtro passa-faixa do tipo hairpin, com supressão da sua segunda ressonância utilizando estruturas tipo DGS (*defected ground structures*) que opera na faixa de 1,9 GHz a 2,1 GHz e que possui uma faixa de rejeição entre 2,4 GHz e 5 GHz. As simulações foram realizadas através do software comercial Ansoft Designer, que utiliza o método dos momentos. Foram escolhidas para as simulações as estruturas em microfitas. Foram projetados e fabricados dois filtros, um com DGS e outro sem, sendo os resultados numéricos e experimentais comparados.

Palavras-Chave: filtro hairpin, Medições, Plano de Terra com Defeito (DGS).



## ABSTRACT

Recently there has been a large-scale technological advance that encompasses several areas of knowledge. In this process the telecommunications area plays a prominent role, especially with the wireless and mobile telecommunications systems. Considering the convergence of the various telecommunications systems, it is necessary to construct devices with low costs, miniaturized, light and that present a frequency response that meets the specific requirements of the various applications. Considering this context, this paper presents the design and characterization of a hairpin type bandpass filter, with suppression of its second resonance using DGS (defected ground structures) structures operating in the range of 1.9 GHz to 2, 1 GHz and has a rejection range between 2.4 GHz and 5 GHz. The simulations were performed using commercial Ansoft Designer software, which uses the moment method. The microstrip structures were chosen for the simulations. Two filters were designed and manufactured, one with DGS and the other without, and the numerical and experimental results were compared.

**Keywords:** hairpin Filter, Measurements, Defected Ground Structure (DGS).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de filtro planar fabricado .....	10
Figura 2 - Estrutura dos elementos ressonadores .....	11
Figura 3 - Filtro passa-faixa hairpin .....	11
Figura 4 - Casamento de impedância para a frequência de 2 GHz.....	12
Figura 5 - Estrutura de defeito no plano de terra e seu circuito equivalente .....	14
Figura 6 - Estrutura DGS.....	14
Figura 7 - Resposta do circuito DGS.....	15
Figura 8 - Filtro hairpin simulado sem DGS .....	16
Figura 9 - Filtro hairpin com DGS simulado.....	16
Figura 10 - S11 e S21 filtro hairpin simulado sem DGS.....	17
Figura 11 - S11 e S21 filtro hairpin simulado com DGS .....	17
Figura 12 - Filtros hairpin fabricados com e sem DGS.....	18
Figura 13 - Filtro hairpin fabricado sem DGS medido.....	18
Figura 14 - Filtro hairpin fabricado com DGS medido .....	19
Figura 15 - S11 e S21 medido para filtro hairpin fabricado sem DGS .....	19
Figura 16 - S11 e S21 medido para filtro hairpin fabricado com DGS.....	20

## LISTA TABELAS

Tabela 1 - Dimensões dos parametros do filtro.....	13
Tabela 2 - Dimensões das estruturas DGS. ....	15

## **LISTA DE SIGLAS**

**DGS** - *Defected Ground Structures*

**RF** - *Radiofrequência*

**LPF** - *Low Pass Filter, filtro passa-baixas*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA TABELAS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>6</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>10</b>
2.1 Projeto do filtro hairpin .....	10
2.2 Estruturas DGS .....	13
2.2 Resultados.....	15
<b>3 CONCLUSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>22</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Filtro é um circuito que apresenta um comportamento típico em função da frequência do sinal a ele aplicado, permitindo a passagem de sinais com certas frequências, enquanto suprime sinais com outras frequências. Os filtros são basicamente compostos por impedâncias interligadas (redes) e o comportamento destes circuitos depende do valor das resistências, capacitâncias e indutâncias envolvidas e da maneira como são interligadas. (MUSSOI, 2004).

Na eletrônica os filtros são usados para selecionar sinais, atenuar características indesejadas a partir de uma frequência de entrada. O filtro planar é vantajoso por ser de fácil fabricação, teste e integração em circuitos e sistemas. (SERRANO, 2007).

Dentre os diversos dispositivos utilizados nos sistemas de telecomunicações, os filtros desempenham uma importante função, suprimindo os sinais indesejáveis, embora existam diversas tecnologias de fabricação para altas frequências como, por exemplo: placas de circuito impresso, películas de espessuras finíssimas e filtros de cerâmica. O filtro planar é atrativo, devido a algumas de suas vantagens, tais como: leveza, custo reduzido e facilidade de integração com outros dispositivos do sistema. (S. N. TAIB, 2013).

O filtro planar é usado em muitas aplicações de RF/micro-ondas, para realizar a seleção dentro de determinados limites espectrais definidos para cada aplicação. As estruturas ressonantes projetadas em linhas de microfita possuem um perfil adequado para uso em superfícies planas ou curvas e apresentam uma larga faixa de operação no domínio da frequência, em particular na faixa de micro-ondas. Além disso, características desejáveis, tais como, custo, peso e tamanho reduzidos, além da facilidade de fabricação, demonstram o potencial desta tecnologia (GARG ET AL, 2001).

O filtro planar é de baixo custo, alto desempenho, tamanho compacto, banda larga e de baixo perfil geralmente atendem aos rigorosos requisitos dos modernos sistemas de comunicação sem fio. A comunicação moderna exige a disponibilidade de dispositivos eficientes, compactos e portáteis que podem ser operados a altas taxas de dados e com baixos níveis de sinal. (M.K. KHANDELWAL, 2017).

Neste trabalho é proposto um filtro passa-faixa do tipo hairpin de estrutura planar, utilizando ressonador *patch*, operando na faixa de 1,9 GHz a 2,1 GHz, com o objetivo de desenvolver-se uma metodologia de projeto para atenuação da segunda

ressonância utilizando estruturas de defeito no plano de terra, DGS. São apresentadas equações iniciais de projeto do filtro hairpin, bem como da estrutura DGS. Para que seja feita uma comparação entre o simulado e o medido, é projetado e caracterizado numericamente e experimentalmente um filtro hairpin sem a estrutura DGS. Em seguida, é projetado um filtro com a estrutura DGS, sendo o mesmo igualmente caracterizado de forma numérica e experimental. Em ambos os casos, com e sem o DGS, observa-se uma boa concordância entre os resultados simulados e medidos. Comparando as respostas em frequência dos dois filtros, observa-se a supressão da segunda ressonância, confirmando assim o modelo proposto.

## 2. DESENVOLVIMENTO

O filtro hairpin que é tratado nesse projeto tem grandes vantagens, como por exemplo: uma banda de operação estreita, ou seja, é seletivo quanto às frequências desejadas, baixo custo de fabricação, miniaturização e um alto desempenho. Em relação às desvantagens destaca-se: o cuidado com a aproximação das linhas paralelas dos ressonadores, pois os mesmos se comportam como um par de linhas acopladas paralelamente, afetando assim o acoplamento desejado do filtro e alterando também sua resposta. Além disso, esse filtro ressonante de meio comprimento de onda sofre de resposta espúria ao dobro da frequência de operação da banda passante. Isso causa assimetria de resposta na faixa de operação e poderia limitar muito suas aplicações. (MIRNA AKRA, 2014).

Para este último caso, a segunda ressonância, uma solução é a utilização de uma estrutura DGS, em que as mesmas eliminam a ressonância indesejada.

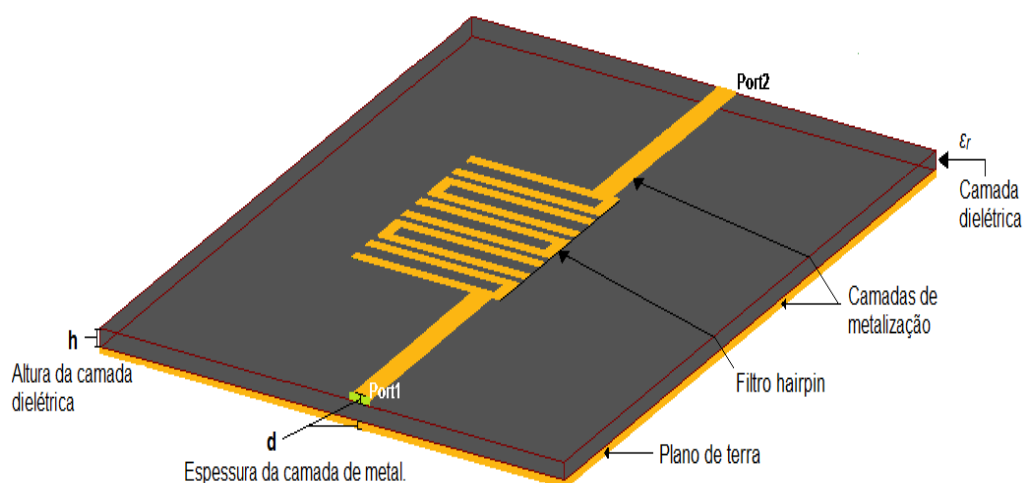
A utilização da estrutura DGS em dispositivos planares pode ser vantajosa, pelo fato da mesma apresentar as seguintes características: aumentar a capacitância e a indutância equivalentes da linha de transmissão e trabalhar como uma estrutura ressonante. A pesquisa sobre filtros passa-faixa utilizando estruturas DGS é abundante, mas ainda existe muito trabalho a ser feito. (WANG XIAOJUN, 2012).

### 2.1. Projeto do filtro hairpin

Os filtros planares podem apresentar diversas geometrias e são muito utilizados em aplicações de RF/micro-ondas. Eles são construídos, basicamente, utilizando-se laminados em que uma camada de dielétrico está posicionada entre duas camadas de metalização. As principais características do substrato, que determinam as dimensões do filtro, são: a espessura  $h$  da camada dielétrica, sua constante dielétrica, ou permissividade elétrica relativa  $\epsilon_r$  e a espessura  $d$  das camadas metálicas. Na simulação dos filtros, outros parâmetros também são considerados, tais como a tangente de perdas  $tg(\delta)$  e a condutividade elétrica  $\sigma$  dos condutores, que afetam a perda de inserção do filtro e sua banda de passagem (SERRANO, 2007).

O filtro planar geralmente é fabricado na camada superior de metalização, como apresentado na figura 1, podendo-se utilizar também furos metalizados para conexão com a camada de metalização inferior, denominada de plano de terra.

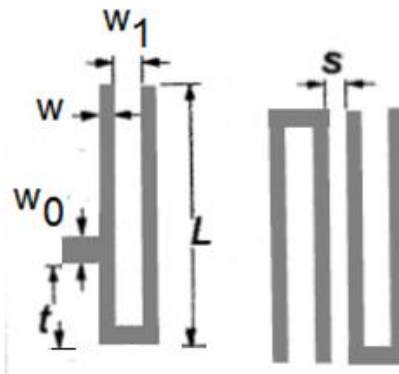




**Figura 1 - Exemplo de filtro planar fabricado**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

Os filtros hairpin apresentam estrutura compacta e são compostos pelo acoplamento em paralelo de ressonadores de meio comprimento de onda dobrados em forma de “U”. Consequentemente, as mesmas equações de projeto de filtro com ressoadores de meio comprimento de onda acoplados paralelamente são aplicáveis. Porém, ao dobrar o ressonador é necessário levar em conta a redução do comprimento das linhas acopladas, que reduz o acoplamento entre os ressonadores. Além disso, se as linhas paralelas do “U” ficarem muito próximas, elas passarão a se comportar como um par de linhas acopladas paralelamente, afetando o acoplamento desejado e alterando a resposta em frequência do filtro.

Geralmente, nos filtros hairpin, as linhas de entrada e de saída são ligadas diretamente ao primeiro e ao último ressonador, respectivamente, através de *tapped lines*. A largura  $W_0$  dessas linhas é calculada para se obter uma impedância característica casada com a impedância do circuito de fonte e carga, geralmente de 50 ohms. As *tapped lines* são posicionadas a uma distância  $t$  da curva do ressonador. Entretanto, linhas de entrada e de saída capacitivamente acopladas aos ressoadores externos também podem ser utilizadas neste tipo de filtro, como mostrado na figura 2.



**Figura 2 - Estrutura dos elementos ressonadores**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**

O numero de elementos do filtro hairpin é dado pelo número de ressonadores em forma de “U” presentes no filtro (SERRANO, 2007), figura 3. O filtro hairpin fabricado neste trabalho possui cinco elementos ressonadores.



**Figura 3 - Filtro passa-faixa hairpin**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**

Na estrutura da Figura 2 podem ser observadas algumas características importantes, dentre elas  $W_0$  que é a largura da linha de alimentação, o comprimento  $L$ , o espaçamento entre os braços de um mesmo elemento,  $W_1$ , a largura da linha do elemento ressonador,  $W$ , o posicionamento da linha de alimentação do primeiro e do último elemento ressonadores,  $t$ , e o espaçamento entre os elementos ressonadores,  $s$ . Embora existam equações mais precisas para o cálculo das dimensões do filtro, muitas vezes essas equações levam a valores que não são realizáveis, dependendo da técnica de fabricação. Considerando o objetivo deste trabalho, assim como as limitações das técnicas de fabricação adotadas (impressão em adesivo recortado e corrosão por perclorato de ferro) foram utilizadas equações aproximadas, determinadas a partir das práticas realizadas no GTEMA-IFPB. Neste caso são impostos os valores de  $W$ ,  $W_1$  e  $s$ . O valor de  $L$  é calculado a partir de:

$$L = \frac{\lambda_{gs}}{4} \quad (1)$$

Onde,  $\lambda_{gs}$  é o comprimento de onda guiado.

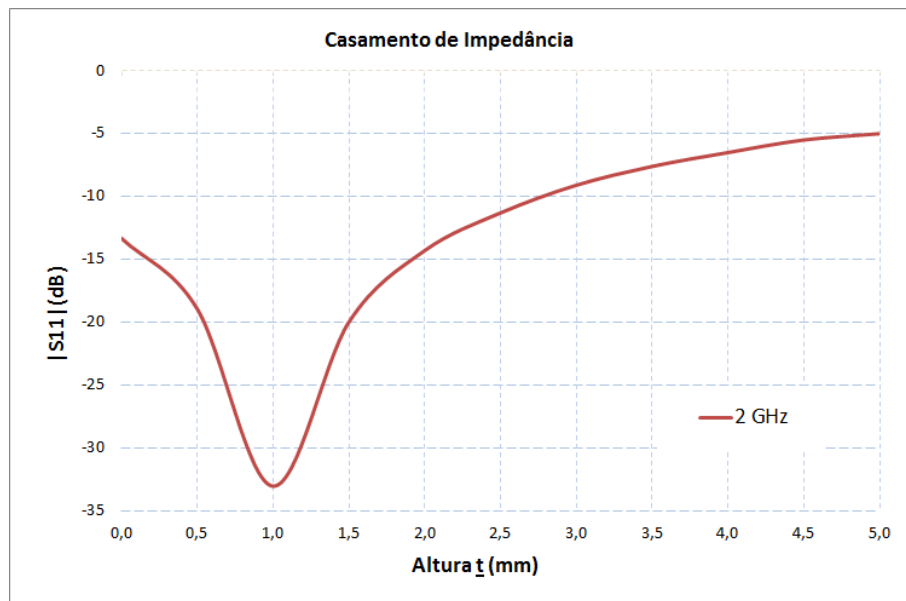
Foram utilizadas também formulas que ajudam a obter valores iniciais de projeto para o comprimento de onda guiado, facilitando a realização de modificações na estrutura inicial, de modo a se obter uma otimização numérica do filtro, como mostra a equação (2).

$$\lambda_{gs} = \frac{3 \times 10^8}{freq_{res} \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2)$$

onde,  $freq_{res}$  é a frequência de operação do filtro, e  $\epsilon_{reff}$  é a permissividade relativa efetiva para uma linha de alimentação com largura  $W_0$ , como mostra a equação (3) (BALANIS,2005). Esta equação só é valida quando  $\frac{W_0}{h} > 1$ , onde  $W_0$  é a largura da linha de alimentação e  $h$  é a espessura do substrato.

$$\epsilon_{reff} = \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left( \frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left( 1 + \frac{12h}{W_0} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

O valor de  $t$  é determinado numericamente, de maneira a se obter o menor valor de  $|S_{11}|$  na frequência de ressonância do filtro, como ilustrado na Figura 4.



**Figura 4 - Casamento de impedância para a frequência de 2 GHz.**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**

As dimensões do filtro hairpin projetado estão descritos na tabela 1.

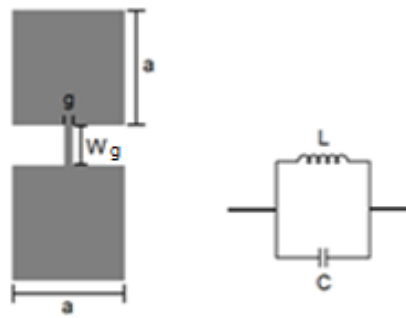
**Tabela 1 - Dimensões dos parametros do filtro**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (mm)</b>
L	20,25
S	1,00
t	1,00
W	1,50
$W_0$	2,80
$W_1$	2,00

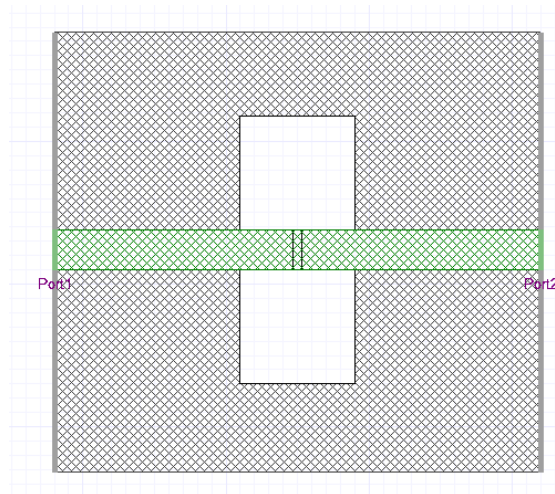
Uma das consequências da não utilização dos valores exatos é o comprometimento da resposta em frequência do filtro, principalmente no tocante ao espaçamento  $s$ , o que será discutido na análise dos resultados obtidos.

## **2.2. Estruturas DGS**

A estrutura DGS se comporta como um circuito ressonador LC em paralelo que produz atenuação do sinal e fornece uma faixa ampla de rejeição. Nas figuras 5 e 6 são mostrados os parâmetros estruturais do DGS utilizado nesse trabalho e seu circuito equivalente. Sua frequência de ressonância depende de suas dimensões. A frequência de ressonância diminui com o aumento dos comprimentos de  $a$  e  $W_g$ , e com a diminuição da largura  $g$  e vice-versa. Os DGS são usados como filtro passa-baixa, LPF (HAI-WEN LIU, 2004).



**Figura 5 - Estrutura de defeito no plano de terra e seu circuito equivalente**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**



**Figura 6 - Estrutura DGS**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**

O comprimento inicial aproximado de “ $a$ ” é dado pela equação (4), que obedece às mesmas regras da equação (2) e (3), substituindo a frequência de operação pela frequência que se deseja eliminar  $freq_{eli}$ , como mostra a equação (5).

$$a = \frac{\lambda_{gs}}{4} \quad (4)$$

Onde,

$$\lambda_{gs} = \frac{3 \times 10^8}{freq_{eli} \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (5)$$

As dimensões das estruturas de defeito (DGS) projetadas neste trabalho estão descritas na tabela 2.

**Tabela 2 - Dimensões das estruturas de defeito**

Parâmetro	Valor (mm)
$a$	8
$W_g$	2,8
$g$	0,6

Na figura 7 pode ser observado o resultado simulado da resposta em frequência da estrutura DGS projetada. Nesta situação o circuito absorve a potência que passa pela linha de alimentação entre 3,4GHz e 6,2GHz, eliminando assim a segunda harmônica localizada próxima a 4,4 GHz.

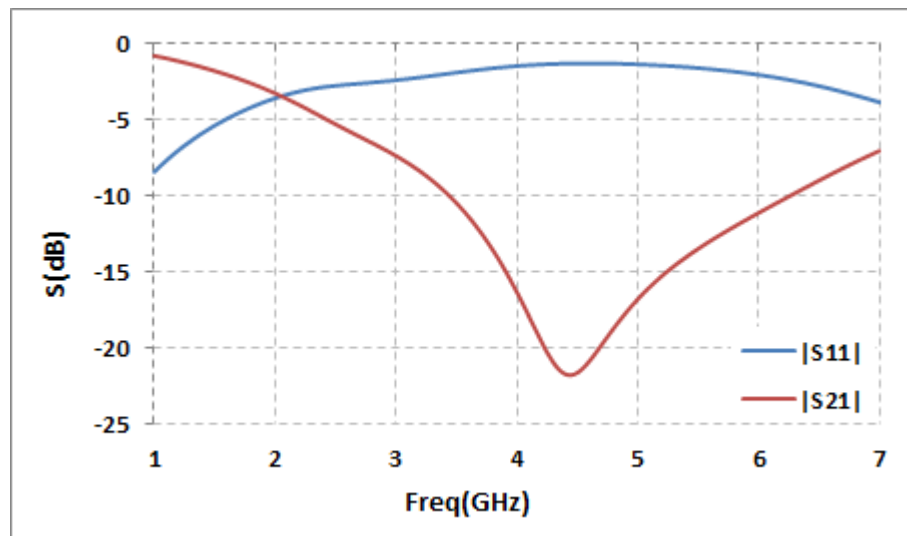


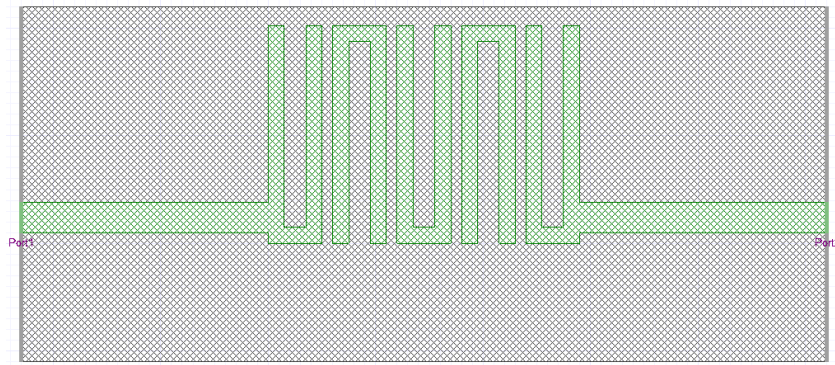
Figura 7 - Resposta do circuito DGS  
Fonte: elaborada pelo Autor

### 2.3. Resultados

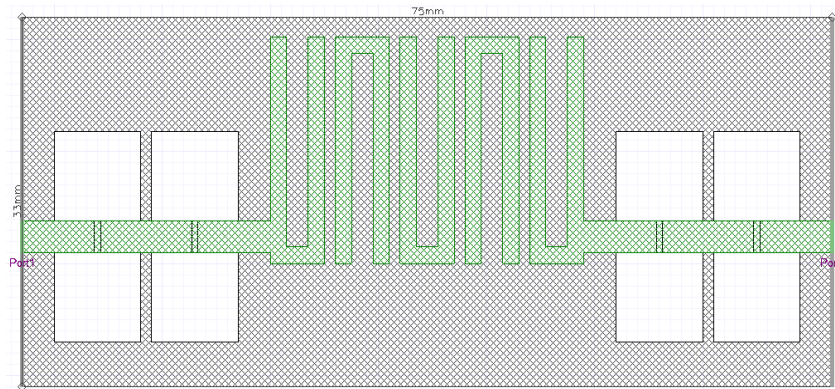
Para a obtenção dos resultados numéricos foi utilizado o software Ansoft Designer, que utiliza o método dos momentos. Esse método numérico é de extrema utilidade, pois transforma uma equação integro diferencial num sistema de equações lineares. (CASIMIRO et al, 2012).

No projeto do filtro proposto nesse trabalho foi utilizado um substrato de fibra de vidro, FR-4, de espessura  $h = 1,6$  mm e tangente de perdas  $tg(\delta) = 0,02$ , com dimensões  $75 \times 33$  mm e permissividade relativa  $\epsilon_r = 4,4$ . A impedância da linha de alimentação é de 50 Ohms, o que proporciona uma largura  $W_0 = 2,8$  mm.

Foram projetados dois filtros hairpin, que foram simulados usando o Ansoft Designer, sendo que um dos filtros não tem estruturas (DGS) e o outro possui. O filtro hairpin simulado sem e com DGS são mostrados nas figuras 8 e 9, respectivamente.

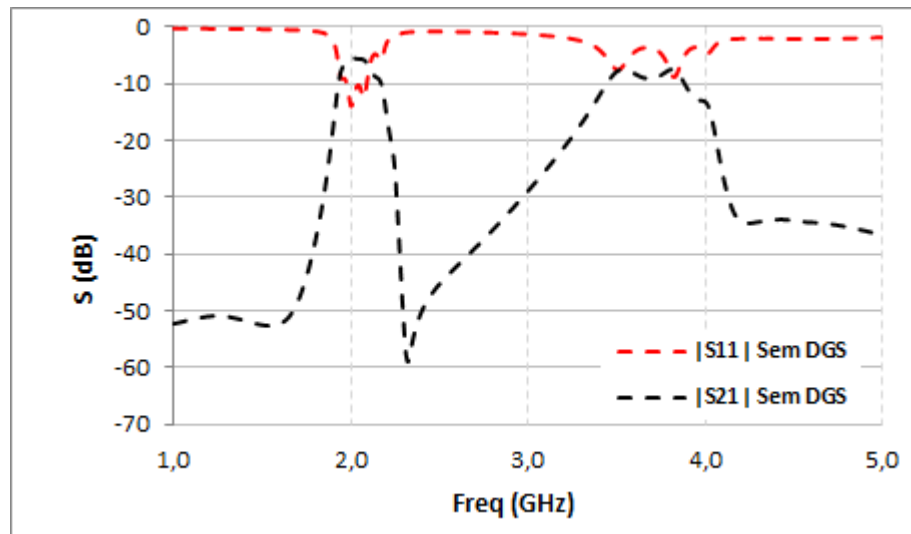


**Figura 8 - Filtro hairpin simulado sem DGS**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**



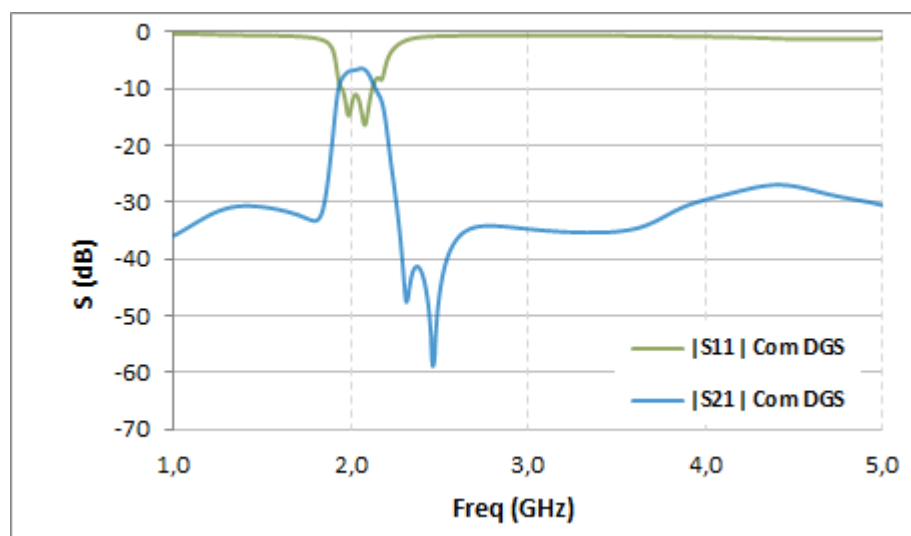
**Figura 9 - Filtro hairpin com DGS simulado**  
**Fonte: elaborada pelo autor**

As simulações usando o Ansoft Designer, foram feitas variando a frequência de 1 GHz a 5 GHz com passos de 10 MHz. O limiar de perda de retorno (parâmetro  $S_{11}$ ) utilizado para se determinar a frequência de corte foi de -10 dB. Foram obtidas as variações dos parâmetros  $S_{11}$  e  $S_{21}$  em função da frequência para os dois filtros, foram feitas simulações aproximando as estruturas DGS do primeiro e último ressonadores do filtro, a fim de obter uma distância mínima, em que não houvesse interferência do DGS no filtro, visando uma compactação da estrutura final. Foi obtida uma distância mínima de 3 mm. As Figuras 10 e 11 apresentam a resposta em frequência obtida para os filtros sem e com DGS, respectivamente.



**Figura 10 - S11 e S21 filtro hairpin simulado sem DGS**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**

Na figura 10, o filtro hairpin sem DGS simulado, observa-se a sua resposta entre 1 GHz e 5 GHz, onde a primeira ressonância corresponde a faixa de operação do filtro em torno 2 GHz e a segunda ressonância que está em aproximadamente 4 GHz.

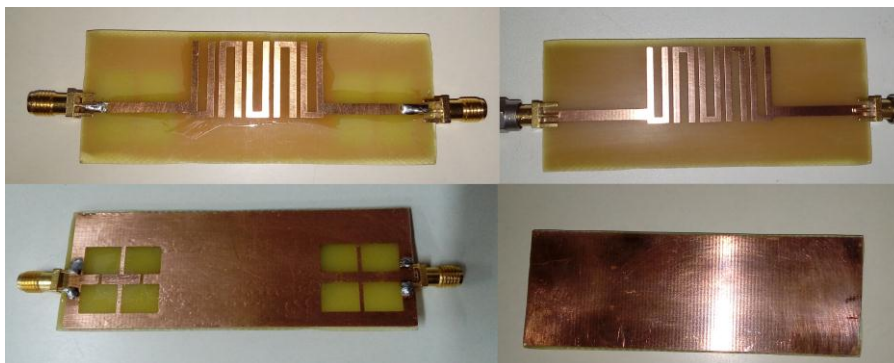


**Figura 11 - S11 e S21 filtro hairpin simulado com DGS**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**

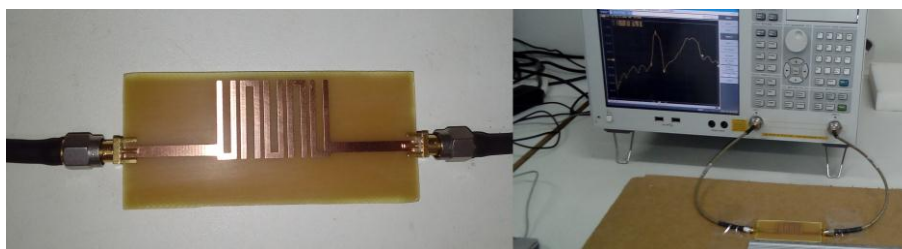


Na figura 11, o filtro com DGS simulado, observa-se a sua resposta entre 1 GHz e 5 GHz. Foram realizados os mesmos mecanismos de análise para cada filtro (com e sem DGS). Para o filtro com DGS acoplado foram utilizadas duas estruturas DGS de cada lado do filtro para melhor desempenho e rejeição de ressonâncias indesejadas. Pode-se observar a resposta do filtro com DGS acoplado, onde a única ressonância existente nesta faixa de operação está em torno 2 GHz, desta forma eliminando a segunda ressonância que estaria próximo a 4 GHz como mostrado na resposta do filtro sem DGS acoplado (Figura 10).

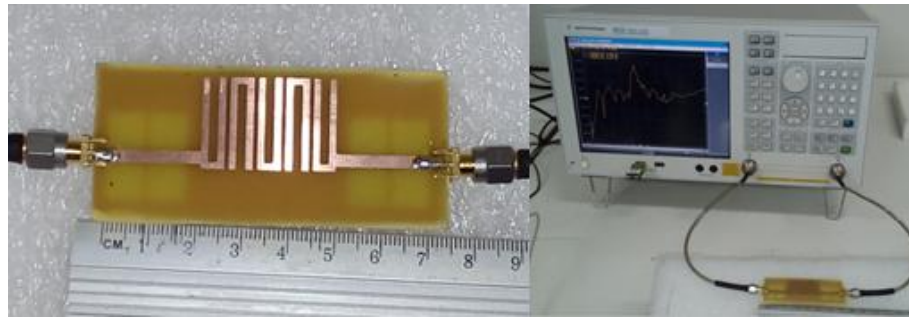
Os dois filtros simulados (com e sem DGS) foram construídos e medidos, como mostra a figura 12,13 e 14, a fim de verificar suas respectivas respostas dos parâmetros  $S_{11}$  e  $S_{21}$  com a frequência.



**Figura 12 - Filtros hairpin fabricados com e sem DGS**  
Fonte: elaborada pelo Autor

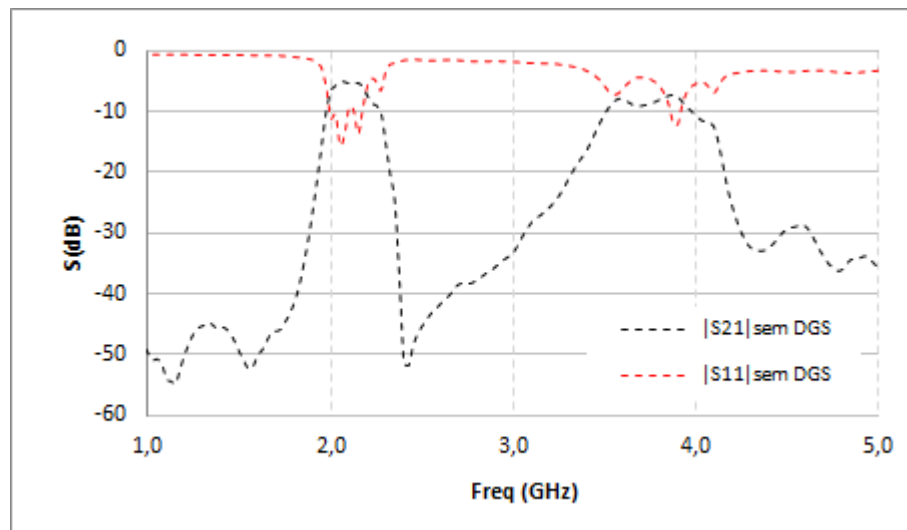


**Figura 13 - Filtro hairpin fabricado sem DGS medido**  
Fonte: elaborada pelo Autor



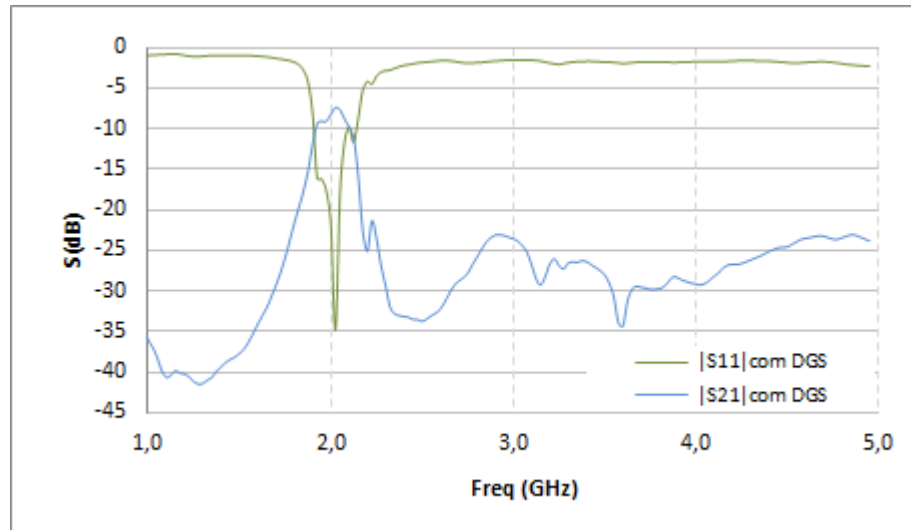
**Figura 14 - Filtro hairpin fabricado com DGS medido**  
 Fonte: elaborada pelo Autor

O processo de medição foi feito no Laboratório de Medidas em Telecomunicações do Instituto Federal da Paraíba, onde foi usado o Vectorial Network Analyzer, AGILENT E5071C. Foi utilizado um laminado com as mesmas características do utilizado no processo de simulação e foram obtidos os gráficos de  $S_{11}$  e  $S_{21}$  em função da frequência. A análise de resposta dos filtros foi feita na faixa de frequência de 1 GHz a 5 GHz com passos de 10 MHz. A impedância da linha de alimentação é de 50 Ohms. Os resultados obtidos são mostrados na figura 15 e 16.



**Figura 15 -  $S_{11}$  e  $S_{21}$  medido para filtro hairpin fabricado sem DGS**  
 Fonte: elaborada pelo Autor

Na figura 15, o filtro medido sem DGS, pode-se observar a sua resposta entre 1 GHz e 5 GHz, a primeira harmônica correspondente a faixa de operação do filtro em torno 2 GHz e a segunda que está em aproximadamente 4 GHz, se assemelhando a simulação.



**Figura 16 - S11 e S21 medido para filtro hairpin fabricado com DGS**  
**Fonte: elaborada pelo Autor**

Na figura 16, o filtro medido com DGS, pode-se observar a sua resposta entre 1 GHz e 5 GHz, a primeira harmônica correspondente a faixa de operação do filtro em torno 2 GHz, para o filtro com DGS acoplado, pode-se ver que a segunda harmônica que estaria em torno de 4 GHz, é totalmente eliminada pelas estruturas de defeito presente no plano de terra, nota-se também que houve um aumento na banda de operação do filtro, validando assim os conceitos teóricos, se assemelhando os resultados medidos e simulados.

### 3. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram projetados dois filtros passa-faixa do tipo hairpin com mesmas características, porém um com estruturas DGS, visando assim obter um filtro passa-faixa com ampla faixa de rejeição. Em seguida estas estruturas foram simuladas, fabricadas e medidas. Foram utilizadas algumas equações auxiliares para o projeto dos filtros e das estruturas DGS, o processo de análise numérica foi realizado através do programa computacional Ansoft Designer. Através desse processo foi possível visualizar a distribuição gráfica dos coeficientes de transmissão e reflexão ( $S_{21}$  e  $S_{11}$ , respectivamente), entre a faixa de frequência de 1 GHz à 5 GHz e sugestivamente propor alguma alteração geométrica no filtro, podendo assim, atingir as características desejadas.

As estruturas simuladas foram construídas e medidas, onde foram obtidos os gráficos dos coeficientes de transmissão e reflexão,  $S_{21}$  e  $S_{11}$ , respectivamente. Para a determinação da faixa de operação do filtro, foi considerado o limiar de potência -10 dB, simulados e medidos em uma faixa de frequência de 1 GHz a 5 GHz com passo de 10 MHz.

Os resultados numéricos e experimentais obtidos foram concordantes, mostrando que os filtros projetados apresentaram uma faixa de rejeição entre 2,4 GHz a 5 GHz, após o uso das estruturas de defeito no plano de terra e sem alterar a faixa de operação deste. As equações iniciais de projetos dos filtros se mostraram bastante eficientes, facilitando o processo inicial de concepção das estruturas. Um dos critérios desse projeto foi, a miniaturização como característica indispensável, colocamos as estruturas de defeito o mais próximo possível do filtro sem que alterasse suas características elétricas, pois tem impacto direto no custo de fabricação, peso e acoplamento em sistemas cada vez mais compactos na área de telecomunicações.

## REFERÊNCIAS

- BALANIS, C. A. **Antenna Theory**. 3. ed. New Jersey: John Wiley, 2005.
- JONG-IM PARK, CHUL-SOO KIM, JUNO KIM, JUN-SEOK PARK, YONGXI QUIN, DALAHN, T. ITOH. **Modeling of a photonic bandgap and its application for the low-pass filter design**: Asia Pacific Microwave Conf. Proc. APMC, vol. 2, pp. 331–334, 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/829865/>>. Acesso em: 18 Set. 2017.
- GARG, R.; PRAKASH, B., BAHL, I., ITTIPIBOON, A. **Microstrip Antenna Design Handbook**. Artech House, 2001.
- MUSSOI, F.L.R.M. **Resposta em Frequencia Filtros Passivos**. 2. ed. Florianópolis - Julho, 2004. Disponível em: <<http://intranet.ctism.ufsm.br/gsec/Apostilas/filtropassivo.pdf>>. Acesso em: 06 Nov. 2017.
- SERRANO, A. M. C. L. **Projeto de filtros de microondas passa-faixa planares**: Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-28032008-172509/pt-br.php>>. Acesso: 12 Ago. 2017.
- HAI-WEN LIU, ZHENG-FAN LI, XIAO-WEI SUN, JUN-FA MAO. **An improved 1D periodic defected ground structure for microstrip line**: in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 14, no. 4, pp. 180-182, May 2004. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1291457/>>. Acesso em: 18 Set. 2017.
- WANG XIAOJUN; NIE CHONG, **Design of two-band band-pass filter using defected ground structure (DGS) resonators**: in Proceedings of 2012 5th Global Symposium on Millimeter-Waves, pp. 644- 646, September 2012. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6313976/>>. Acesso em: 18 set. 2017.
- S. N. TAIB; M. A. OTHMAN; M. A. MIOR HAMDAN; N. Y. M. YASIN; T. S. M. ARSHAD; M. Z. A. ABD AZIZ; N. HASSAN; A. SALLEH, **X band parallel coupled- line with dumbbell dgs filter for radar applications**: pp. 94- 99, Nov. 2013. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?searchWithin=%22Authors%22:QT.M.%20A.%20Mior%20Hamdan.QT.&newsearch=true>>. Acesso em: 20 set. 2017.

SUSMITA BISWAS; CHANDAN KUMAR GHOSH; AMRITA MEDDA; DURBADAL MANDAL, **Harmonics suppression of microstrip patch antenna using defected ground structure:** 2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom), pp. 1- 4, Jan. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7522417/>>. Acesso em: 20 set. 2017.

MIRNA ANKRA, **Compact RF planar filters-improvement of the out-of-band rejection and tunability:** IMEP-LAHC–Institute of Microelectronics, Electromagnetism and Photonics, University of Grenoble, May 2014. Disponível em: <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01289219/document>>. Acesso em: 20 set. 2017.

MUKESH KUMAR KHANDELWAL, BINOD KUMAR KANAUIA, SACHIN KUMAR, **Defected Ground Structure: Fundamentals, Analysis, and Application in Modern Wireless Trends:** International Journal of Antennas and Propagation, Article, February 2017. Disponível em: < <https://www.hindawi.com/journals/ijap/2017/2018527/>>. Acesso em: 22 set. 2017.