

# Análise de Filtro Passa Banda *Hairpin* Impresso em Substrato Têxtil Composto por Fibras Acrílicas

Wisla Milena Morais de Oliveira, Mychael Jales Duarte, Valdemir Praxedes da Silva Neto e Adaildo Gomes D'Assunção

**Resumo**— Este trabalho apresenta uma análise sobre a aplicabilidade de materiais flexíveis como substrato de filtro planar de microfita. Projetou-se um filtro passa-banda usando ressoador *Hairpin* construído sobre substrato de tecido composto por fibras acrílicas. O filtro foi projetado para aplicações em sistemas wireless operando em 2,45 GHz. As análises foram realizadas utilizando o software Ansoft HFSS. Um protótipo do filtro foi construído para fins de caracterização experimental. Os resultados teóricos e medidos foram satisfatórios, sendo possível alcançar uma resposta em frequência desejada, mesmo, com a alta tangente de perdas que o tecido possui.

**Palavras-Chave**— *Filtros Planares, Materiais Flexíveis, Substrato Têxtil.*

**Abstract**— *This work presents an analysis on the applicability of flexible materials as a microfite planar filter substrate. A bandpass filter was designed using Hairpin resonator built on a textile substrate composed of acrylic fibers. The filter is designed for applications in wireless systems operating at 2.45 GHz. The analyzes were performed using Ansoft HFSS software. A prototype of the filter was constructed for experimental characterization purposes. The theoretical and measured results were satisfactory, being possible to achieve a desired frequency response, even with the high tangent of losses that the tissue has.*

**Keywords**— *Planar Filters, Flexible Materials, Textile Substrate.Template.*

## I. INTRODUÇÃO

A busca pelo aperfeiçoamento nos dispositivos que integram os sistemas de comunicações sem fio é constante. Nos últimos anos, o interesse das pesquisas tem se direcionado para o desenvolvimento de dispositivos leves, miniaturizados e com custo reduzido. Nesse contexto, as estruturas planares tem se mostrado uma boa solução [2].

Em componentes empregados nos sistemas de comunicação atual, a utilização dos filtros é de suma importância. Os filtros são componentes importantes em diversas áreas da engenharia, para as telecomunicações sua importância está relacionada à o advento dos sistemas de comunicações sem fio, dado que, a seletividade de frequência passou a ser uma exigência [3]. Em razão de sua funcionalidade os filtros são uma parte essencial e frequentemente utilizada no projeto dos sistemas modernos de comunicação.

A seletividade do sinal é um dos parâmetros fundamentais para o bom desempenho do sistema, por isso pesquisas para o desenvolvimento de novos filtros é sempre um atrativo para os pesquisadores. Um entendimento amplo de muitos sistemas de comunicação só é possível com uma compreensão do funcionamento dos filtros [3].

Estudos recentes tem se concentrado na utilização de materiais flexíveis, tais como tecidos, empregados como substrato na fabricação dos circuitos planares de micro-ondas [4]. Tecidos como *Jeans*, *brim santista*, algodão e poliamida são utilizados na literatura para desenvolvimento de circuitos planares.

A utilização de substratos têxteis permite aplicações diversas, como a possibilidade de integrar circuitos de microfita em vestimentas militares, de modo, a aperfeiçoar a comunicação, sem, contudo, comprometer o conforto do usuário. Assim como, realizar aplicações em superfícies irregulares, onde os materiais rígidos que frequentemente são utilizados como substratos não podem ser empregados.

Este trabalho apresenta o estudo de um filtro passa-banda de microfita, para aplicações em sistemas de comunicações sem fio. O filtro foi projetado em um substrato têxtil, utilizando a topologia *Hairpin* [1]. As simulações foram realizadas através do método dos elementos finitos, por meio do software comercial Ansoft HFSS<sup>TM</sup>. Um protótipo do filtro foi construído para fins de caracterização experimental. Foi verificada uma boa concordância entre os resultados medidos e simulados.

## II. PROJETO DO FILTRO

O filtro passa-banda proposto é filtro *Hairpin*, conforme ilustrado na Fig. 1(a). Os filtros *Hairpin* recebem esse nome pelo formato de 'U', estes são amplamente utilizados, em decorrência de sua característica passa-banda. Foi utilizada síntese descrita em [1] para determinar as dimensões físicas do filtro.

Para determinar as dimensões físicas apresentadas em Fig.1(b), foi realizada uma análise paramétrica da resposta em frequência do filtro em função de seus parâmetros físicos. Para cada conjunto de valores para  $h_1$  e  $h_2$ ; a frequência de ressonância ( $f_c$ ), frequência lateral inferior ( $f_1$ ) e frequência lateral superior ( $f_2$ ) para a banda de transmissão eram observadas. Assim, foi possível montar um banco de dados para utilizar um ambiente computacional de otimização por meio de uma rede neural, para uma resposta com frequência central em 2,45 GHz. Os valores de saída da rede neural para os parâmetros físicos do filtro podem ser vistos na Fig.1(b). Em [5] é realizado um projeto de superfícies seletivas de frequência utilizando uma rede neural artificial.

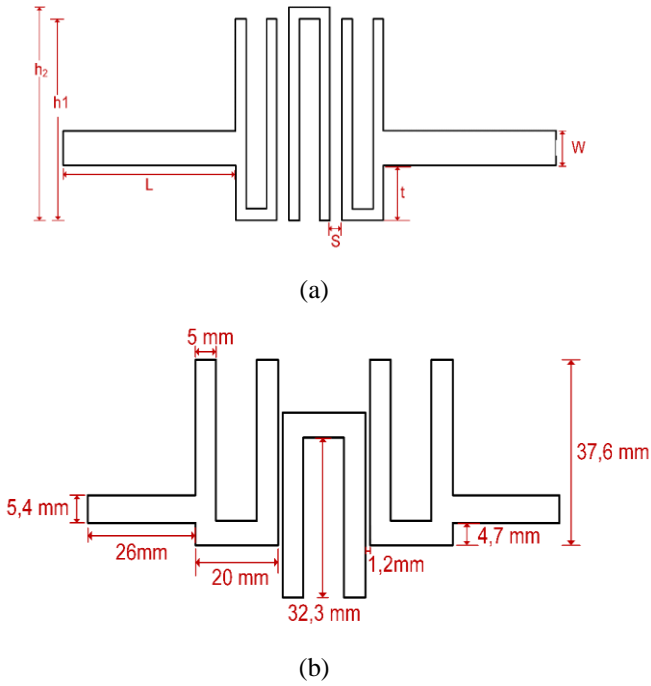


Fig. 1. Filtro Hairpin proposto: (a) Protótipo; (b) Dimensões físicas do filtro construído neste trabalho.

O filtro foi projetado em um substrato de tecido composto por fibras acrílicas, a utilização desse tecido deve-se a sua disponibilidade para a pesquisa. Para isso, foi realizada a caracterização experimental do tecido, para determinar os parâmetros físicos do material. A Fig 2 ilustra o filtro construído neste trabalho.



Fig. 2. Protótipo do filtro construído.

O material condutor escolhido para a confecção do protótipo, foi uma folha metálica de cobre. A folha de cobre possui uma espessura de 0,05 mm e condutividade  $\sigma = 5,8 \times 10^7$  (S.m<sup>-1</sup>). A Fig.2 apresenta o protótipo do filtro construído. As linhas de alimentação do filtro são quarto de onda, para a frequência de 2,45GHz e apresentam impedância característica  $Z_0=50\Omega$ .

### III. SUBSTRATOS TÊXTEIS

Um tecido é material constituído a partir de fios de fibras naturais, sintéticas ou artificiais, que compostos de diversas maneiras formam roupas e outros tipos de vestimentas. A confecção de uma estrutura têxtil ocorre inicialmente com a obtenção das fibras, posteriormente estas são submetidas ao processo de fiação, onde os fios são fabricados com as

características desejadas. Em seguida os fios são entrelaçados formando a estrutura têxtil [4].

Existe um grande interesse no estudo de novos materiais tais como cerâmicas, blendas, compósitos, polímeros, tecidos, dentre outros. A utilização de substratos têxteis possibilitará aplicações que antes eram impossíveis em virtude da rigidez dos substratos que geralmente são utilizados[6].

A fibra têxtil utilizada neste trabalho para a análise da construção dos filtros planares em substrato têxtil foi a fibra sintética de acrílico (PAC). As fibras acrílicas são produzidas a partir do polímero poliacrilonitrilo e para ser considerada uma fibra acrílica o polímero deve conter mais de 85 % de acrilonitrilo (cianeto de vinila), sendo este obtido do amoníaco, oxigênio e perilenos.

Foi empregado o método das linhas de transmissão para caracterizar o tecido utilizado como substrato do filtro desenvolvido neste trabalho. Para tanto, foi utilizado um analisador de rede vetorial R&S ZVB14, um guia de ondas retangular, feeder WR90 e com auxílio de software específico foi possível determinar as características dielétricas do material. Este método encontra-se descrito em [6]. A Fig.3 ilustra o esquema de medição utilizado para caracterizar o substrato.

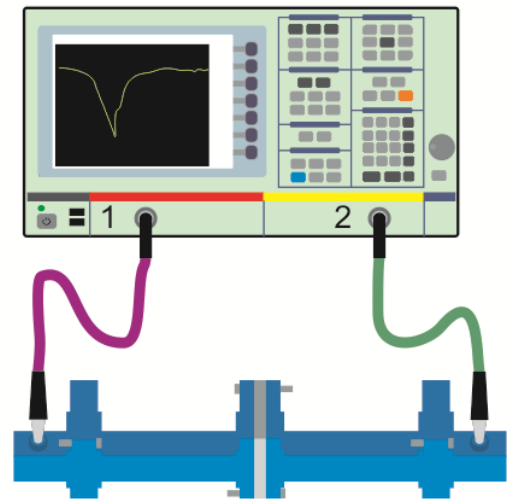


Fig. 3. Esquema ilustrativo do setup de caracterização do material.

A Tabela I apresenta os resultados das principais características do material, tais como permissividade elétrica relativa, espessura do substrato e tangente de perdas.

TABELA I. PARÂMETROS FÍSICOS DO SUBSTRATO DE TECIDO DE FIBRAS ACRÍLICAS

Parâmetro	Valor
Partel real da Permissividade Elétrica Relativa ( $\epsilon'$ )	1,4718
Parte imaginária da Permissividade Elétrica Relativa ( $\epsilon''$ )	0,4208
Permissividade Elétrica Relativa ( $\epsilon_r$ )	1,538
Tangente de Perdas ( $tg\delta=0,2859$ )	0,2859
Espessura do Substrato (h)	1,4mm

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig.3 apresenta os resultados da resposta em frequência para o filtro desenvolvido. A resposta em frequência simulada indica que, a ressonância do filtro ocorreu na frequência de 2,45 GHz, com uma perda de retorno de 20,53 dB. A ondulação na banda passante foi de 2,5 dB, a faixa de transmissão localiza-se entre 2,25 GHz a 2,5 GHz. De acordo com as curvas, o filtro apresentou uma frequência central medida de 2,44 GHz com uma perda de retorno de 25,8 dB, para a frequência de ressonância. A largura de banda foi de aproximadamente 320MHz, com uma perda por inserção máxima de 1dB, aproximadamente. Percebe-se uma forte rejeição nas frequências de 1,5GHz e 2,97GHz.

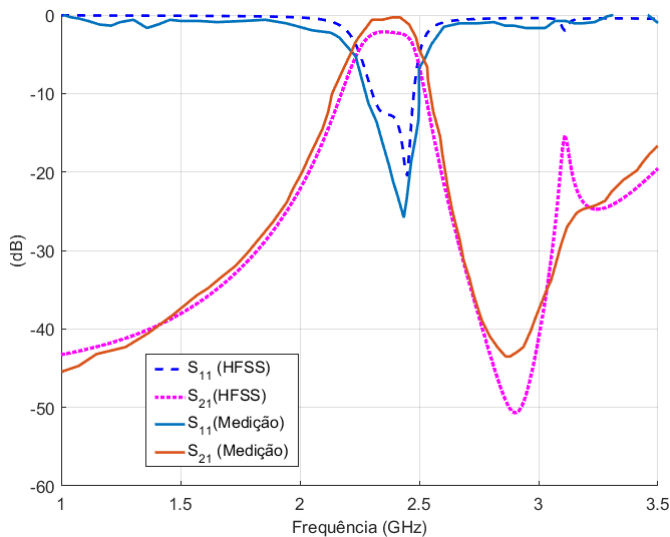


Fig. 4. Resposta em frequência do filtro.

TABELA II. Comparação entre os resultados medidos e simulados para o Filtro Passa-Banda.

Parâmetro	HFSS	Medição
Frequência de Ressonância	2,45 GHz	2,44 GHz
Banda Passante (MHz)	250 MHz	320 MHz
$S_{21}$ (fr)	2,5 dB	1 dB
$S_{11}$ (fr)	- 20,53 dB	- 25,8 dB
Frequência Lateral Inferior	1,01 GHz	1,5 GHz
Frequência Lateral Superior	2,9 GHz	2,93 GHz

Diante dos resultados apresentados na Tabela II, observa-se uma excelente concordância entre os valores simulados e medidos, validando-se assim a proposição teórica e metodologia apresentadas neste trabalho.

## V. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise sobre a utilização de tecido constituído por fibras de acrílico como substrato de um filtro planar. O filtro passa-banda foi projetado analiticamente para aplicações em banda ISM com o auxílio de ferramenta de otimização. Os parâmetros de transmissão e rejeição do filtro foram analisados, sendo possível verificar que, mesmo o tecido apresentando alta tangente de perdas, pode ser empregado para o desenvolvimento de filtros planares. A caracterização experimental do protótipo de filtro desenvolvido neste trabalho foi realizada para fins de comparação. Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que uma boa concordância entre simulações e experimentos foi verificada.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. Benar, I. A. Tafida, M.P.Kündüz, and T.Imeci, **Changing passband on microstrip hairpin band-pass filter**, 2016 Ieee/aces International Conference On Wireless Information Technology And Systems (icwits) And Applied Computational Electromagnetics (aces), [s.l.], mar. 2016. IEEE
- [2] D.M. Pozar, **Microwave Engineering**, 4. ed. USA: Johnwiley & Sons, Inc., 2012. Cap. 8. p. 380-443.
- [3] J.S. Hong, Jia-sheng, and M.J Lancaster.. **Microstrip Filters for RF/Microwave Applications**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [4] R. Moro ,S. Agnnessens, H.Rodier, and A. Dierck . **Textile Microwave Components in Substrate Integrated Waveguide Technology**. Ieee Transactions On Microwave Theory And Techniques, [s.l.], v. 63, n. 2, p.422-432, fev. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [5] P. H. Silva. et al. **Design of frequency selective surfaces using a novel MoM- ANN-GA technique** In: SBMO/Ieee MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference, 2007,Salvador, **Proceedings...** Salvador: FEE/UNICAMP, 2007.P.275-279.
- [6] G. C. Andrade et al. **A compact multiband reject inverted double - E microstrip filter on textile substrate**, Microwave and optical Technology letters, vol. 57, n. 11, pp. 2543-2548, 2015.