



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL ENTRE PERCOLAÇÃO ELÉTRICA E  
DIMENSÃO DE PARTICULAS DE FERROCARBONILA**

Juan Santos Pereira

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pelo Dr.  
Plínio Ivo Gama Tenório.

INPE  
São José dos Campos  
2020





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL ENTRE PERCOLAÇÃO ELÉTRICA E  
DIMENSÃO DE PARTICULAS DE FERROCARBONILA**

Juan Santos Pereira

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pelo Dr.  
Plínio Ivo Gama Tenório.

INPE  
São José dos Campos  
2020



## Resumo

De modo geral, este projeto tem seu foco no desenvolvimento de materiais para compor sistemas de blindagem eletromagnética para serem utilizados em ambiente aeronáutico e aeroespacial, bem como contribuir com o desenvolvimento da tecnologia no Brasil. Minuciosamente, verificar experimentalmente a influência que a concentração de FC em um compósito com silicone tem com as propriedades eletromagnéticas que faz abrangência ao limiar de percolação elétrica, na região das micro-ondas, na faixa de 8,2 GHz a 12,4 GHz, utilizada pelos radares militares de traqueamento aéreo, conhecida como banda X.



## Lista de Figuras

1 – A figura mostra o cronograma das atividades. Fonte: próprio autor .....	10
2 - A figura mostra o molde para criação de amostras. Fonte: próprio autor .....	11
3 – A figura é uma descrição do estudo. Fonte: próprio autor .....	12
4 - A figura mostra os gráficos dos dados refletividade. Fonte: próprio autor .....	13
5 - A figura mostra os gráficos dos dados de permissividade. Fonte: próprio autor .....	14
6 - A figura mostra os gráficos dos dados de permeabilidade. Fonte: próprio autor.....	15
7 - A figura mostra a refletividade na amostra de FC com 70%. Fonte: próprio autor .....	16



## Sumário

<b>1 Introdução.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Desenvolvimento .....</b>	<b>9</b>
2.1 Revisão de literatura .....	9
2.2 Materiais e métodos .....	10
2.3 Resultados .....	13
2.4 Discussões dos resultados .....	15
<b>3 Conclusões Gerais .....</b>	<b>16</b>

## **1. Introdução**

Este estudo faz o uso de Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética – MARE. Os MARE são um tipo de material complexo, capazes de atenuar a energia de uma onda eletromagnética. Estes materiais absorvedores de radiação eletromagnética promovem a troca de energia da radiação eletromagnética pela energia térmica, isso ocorre graças a suas características intrínsecas de determinados componentes. A estrutura molecular dos absorvedores é excitada quando são atingidos por uma onda eletromagnética, a energia incidente é convertida em calor, ocasionando uma baixa reflexão da onda incidente Segundo Jung (2014). Para confeccionar MARE são necessários alguns aditivos, tais como: Ferrocarbonila (FC) e matriz polimérica (Silicone comercial). Este trabalho é importante para o desenvolvimento da tecnologia de materiais absorvedores de radiação eletromagnética, MARE, por meio do estudo das propriedades eletromagnéticas da matéria

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1 Revisão de literatura**

Com o aumento dos problemas de interferência eletromagnética entre dispositivos eletro/eletrônicos, tanto em ambiente civil quanto em ambiente militar está despertando cada vez mais atenção devido as diversas consequências tais como mau funcionamento dos dispositivos expostos a esta poluição Segundo Amaral (2017), Silveira (2017) e Gonzales (2018). Materiais diretamente utilizados como Sistema de Blindagem Eletromagnética é uma realidade já a alguns anos Segundo Gonzales (2018), no Brasil esta tecnologia ainda está em desenvolvimento.

Estes materiais têm aplicações em várias áreas, dentre elas, a área espacial Segundo Amaral (2017), foco deste trabalho. Materiais magnéticos tem sido estudados e utilizados como material atenuador de radiação micro-ondas devido a sua eficiência na blindagem Segundo Duan (2010) e Fiske (1997). Um dos materiais mais utilizados no processo de atenuação de ondas eletromagnéticas é a ferrocarbonila. Neste sentido, este trabalho propõe um estudo sistemático do compósito ferrocarbonila/Silicone com diferentes concentrações e espessuras na região da banda X. Este projeto fará uso de uma ferrocarbonila produzida e comercializada pela Basp.

## 2.2 Material e métodos

Foi desenvolvido um cronograma para o controle das atividades durante o período de vigência da bolsa:

Figura 1 – Cronograma das atividades

Atividades	1º Mês	2º Mês	3º Mês	4º Mês	5º Mês	6º Mês	7º Mês	8º Mês
Revisão bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x
Produção e caracterização da carga	x	x	x	x	x	x		
Produção e caracterização das amostras					x	x	x	
Resultados e discussões							x	x
Escrituração	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Autor (2020)

Caracterização da Ferrocarbonila: Nesta etapa foi realizada a caracterização morfológica e estrutural do material aditivo, ferrocarbonila (FC), utilizado para a produção das amostras. Os métodos utilizados na caracterização do material magnético foram a Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (FEG), para análise morfológica e estrutural, e também a Difratometria de Raio-X (varredura no intervalo  $2\theta$  de  $16^\circ$  à  $90^\circ$ , com intervalos de  $0,02^\circ$  e tempo no valor de 10 s).

A ferrocarbonila é um material acinzentado, que varia o tamanho de sua partícula entre 1 a 3  $\mu\text{m}$ , geralmente composto de ferro, carbono e nitrogênio, sendo cerca de 96% de ferro. É constituinte de propriedades ferromagnéticas que permitem a sua aplicação no setor aeronáutico e aeroespacial, desta forma é utilizada na produção de Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética – MARE. Além disso, também há outras diversas aplicações no setor industrial e no setor farmacêutico.

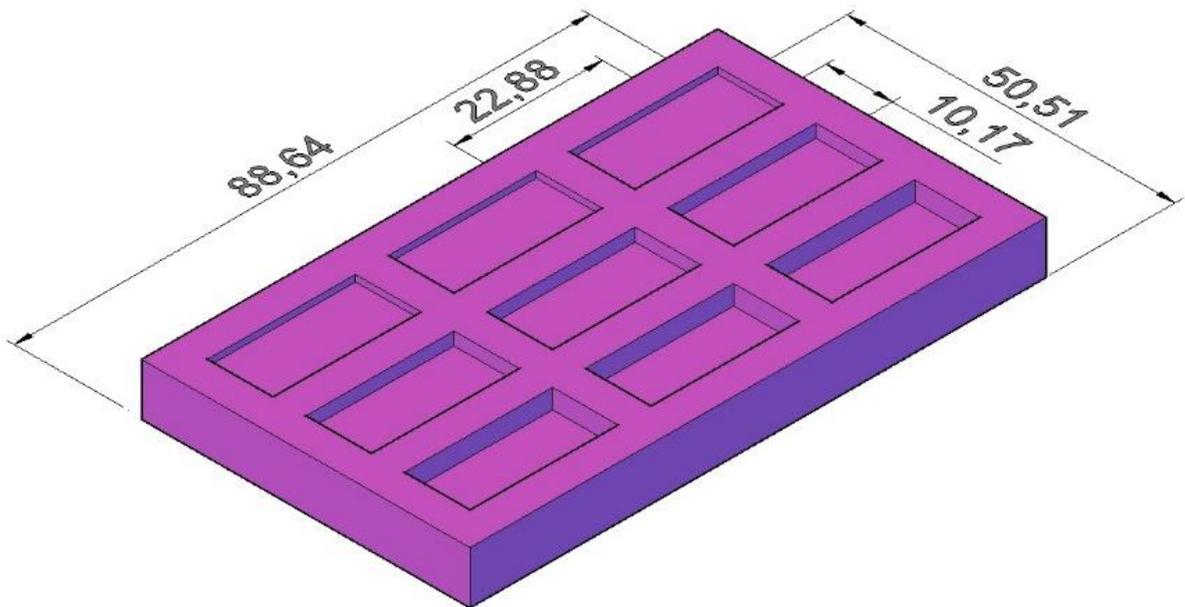
Deste modo segundo a Basf, a ferrocarbonila é produzida a partir da decomposição térmica do complexo metálico ferropentacarbonila, onde esta com estrutura simétrica formando uma estrutura trigonal bipiramidal, ligados apenas com a carbonilas (CO) com o átomo de ferro cercado por cinco ligantes de CO em duas posições axiais três posições equatoriais, além disso cada estrutura Fe – CO são lineares

Produção das amostras: Nesta fase, foram produzidas amostras de um material compósito de silicone comercial misturado com ferrocarbonila (FC), variando as concentrações entre 40%, 50%, 60% e 70% de FC, com espessuras de: 1,0 mm, 2,0 mm e 3mm. É válido salientar que esta matriz se mostrou de fácil manuseio, permitindo a produção das amostras com boa qualidade para as análises desejadas.

Desta forma para a preparação das amostras do compósito de FC + Silicone, foi criado um molde, reutilizável e capaz de produzir 9 amostras por ciclo de uso, por se tratar de amostras a serem estudadas na faixa de frequência da banda X, criamos o molde com as medidas padronizadas para materiais a serem caracterizados eletromagneticamente nessa faixa de frequência através da seção transversal dos guias de onda, que são 22,88 mm de comprimento e 10,17 mm de largura, devendo conter no máximo 9,7 mm, que é o limite de profundidade da seção transversal.

O molde foi produzido através de uma impressora 3D e a base de PLA, capaz de produzir 9 amostras simultaneamente, contém 3 espaços em cada uma das 3 fileiras com profundidades que vão de 1 mm à 3 mm. A ilustração foi desenvolvida pelo autor no software AutoCAD, da empresa Autodesk, um software do tipo (CAD).

Figura 2 – Molde para criação de amostras

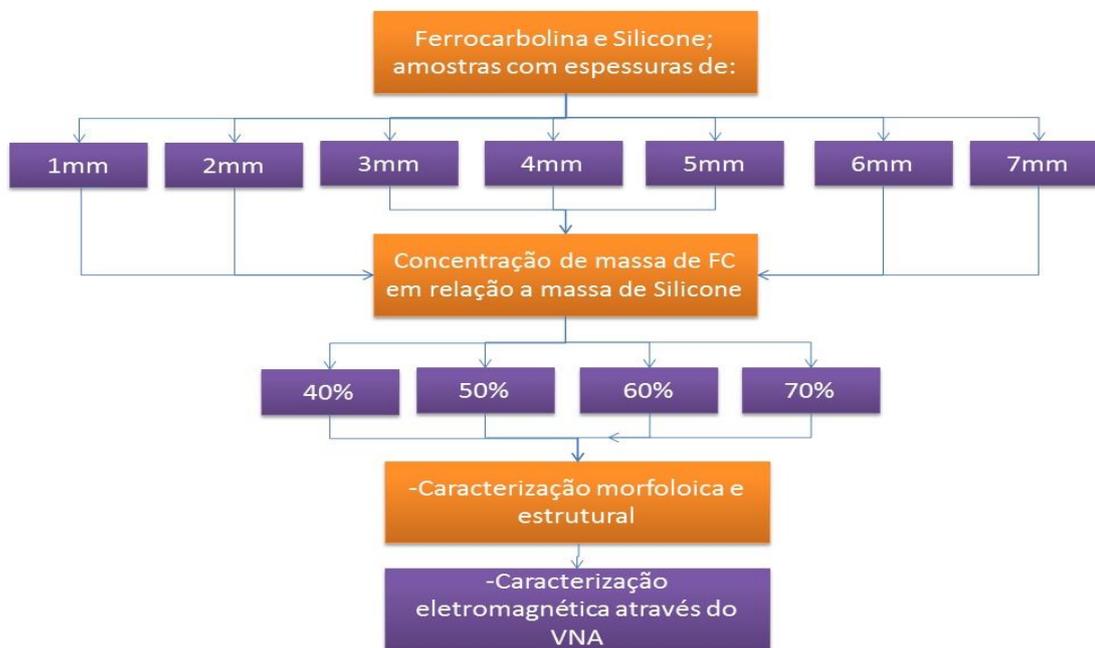


Fonte: Autor (2020)

É válido salientar que após a confecção das amostras de ferrocementa dispersa em matriz de silicone, foi feita a caracterização eletromagnética, caracterização morfológica e estrutural.

A Figura 3, é um fluxograma que representa a descrição das concentrações e espessuras das amostras feitas e por fim os tipos de caracterizações realizadas.

Figura 3 – Descrição do estudo



Fonte: Autor (2020)

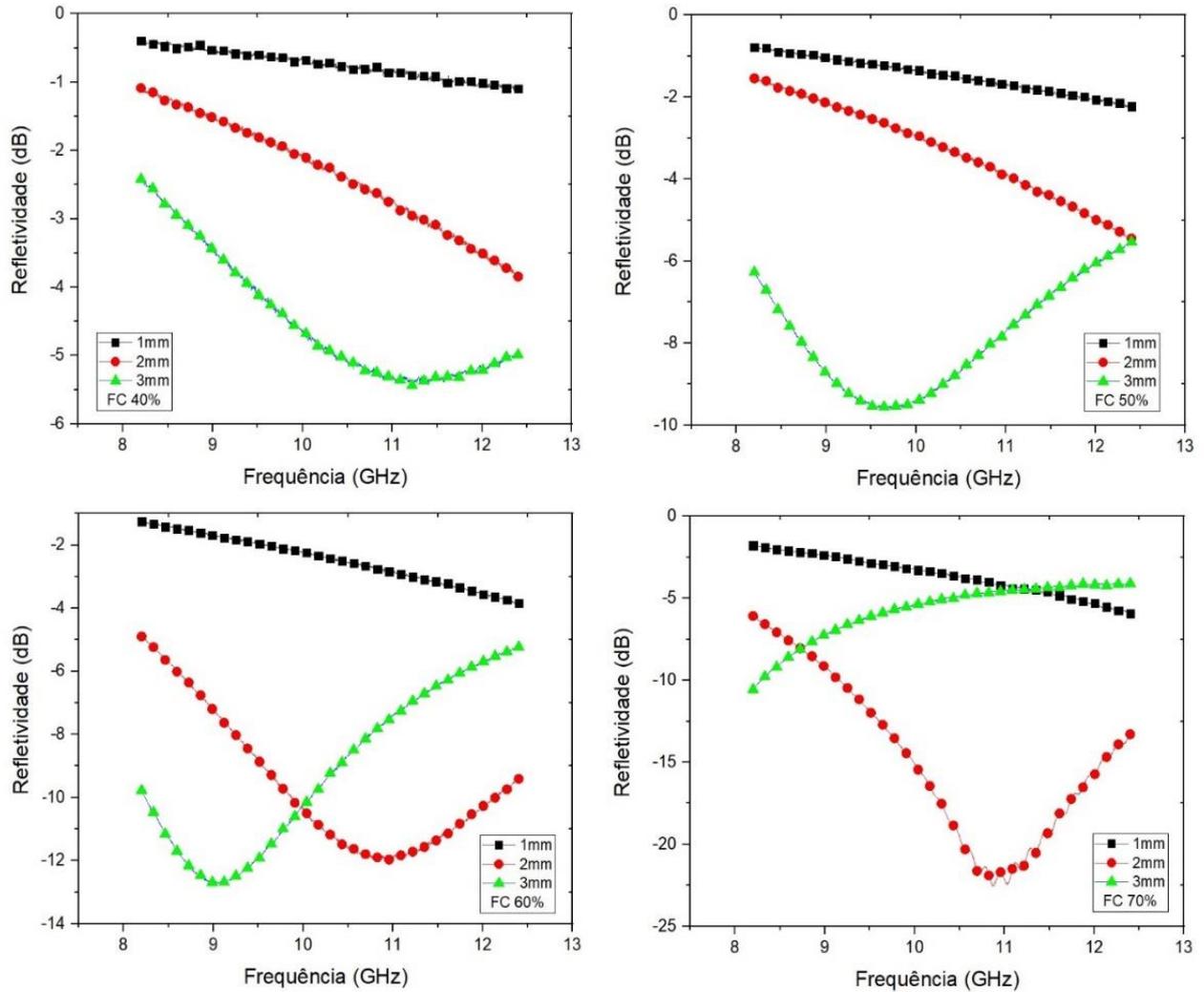
**Caracterização eletromagnética:** As caracterizações eletromagnéticas das amostras obtidas foram realizadas em um guia de onda retangular (kit de calibração W-90 X11644A) acoplado a um Vector Network Analyzer (VNA), também conhecido por analisador de rede vetorial, PNA-L, 50 GHz, modelo N5232A, da fabricante Keysight Technologies, referente a Banda-X.

Por meio deste equipamento é possível mensurar, através de métodos numéricos, os comportamentos referentes às propriedades elétricas e magnéticas do material. O VNA emite um pulso eletromagnético na faixa de frequência de 8,2 GHz a 12,4GHz, onde, por meio de um guia de onda, atinge o material de teste, e então através de seus detectores de diodo (receptores) captam o sinal que retorna e assim realizam as medidas de magnitude e fase do sinal. Com isso é possível obter informações sobre os parâmetros-S, parâmetro este que nos fornece dados a respeito da reflexão e transmissão do sinal emitido. Deste modo, obtemos o comportamento referente à permissividade elétrica e permeabilidade magnética do material da amostra, o método comumente utilizado para obter tais parâmetros é o *Nicolson Ross Weir* (NRW) que também é chamado de *Método de Transmissão e reflexão*.

## 2.3 Resultados

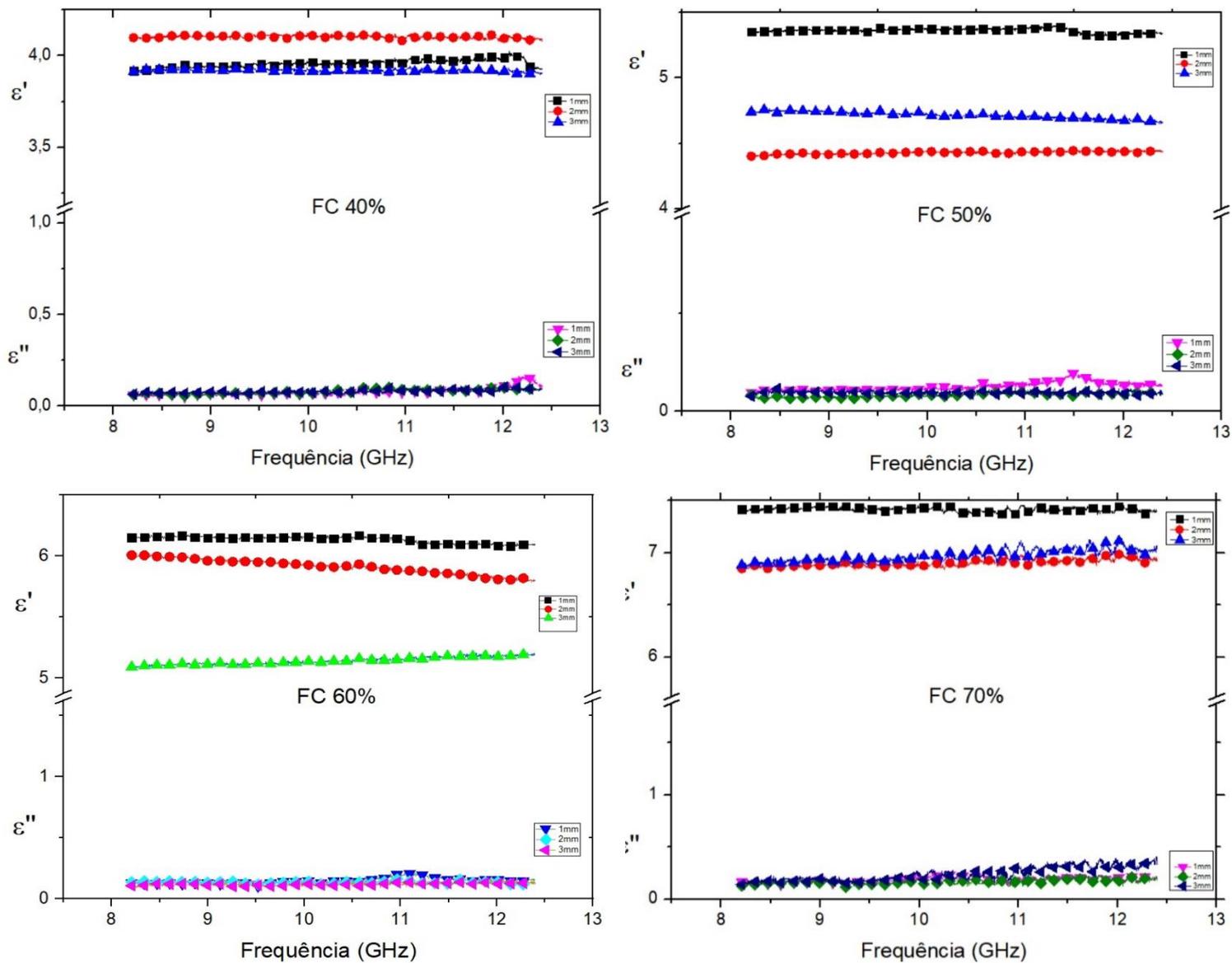
Após finalizadas as amostras e separadas com as suas diferentes espessuras, realizou-se a sua caracterização eletromagnética, classificadas com concentrações de: 40%, 50%, 60% e 70% de massa de ferrocarbonila em relação a massa de Silicone. A obtenção dos valores de permissividade, permeabilidade e refletividade auxilia na compreensão dos fenômenos de absorção da radiação eletromagnética. Abaixo são apresentados os dados referentes aos diferentes tipos de particulados. Os resultados ainda serão objeto de análises.

Figura 4 - Gráficos dos dados refletividade



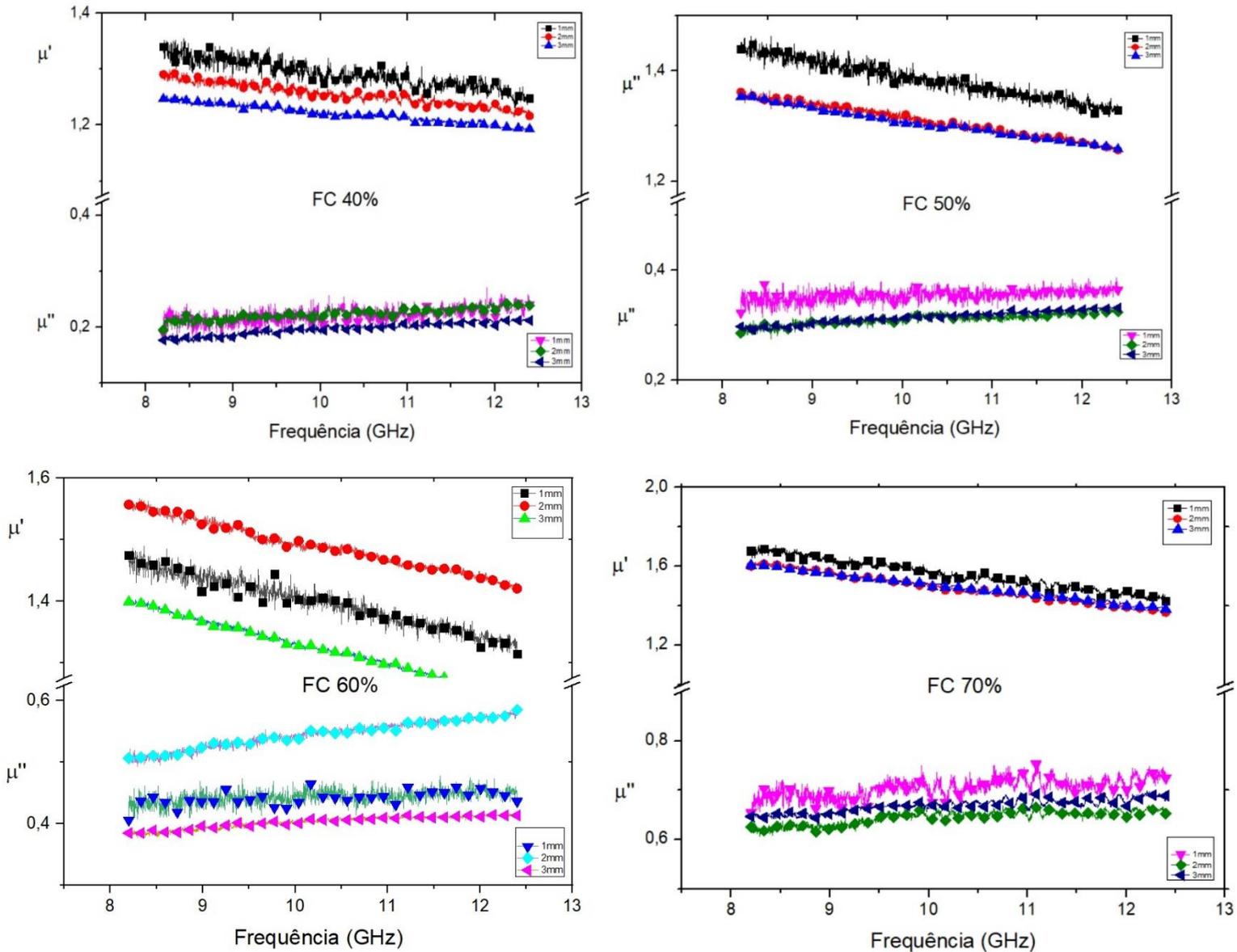
Fonte: Autor (2020)

Figura 5 - Gráficos dos dados de permissividade:



Fonte: Autor (2020)

Figura 6 - Gráficos dos dados de permeabilidade:

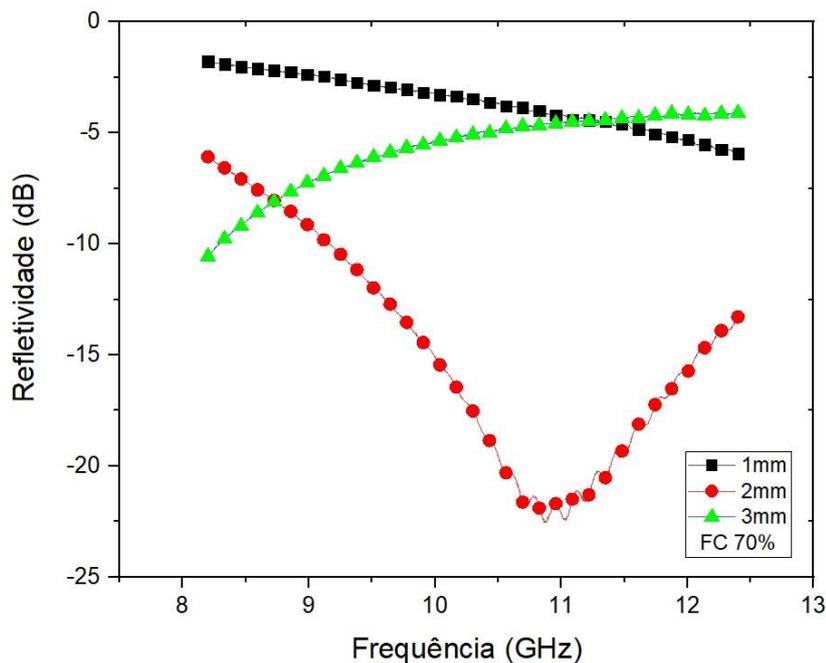


Fonte: Autor (2020)

## 2.4 Discussão dos resultados

O gráfico abaixo apresenta os melhores resultados obtidos no VNA de valores de refletividade, foram eles das amostras com concentrações de 70% de ferrocenonila e espessuras de 2mm. Dentre todas as amostras analisadas, os dados obtidos das amostras de 2mm de espessura com 70% de concentração de ferrocenonila disperso em 30% na matriz de silicone foram os mais expressivos para continuação deste trabalho, essa amostra chegou a uma atenuação de -24,0dB que equivale a aproximadamente 99,4% de atenuação da onda.

Figura 7 – Refletividade na amostra de FC com 70%



Fonte: Autor (2020)

### 3. Conclusões Gerais

O aumento na demanda por materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) tem se constituído em uma importante atividade de pesquisa nestas últimas décadas, envolvendo diferentes profissionais que trabalham em conjunto para o melhor desenvolvimento desses materiais.

Em continuidade deste projeto, a percolação será medida através da técnica de espectroscopia de impedância e pode oferecer informações sobre o estado de grandezas físicas no interior do compósito, sendo assim é interessante um estudo sobre a verificação experimental da relação entre percolação elétrica e dimensão de partículas de Ferrocarbonila.

Referências bibliográficas:

- [1] Miguel Angelo do Amaral Junior, Newton Adriano do Santos Gomes, Simone de Souza Pinto, Mirabel Cerqueira Rezende, Jossano Saldanha Marcuzzo, Sandro Fonseca Quirino, Maurício Ribeiro Baldan, **“Influence of the Permittivity on Carbon Fiber Particulates Applied in Radiation Absorbing Materials”**, Global Journal of Researches in Engineering, Vol. 17, No. 8, 2017.
- [2] Daniel Consoli Silveira, Newton Gomes, Mirabel Cerqueira Rezende, Edson Cocchieri Botelho, **“Electromagnetic Properties of Multifunctional Composites Based on Glass Fiber Prepreg and Ni/Carbon Fiber Veil”**, J. Aerosp. Technol. Manag., Vol.9, No 2, pp.231-240, 2017.
- [3] Marta González, Javier Pozuelo, and Juan Baselga , **“Electromagnetic Shielding Materials in GHz Range”**, THE CHEMICAL RECORD, 18, 1-11, 2018.
- [4] YUPING DUAN, GUOFANG LI, LIDONG LIU and SHUNHUA LIU, **“Electromagnetic properties of carbonyl iron and their microwave absorbing characterization as filler in silicone rubber”**, Bull. Mater. Sci., Vol. 33, No. 5, pp. 633–636, 2010.
- [5] T. J Fiske, H. S Gokturk, Dilhan Kalyon, **“Percolation in Magnetic Composites”**, Journal of Materials Science 32(20):5551-5560, 1997.
- [6] Miguel Kiwi, José Mejía-López, Ivan K. Schuller, Harry Suhl, **“Percolation and magnetism: interplay and relevance”**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 226-230, 626 - 629, 2001.
- [7] L. V. Panina, A. S. Antonov, A. K. Sarychev, V. P. Paramonov, E. V. Timasheva, and A. N. Lagarikov, **“Magnetic anomaly in insulator-conductor composite materials near the percolation threshold”**, Journal of Applied Physics 76, 6365, 1994.