

Avaliação Eletromagnética do Radome do Rádio Telescópio Pierre Kauffman

Giovana Silva Cembranelli¹, Mariana Helena de Oliveira Antunes², Guilherme Nader Kawassaki¹, Bráulio Haruo Kondo Lopes¹, Mauricio Ribeiro Baldan¹.

1-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; 2-Faculdades de Tecnologia do Estado de São Paulo São José dos Campos Prof. Jessen

Resumo — Este trabalho avalia o desempenho eletromagnético do radome do Radiotelescópio Pierre Koffman (RTPK) localizado no município de Atibaia, SP, operando nas faixas de frequência de 3 kHz a 100 GHz. Atualmente, o radome está em uso a mais de 20 anos com previsão de ser integralmente substituído nos próximos anos. Nesse sentido, este trabalho propõe avaliar o atual radome com o propósito de analisar as propriedades eletromagnéticas, visando à obtenção dos requisitos necessários para a produção de um radome genuinamente nacional e que atenda aos requisitos mecânicos e eletromagnéticos do atualmente instalado. O radome foi caracterizado nas bandas X, Ku, K e Ka em guias de onda para a obtenção de suas propriedades constitutivas (ϵ , μ) e X, Ku e K em espaço livre para avaliar a transmitância e reflectância. Posteriormente, a permissividade elétrica e a permeabilidade magnética foram utilizadas nas simulações para o escalonamento das frequências de operação, validando suas capacidades como um radome de banda ultra larga. Os resultados foram comparados e apresentaram uma excelente concordância, com uma transmitância de 95 para as bandas avaliadas. Para as bandas acima da banda K e abaixo da banda X, são apresentados dados simulados em toda a faixa de operação do RTPK.

I. INTRODUÇÃO

O sistema de antenas é necessariamente protegido por um radome. Além do desempenho mecânico para proteger o equipamento contra interferências (reflexão, ou distorção de sinais, e interferência de outros sistemas), é necessário também um desempenho elétrico com características inerentes que facilitem a transmissão de ondas eletromagnéticas [1]. No entanto, é inevitável que a presença de radomes reduza a capacidade de transmissão das antenas, diminuindo assim sua eficiência [2, 3].

A. Fundamentação

1. Rádio Telescópio Pierre Kauffman

O RTPK, figura 1, atualmente compreende equipamentos que atuam desde VLF (*very low frequency*) até o próprio radiotelescópio, figura 2, que opera a 100 GHz [4].

Figura 01 – Radome do RTPK.



Fonte: Mackenzie, 2024.

Figura 01 – Antena do Rádio Telescópio RTPK.



Fonte: Radio Astronomia, 2024.

Atualmente, o RTPK é mantido por meio de uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e a Universidade Presbiteriana Mackenzie.

2. Teoria Eletromagnética Aplicada

Para o caso do RTPK, é crucial encontrar um material transparente em todas as faixas de frequência de 3 kHz a 100 GHz. Isso requer o conhecimento dos parâmetros do material do radome, especialmente sua permissividade elétrica e permeabilidade magnética. Simplificadamente, esses parâmetros estão relacionados no espaço livre conforme descrito pelas equações 1 e 2 [5, 6].

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad \text{Eq. 01}$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad \text{Eq. 02}$$

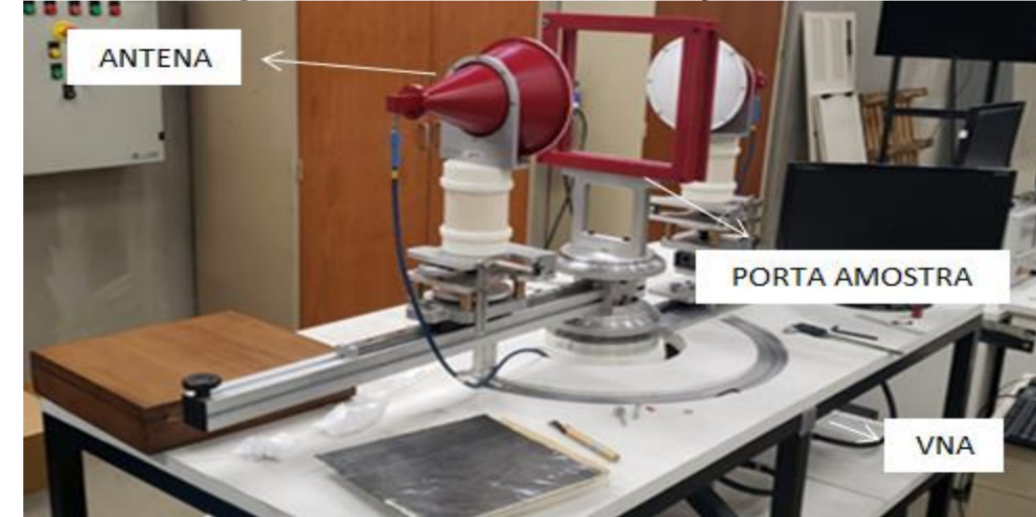
II. METODOLOGIA

A caracterização eletromagnética dos materiais neste estudo foi realizada utilizando-se um analisador de rede vetorial (Vector Network Analyzer VNA) nas bandas X, Ku e K, em um sistema guiado, figura 3, e em espaço livre, figura 4.

Figura 03 – Guia de Ondas.



Figura 04 – Setup Espaço Livre.



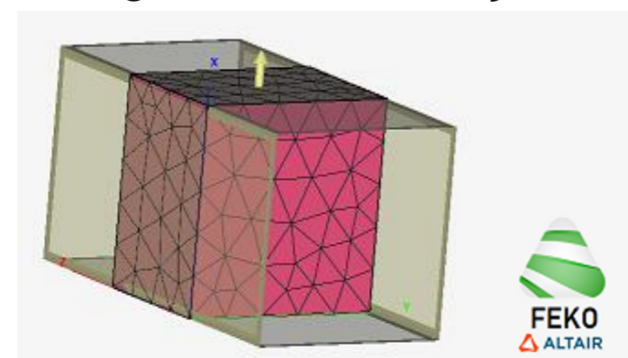
A. Medidas em Sistema Guiado

Para determinar os parâmetros eletromagnéticos (ϵ e μ), utilizaram-se medidas com um VNA acoplado aos guias de onda retangulares WR 90, WR 62 e WR 42. Todas as medições foram realizadas com potência de 0 dBm. A figura 3 apresenta as quatro configurações do Parâmetro S (quantidade de sinal) usadas para calcular os parâmetros constitutivos através do método NRW.

B. Simulação Eletromagnética

Os dados de permissividade elétrica relativa e permeabilidade magnética relativa foram utilizados para realizar medições em espaço livre, usando o pacote da Altair em todas as faixas de frequência estudadas. Para simular essa condição, foi empregada uma placa de contornos infinitos nos eixos x e y, com incidência da onda no eixo z, conforme ilustrado na figura 5. A espessura da placa foi mantida idêntica à espessura real da amostra, ou seja, 0,7.

Figura 05 – Simulação.



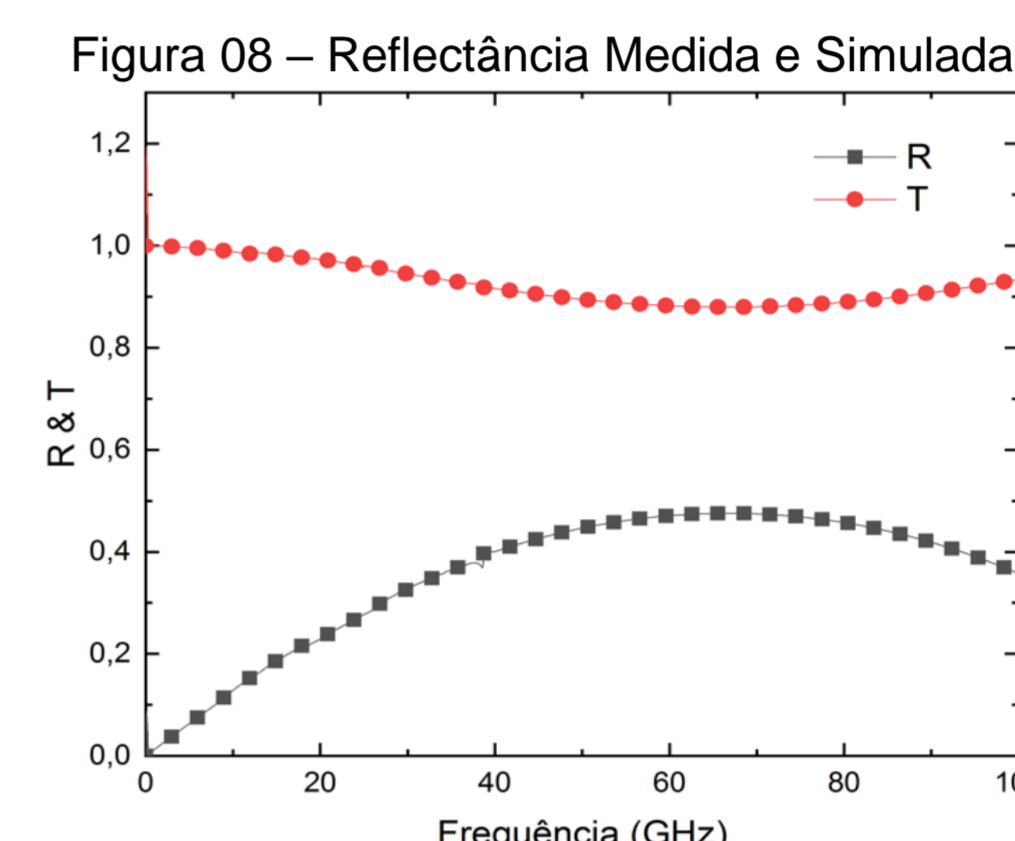
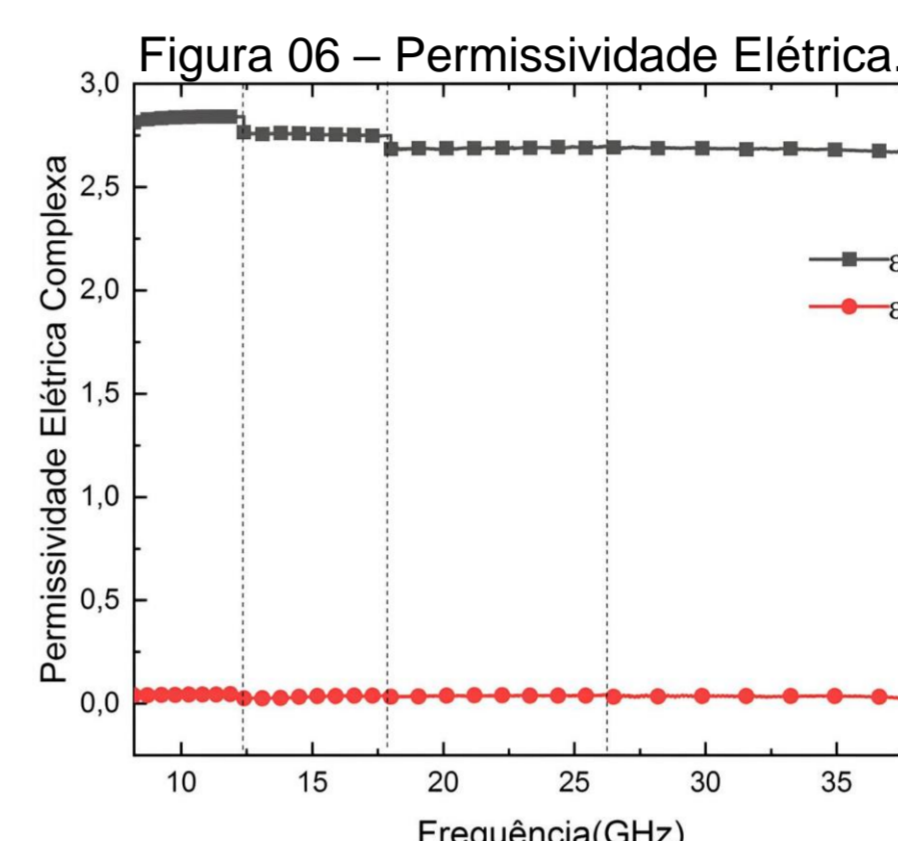
C. Medidas em Espaço Livre

O método consiste em avaliar o sinal emitido pela antena 1 para a antena 2 através da amostra em estudo. Nessa configuração, é possível avaliar a Transmitância e Reflectância do material em estudo. A calibração das antenas e dos cabos foi feita no domínio do tempo afim de evitar ao máximo possíveis interferências [7]. As amostras possuem 270x270 mm para garantir o ponto focal das antenas que contam com lentes colimadoras.

III. Resultados

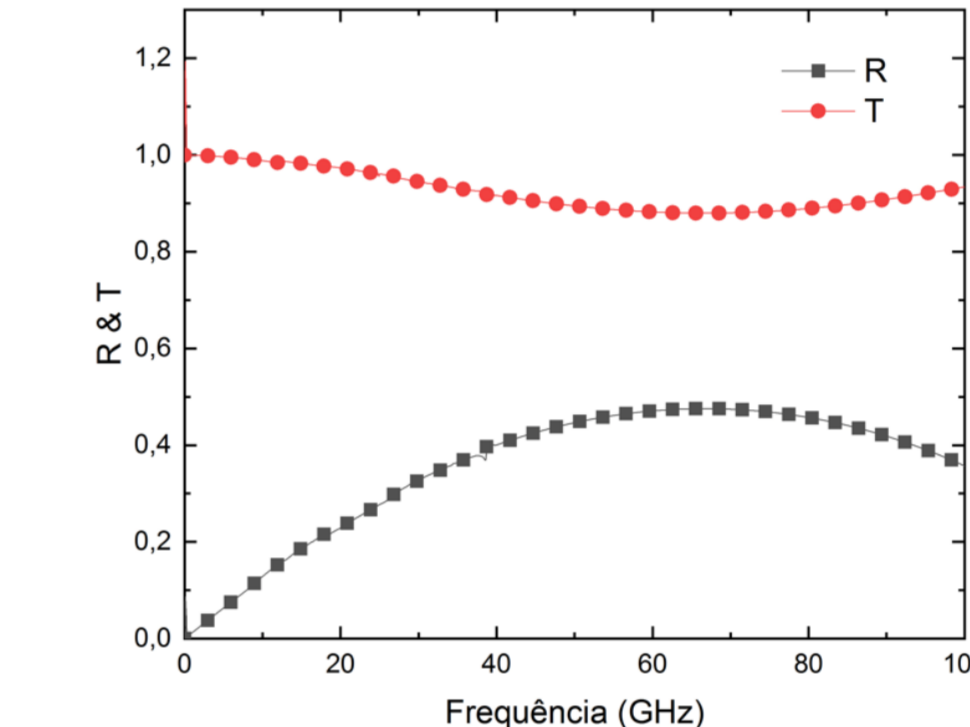
A. Guiado

Para os resultados das propriedades constitutivas do material, foram plotados dois gráficos: um para permissividade elétrica (ϵ), figura 6, e outro para permeabilidade magnética (μ), figura 7.



Os resultados da simulação foram plotados na forma de gráfico, figura 8, em relação a transmitância ($|S_{21}|$) e reflectância ($|S_{11}|$).

Figura 08 – Reflectância Medida e Simulada.



B. Espaço Livre

Para validar as medidas da simulação, foram feitas medidas em espaço livre de acordo com a metodologia citada em II.B. Para equiparar os resultados, foi ampliado o traço do gráfico de simulação de modo que seu eixo X compreendesse somente as bandas especificadas. Sendo assim, os gráficos das figuras 9 e 10 apresentam estes resultados separados em transmitância e reflectância, respectivamente.

Figura 09 – Transmitância Medida e Simulada.

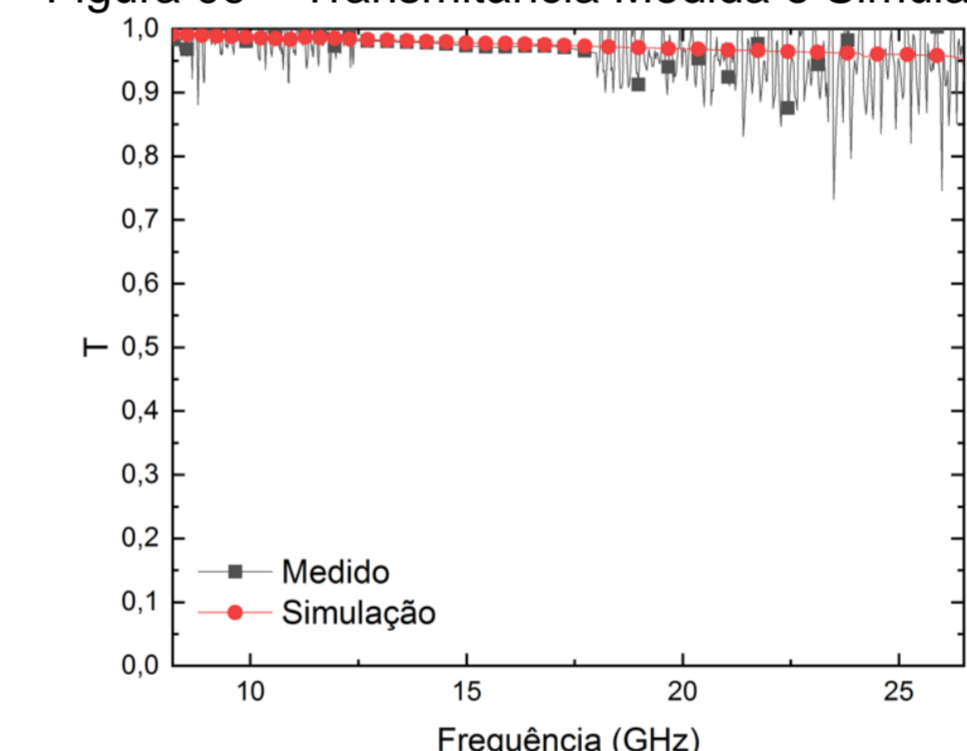
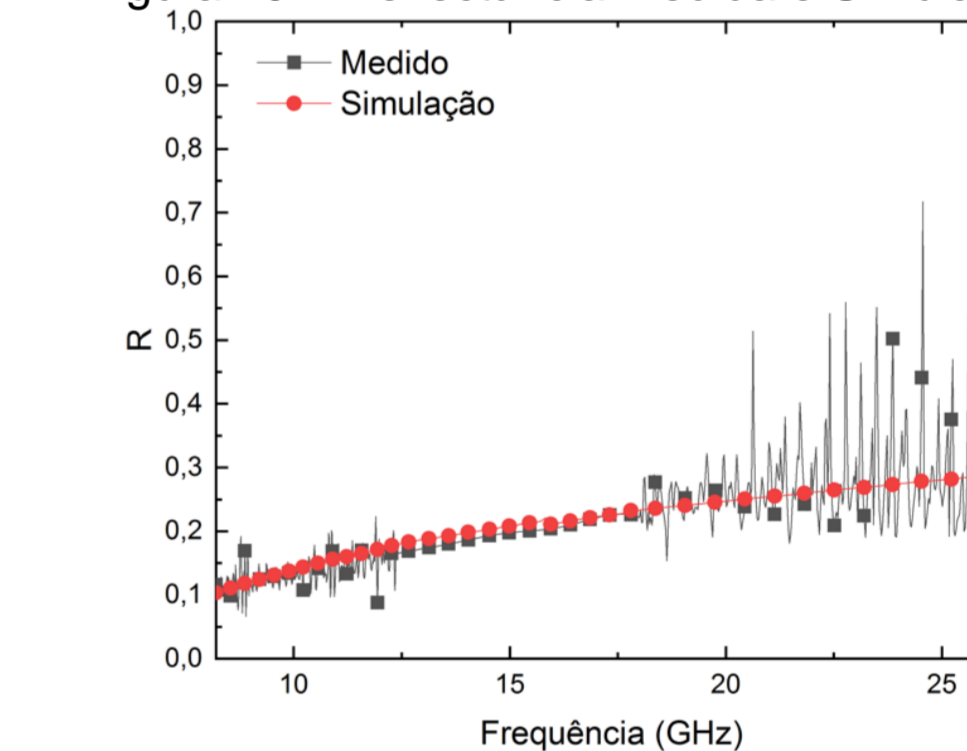


Figura 10 – Reflectância Medida e Simulada.



Se desconsiderarmos as interferências de sinal, é possível afirmar que, para as medidas em espaço livre, temos em 26,335 GHz com aproximadamente 3% de reflexão contra 1% em 8,896GHz, e em 16,085GHz uma transmissão de 99,991% do sinal, contra 90,215% de transmissão em 25,566GHz.

III. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra que a simulação computadorizada das medições é aproximadamente equivalente às medidas obtidas em espaço livre. Além disso, evidencia que o uso de lentes colimadoras são eficientes como foco em uma menor área útil, visto que ao considerar a linha de tendência e ignorar interferências menores, não apenas se valida a simulação teórica, como também se elimina a necessidade de grandes estruturas.

Adicionalmente, este estudo mostra que um radome de banda Ultra-Larga pode apresentar perdas de sinal em bandas específicas, ressaltando a importância de avaliar o desempenho global do sistema.

REFERÊNCIAS

- Kozakoff, Dennis, J. Analysis of Radome-7. Enclosed Antennas, Second Edition, Wiley, 2010.
- G. Eason, B. Noble, I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions", Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, p. 529–551, Abril 1955.
- J. Clerk Maxwell, "A Treatise on Electricity and Magnetism", 3ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, p.68–73.
- VILAS BOAS, J. W. S. Zona de Silêncio Elétrico: PROTEÇÃO DO RÁDIO-OBSERVATÓRIO DO ITAPETINGA CONTRA INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS INDESEJÁVEIS. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/area-conhecimento/engenharia-e-ciencias-espaciais/radio-observatorio/repositorio-de-arquivos/zonasilencio_v2.pdf>.
- I. S. Jacobs, C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy" In Magnetism, vol. III, G. T. Rado e H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, p. 271–350.
- SADIKU, M. N. O. Elementos de eletromagnetismo. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 716p.
- Pozar, David M. Microwave Engineering. Hoboken, NJ :Wiley, 2012
- Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface", IEEE Transl. J. Magn. Japão, vol. 2, p. 740–741, Agosto 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- A. Sheth, C. Henson, e S. S. Sahoo, "Semantic Sensor Web", IEEE Internet Computing, July/August 2008. Disponível em: <http://www.computer.org/internet/ >. Acesso em: 11/03/2009.
- A. Diepolder, M. Mueh, S. Brandl, P. Hinz, C. Waldschmidt and C. Damm, "A Novel Rotation-Based Standardless Calibration and Characterization Technique for Free-Space Measurements of Dielectric Material," in IEEE Journal of Microwaves, vol. 4, no. 1, pp. 56–68, Jan.2024, doi: 10.1109/JMW.2023.3340448.