



Universidade Federal
de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

LEIRY GABRIELLE MARQUES LUZ PINTO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LABORATÓRIO DE RADIOMETRIA

Campina Grande
Outubro de 2024

LEIRY GABRIELLE MARQUES LUZ PINTO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LABORATÓRIO DE RADIOMETRIA

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Orientador:
Alexandre Jean René Serres, Dr.

Campina Grande
Outubro de 2024

LEIRY GABRIELLE MARQUES LUZ PINTO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LABORATÓRIO DE RADIOMETRIA

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Alexandre Jean René Serres, Dr.
UFCG

Georgina Karla de Freitas Serres,
Dr.
UFCG

Campina Grande
Outubro de 2024

"Dedico este trabalho a minha mãe, Genilda Marques Luz Pinto. Tudo sempre foi e sempre será por ela."

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à minha mãe, Genilda Marques Luz Pinto, cujo suor, sangue e lágrimas foram derramados para que eu tivesse a oportunidade de chegar até aqui. Tudo sempre foi e sempre será por ela. Sua coragem e seus sacrifícios permitiram que aquela menina ousasse sonhar e, apesar de todas as probabilidades, estivesse aqui hoje testemunhando esses sonhos se transformarem em realidade.

Ao meu pai, Luiz Carlos Pinto da Silva, que debaixo de sol, permitiu que hoje eu pudesse estar aqui, na sombra. Sua labuta tornou esta jornada possível.

Aos meus avós, Cícero Marques Luz, Helena Vilarins Luz, Maria José Pinto e Luiz Ciríaco da Silva (in memoriam), que foram colo e afeto. Lar é onde o coração está, e é por isso que não importa quão longe eu vá, sempre vou vol. Vocês me trouxeram paz, mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha madrinha, que incentivou e apoiou minha educação desde a infância, sendo uma referência de força, independência e bravura em um campo em que as mulheres, especialmente em áreas como matemática, ainda não eram bem aceitas. Seu exemplo abriu portas, não só para mim, mas para muitas outras que, como eu, continuam lutando pelo seu espaço nas exatas.

Ao meu namorado, Lucas de Oliveira Lobo, a quem sou incapaz de mensurar em palavras a minha gratidão por todo o apoio, carinho e paciência ao longo desta jornada. Você foi, e é, minha fortaleza.

Ao meu namorado, que foi meu porto seguro em meio às tempestades, capaz de me fazer voltar a sorrir quando o caminho parecia incerto. Agradeço por todas as vezes em que segurou minha mão quando eu não sabia para onde ir, e me mostrou que a vida pode ser bonita. Seu amor e paciência tornaram esta jornada muito mais leve.

Ao meu professor, Alexandre Jean René Serres, que hoje chamo de amigo, cuja orientação e paciência foram essenciais nesta caminhada. As oportunidades que me confiou fizeram toda a diferença nos momentos em que precisei que alguém acreditasse em mim.

Aos meus amigos, Lucila, Lara, Thamyris, Rafaella, Caio, Dhara, João Felipe, Larissa, Leticia, Hortência, Juliana, Nivia, companheiros incansáveis de jornadas sem fim durante todos estes longos anos de graduação, a quem ousou dizer que se tornaram uma parte de mim. Vocês foram fortaleza nos dias em que o cansaço ameaçava nos despedaçar. Nos momentos em que parecia impossível seguir, fomos irmãos, pais, amigos, cuidadores uns dos outros. Sem vocês, não sei se teria chegado até aqui.

E assim, com o coração cheio de gratidão e orgulho, dedico por fim este trabalho à todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional ao longo da minha vida. Graças à educação, me tornei a pessoa que eu sou hoje. "A educação salva. A educação transforma. A educação liberta."

RESUMO

Este relatório descreve as atividades desenvolvidas por Leiry Gabrielle Marques Luz Pinto durante o estágio supervisionado realizado no Laboratório de Radiometria da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O estágio teve como principal objetivo aplicar e consolidar os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Elétrica, focando em áreas como análise de espectro, modulação, caracterização de ruído e medições de parâmetros S em dispositivos de alta frequência. Durante o estágio, foram utilizados equipamentos como o *Spectrum Rider* FPH e o Analisador de Espectro Vetorial (*Vector Network Analyser* - VNA), além do *software Ansys HFSS* para simulação de estruturas de alta frequência. As atividades incluíram medições de parâmetros S₂₁ e ganho de antena, medições de frequência respiratória utilizando Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency Identification* - RFID), suporte no *design* de antenas, e a confecção de Superfícies Seletivas de Frequência (*Frequency Selective Surfaces* - FSS). Além disso, são propostas melhorias futuras para o laboratório, como a criação de guias de medição, automação de processos e elaboração de uma lista de equipamentos. O estágio cumpriu plenamente os objetivos propostos, proporcionando uma experiência prática enriquecedora e contribuindo para a formação acadêmica e profissional do estagiário.

Palavras-chave: Análise de Espectro, Parâmetros S, *Spectrum Rider* FPH, *Vector Network Analyzer*, *Ansys HFSS*.

ABSTRACT

This report describes the activities carried out by Leiry Gabrielle Marques Luz Pinto during the supervised internship at the Radiometry Laboratory of the Federal University of Campina Grande (UFCG). The main objective of the internship was to apply and consolidate theoretical knowledge acquired throughout the Electrical Engineering course, focusing on areas such as spectrum analysis, modulation, noise characterization, and S-parameter measurements in high-frequency devices. The internship involved the use of equipment such as the Spectrum Rider FPH, Signal and Vector Network Analyzer, as well as the Ansys HFSS software for high-frequency structure simulation. The activities included S11 and antenna gain measurements, respiratory frequency measurement using RFID and Arduino, support in antenna design, and the fabrication of Frequency Selective Surfaces (FSS). Additionally, future improvements for the laboratory are proposed, including the creation of measurement guides, automation of processes, and the development of an equipment inventory. The internship fully achieved its goals, providing a rich hands-on experience and contributing to the academic and professional growth of the intern.

Keywords: Spectrum Analysis, S-parameters, Spectrum Rider FPH, Vector Network Analyzer, Ansys HFSS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Analisador de espectro portátil R&S <i>Spectrum Rider</i> FPH	4
Figura 2 – Analisador de espectro vetorial E5071C <i>Keysight/ Agilent</i>	5
Figura 3 – Ajustes do <i>design</i> da FSS no <i>software</i> da <i>Silhouette</i>	7
Figura 4 – Cortes no adesivo sendo realizados na <i>Silhouette</i>	8
Figura 5 – Adesivo pronto para ser ajustado ao FR4	8
Figura 6 – FSS de referência	10
Figura 7 – Antena utilizada nas medições	10
Figura 8 – Medição de parâmetros S da FSS	11
Figura 9 – Medição de parâmetros S da FSS	11
Figura 10 – <i>Kit</i> de calibração <i>Keysight 85032E</i>	12
Figura 11 – Componentes do <i>kit</i> de calibração	13
Figura 12 – Componentes do <i>kit</i> de calibração	13
Figura 13 – <i>Setup</i> de medição de ganho	14
Figura 14 – <i>Setup</i> de medição de ganho	14
Figura 15 – <i>Setup</i> de medição - Analisador de espectro portátil R&S® <i>Spectrum</i> <i>Rider</i> FPH	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
HFSS	<i>High-Frequency Structure Simulator</i>
RBW	<i>Resolution Bandwidth</i>
RF	Radiofrequência
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
VNA	<i>Vector Signal Analyzer</i>

SUMÁRIO

Lista de ilustrações	8
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Laboratório de Radiometria	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Organização do Trabalho	2
2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS	4
2.1 <i>Spectrum Rider</i> FPH	4
2.2 Analisador de Espectro Vetorial (<i>Vector Network Analyzer - VNA</i>)	5
2.3 Ansys HFSS	6
3 RELATO DE ATIVIDADES	7
3.1 Desenvolvimento de Protótipos de FSS	7
3.2 Medição de Parâmetros S ₂₁ de FSS	9
3.3 Medição de Ganho de Antena	12
3.4 Medição de Frequência Respiratória Utilizando Etiqueta RFID	15
3.5 Análise e Medições com Antena Utilizando <i>Spectrum Rider</i> FPH	15
3.6 Suporte no <i>design</i> de Antenas nos softwares Ansys HFSS e Keysight	
ADS	17
4 MELHORIAS FUTURAS	18
4.1 Criação de Guias para Diferentes Tipos de Medição	18
4.2 Elaboração de Lista dos Equipamentos e Dispositivos do Laboratório	18
5 CONCLUSÕES	20
REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

Este relatório descreve as atividades desenvolvidas por Leiry Gabrielle Marques Luz Pinto durante o estágio supervisionado realizado no Laboratório de Radiometria da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O estágio, que ocorreu durante o período de 2024.1, teve como principal objetivo proporcionar uma imersão prática nas técnicas e fundamentos de análise de espectro, modulação e ruído, e aplicar esses conhecimentos em um projeto integrador que consolidasse as habilidades adquiridas ao longo do período de estágio, que ocorreu entre 21 de Junho de 2024 a 01 de Outubro de 2024, totalizando 309 horas. Nesse contexto, o estágio teve como foco principal a introdução e o aprofundamento nos fundamentos da análise de espectro, técnicas de modulação, caracterização de ruído e, finalmente, a aplicação prática desses conhecimentos em atividades desempenhadas no laboratório. Além disso, o estágio visou integrar tais práticas de medição e análise com o uso de equipamentos e *softwares* avançados, como o *Spectrum Rider* FPH, o *Vector Network Analyzer* (VNA) e o *software Ansys HFSS*, essenciais para a caracterização de sistemas de comunicação em diferentes bandas de frequência.

1.1 LABORATÓRIO DE RADIOMETRIA

O Laboratório de Radiometria da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) foi estabelecido em 2014, reunindo a expertise dos professores responsáveis com foco em circuitos de alta frequência, processamento de sinais e óptica. Desde sua fundação, o laboratório tem como objetivo principal desenvolver técnicas de medição não invasivas utilizando ondas eletromagnéticas. Atualmente, o laboratório conduz pesquisas em áreas como miniaturização de antenas, sensores RFID para aplicações biomédicas, sensores de micro-ondas, superfícies seletivas em frequência para aplicações em 5G, *beamforming*, coleta de energia (*energy harvesting*), entre outras.

Dessa forma, o Laboratório de Radiometria da UFCG, oferece aos alunos um ambiente propício para o desenvolvimento de habilidades práticas e aplicação de conceitos teóricos em cenários reais de engenharia.

1.2 OBJETIVOS

O estágio teve como objetivos principais:

- Compreender os fundamentos básicos da análise de espectro, incluindo a identificação e caracterização de diferentes tipos de sinais (AM, FM, sinais digitais), utilizando

- o analisador de espectro *Spectrum Rider* FPH;
- Aprender a realizar medições precisas de frequência e amplitude, documentando a precisão e a exatidão dessas medições;
 - Explorar técnicas de modulação (AM, FM, PM) e caracterização de ruído, avaliando o impacto do ruído em sistemas de comunicação e propondo métodos de mitigação;
 - Desenvolver habilidades práticas de detecção e mitigação de interferências, aplicando estratégias para identificar fontes de interferência e implementar soluções para minimizar seus efeitos em sistemas de comunicação;
 - Conduzir um projeto integrador que aplicasse as técnicas aprendidas durante o estágio para realizar a coleta, análise e interpretação de sinais reais, bem como verificar a conformidade com padrões regulatórios e apresentar os resultados finais.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este relatório está organizado de maneira a apresentar de forma clara as atividades realizadas durante o estágio supervisionado no Laboratório de Radiometria da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O trabalho inicia com o Capítulo 1, no qual é feita a introdução do relatório, descrevendo o contexto, os objetivos e a estrutura do documento. Além disso, é feita uma breve apresentação do Laboratório de Radiometria, destacando as principais linhas de pesquisa dos trabalhos que são desenvolvidos no mesmo.

No Capítulo 2, são descritas as tecnologias utilizadas ao longo do estágio, incluindo os equipamentos e *softwares* que tiveram papel central nas atividades. Dentre os principais dispositivos, estão o *Spectrum Rider* FPH, o Analisador de espectro vetorial E5071C *Keysight/ Agilent* e o *software* de simulação *Ansys HFSS*. Cada equipamento é detalhado com suas funcionalidades e aplicações dentro das atividades desenvolvidas.

O Capítulo 3 apresenta o relato detalhado das atividades realizadas, como as medições de parâmetros S21 e ganho de antena, a medição de frequência respiratória utilizando RFID e Arduíno, além do suporte no *design* de antenas por meio do *software Ansys HFSS*. Nesse capítulo também são abordados os procedimentos utilizados para a confecção de FSS utilizando a máquina *Silhouette* e o processo de corrosão com percloro.

No Capítulo 4, são apresentadas propostas de melhorias para o laboratório e para o processo de estágio. Dentre as sugestões, estão a criação de guias para diferentes tipos de medição, automação de processos de medição, elaboração de uma lista detalhada dos equipamentos disponíveis no laboratório e a expansão das atividades de simulação.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais pós estágio, refletindo sobre os conhecimentos adquiridos e a importância das atividades para a formação acadêmica e profissional do estagiário. O capítulo também destaca as contribuições do estágio para o laboratório e as sugestões para futuros estagiários.

2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Nesta seção, serão apresentadas as ferramentas e tecnologias utilizadas durante o estágio supervisionado no Laboratório de Radiometria da UFCG. Os dispositivos e *softwares* descritos foram essenciais para a execução das atividades de medição, análise e simulação, que constituem o principal foco deste estágio.

Diversas tecnologias e ferramentas foram empregadas para a realização das atividades propostas, com destaque para dois analisadores de espectro e *softwares* específicos para simulação e análise. A seguir, são descritas os principais equipamentos utilizados.

2.1 SPECTRUM RIDER FPH

O *Spectrum Rider* FPH foi o analisador de espectro utilizado durante o estágio. Este equipamento é conhecido por sua portabilidade e precisão, sendo adequado para medições em campo e em laboratório. Suas principais utilizações incluíram:

Figura 1 – Analisador de espectro portátil R&S *Spectrum Rider* FPH



Fonte: (ROHDE&SCHWARZ, n.d.).

- Configuração de Parâmetros: Familiarização com o dispositivo, incluindo a configuração de faixas de frequência, resolução de largura de banda (*Resolution Bandwidth* - RBW) e amplitude, essenciais para uma medição precisa.

- Identificação e Caracterização de Sinais: Através da visualização em tempo real do espectro, foram identificados e caracterizados sinais de diferentes tipos, como amplitude modulada (AM), frequência modulada (FM) e sinais digitais.
- Medições de Frequência e Amplitude: O dispositivo foi empregado para realizar medições precisas de frequência e amplitude, garantindo reprodutibilidade e precisão nos resultados obtidos.

2.2 ANALISADOR DE ESPECTRO VETORIAL (*VECTOR NETWORK ANALYZER - VNA*)

O Analisador de Espectro Vetorial E5071C *Keysight/ Agilent* foi utilizado durante o estágio para realizar medições vetoriais de rede, principalmente na análise de parâmetros como S11 e S21. Este dispositivo é amplamente utilizado em laboratórios de telecomunicações e radiometria para medir as características de dispersão (parâmetros S) de dispositivos como antenas, filtros e circuitos de alta frequência. As principais aplicações durante o estágio incluíram:

Figura 2 – Analisador de espectro vetorial E5071C *Keysight/ Agilent*



Fonte: ([LEASAMETRIC](#), n.d.).

- Medições de Parâmetros S: O analisador foi configurado para medir os parâmetros S11 e S21 de dispositivos em teste, permitindo a avaliação da eficiência de transmissão e reflexão de sinais em diferentes frequências. O *software* embutido no equipamento auxiliou na coleta e visualização dos dados, facilitando a interpretação dos resultados.

- **Calibração do Equipamento:** Para garantir a precisão das medições, foram realizados procedimentos de calibração utilizando terminais de carga, circuito aberto e curto-circuito. Isso assegurou que os dados coletados fossem confiáveis e sem interferências externas.
- **Análise e Comparação de Resultados:** Os dados coletados foram analisados e comparados com simulações e valores teóricos, validando o desempenho de dispositivos como antenas e filtros. As medições foram realizadas em várias faixas de frequência para garantir uma análise completa das características dos dispositivos.

O VNA foi essencial para as medições de dispositivos de alta frequência, fornecendo resultados precisos que ajudaram na avaliação e otimização de componentes.

2.3 ANSYS HFSS

O Ansys HFSS (*High-Frequency Structure Simulator*) foi utilizado para simulações de estruturas e componentes de alta frequência, essencial para a compreensão e otimização de dispositivos utilizados nas medições e análises do estágio. As principais aplicações do *software* incluíram:

- **Simulação de Componentes:** Simulação de antenas, guias de onda e outros componentes que influenciam diretamente a análise de espectro, permitindo prever e ajustar o comportamento de dispositivos de medição.
- **Análise de Parâmetros S:** A ferramenta permitiu a modelagem de parâmetros de dispersão (parâmetros S) para avaliar a performance de componentes em diferentes frequências, auxiliando na interpretação dos resultados experimentais e na calibração dos equipamentos.
- **Otimização de Dispositivos:** Com o Ansys HFSS, foi possível otimizar o *design* e a configuração dos dispositivos utilizados, garantindo medições mais precisas e resultados mais confiáveis durante o estágio.

A integração desses equipamentos e ferramentas foi fundamental para a realização das atividades propostas, garantindo precisão e confiabilidade nas medições e análises efetuadas.

Vamos detalhar melhor cada atividade para que o capítulo fique mais robusto e claro, fornecendo informações específicas e abrangentes para cada procedimento realizado durante o estágio.

3 RELATO DE ATIVIDADES

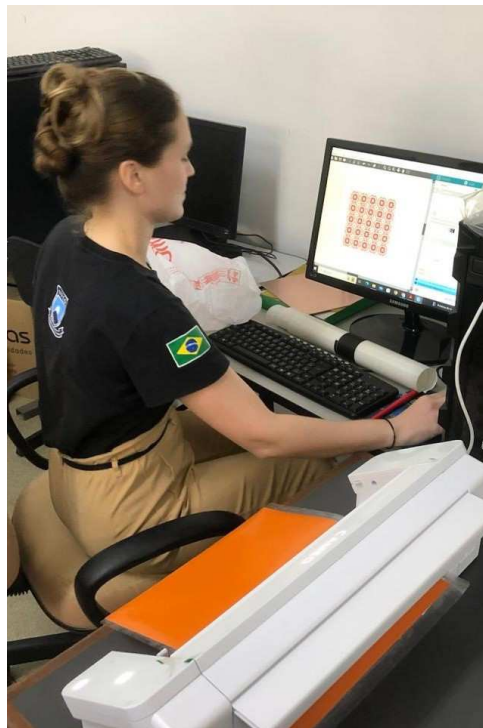
Este capítulo detalha as atividades realizadas por Leiry Gabrielle Marques Luz Pinto durante seu estágio no Laboratório de Radiometria da UFCG. As atividades foram divididas conforme os objetivos e etapas estabelecidas no plano de estágio, proporcionando um aprendizado prático e aprofundado nas técnicas de medição, análise e *design* de sistemas de comunicação.

3.1 DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS DE FSS

A estagiária prestou suporte na confecção de FSS utilizando a máquina *Silhouette* e o processo de corrosão com perclorato. O processo foi detalhado nas seguintes etapas:

- Preparação e Corte das Estruturas com a Máquina *Silhouette*: Utilizando o *software* da *Silhouette*, foram ajustados os padrões das FSS, que haviam sido previamente desenvolvidos no *Ansys HFSS*.

Figura 3 – Ajustes do *design* da FSS no *software* da *Silhouette*



Fonte: Próprio autor.

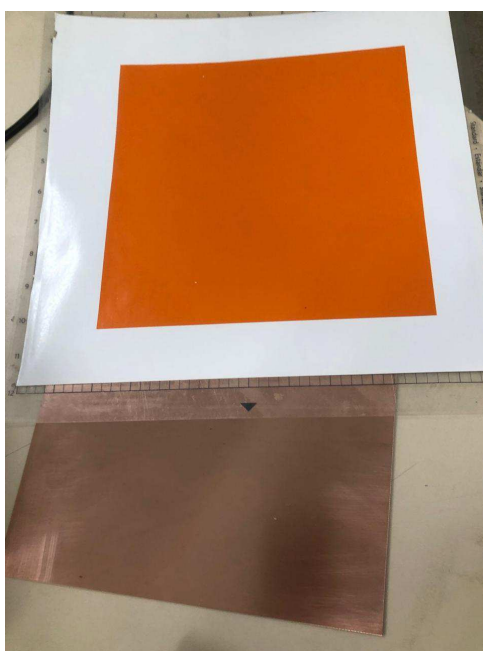
Em seguida, o adesivo foi cortado com precisão pela máquina, garantindo que os detalhes e as dimensões fossem respeitados.

Figura 4 – Cortes no adesivo sendo realizados na *Silhouette*

Fonte: Próprio autor.

Após isso, o adesivo é cuidadosamente posicionado sobre a placa de FR4 para que possa passar pelo processo de corrosão necessário.

Figura 5 – Adesivo pronto para ser ajustado ao FR4



Fonte: Próprio autor.

- Processo de Corrosão com Percloro: Após o corte, a FSS foi submetida ao processo de corrosão química com percloro, para remover as partes indesejadas de material condutor e criar as estruturas desejadas. Durante esse processo, foi necessário monitorar o tempo de exposição e a concentração do percloro para evitar danos aos materiais.
- Teste e Avaliação das FSS Criadas: As FSS finalizadas foram testadas para verifi-

car sua resposta em frequências específicas. Ajustes foram feitos nas configurações de corrosão e *design*, se necessário, para melhorar a precisão e funcionalidade das superfícies seletivas.

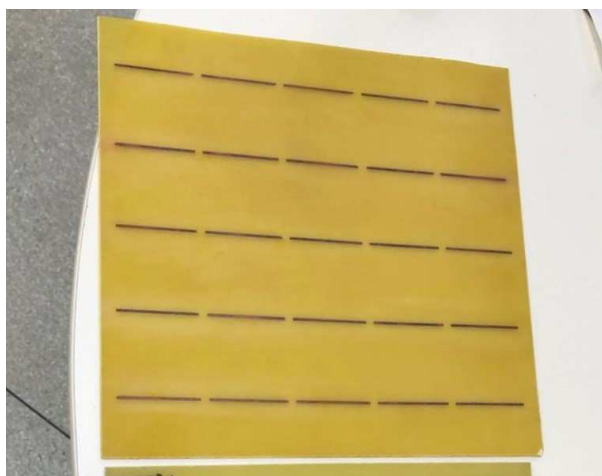
3.2 MEDIÇÃO DE PARÂMETROS S21 DE FSS

Uma das principais atividades realizadas durante o estágio foi a medição dos parâmetros S21 de FSS. O parâmetro S21 é utilizado para avaliar a transmissão de ondas eletromagnéticas através da FSS em diferentes frequências. O procedimento foi conduzido utilizando um analisador vetorial de redes VNA, conforme descrito nas etapas abaixo:

Inicialmente, foi realizada pela estagiária a medição de uma FSS com um padrão de referência amplamente documentado na literatura. Em seguida, foram realizadas medições em uma FSS com um novo *design* proposto, visando analisar e comparar a eficiência de transmissão com base nas modificações realizadas no projeto. O procedimento seguiu as etapas descritas abaixo:

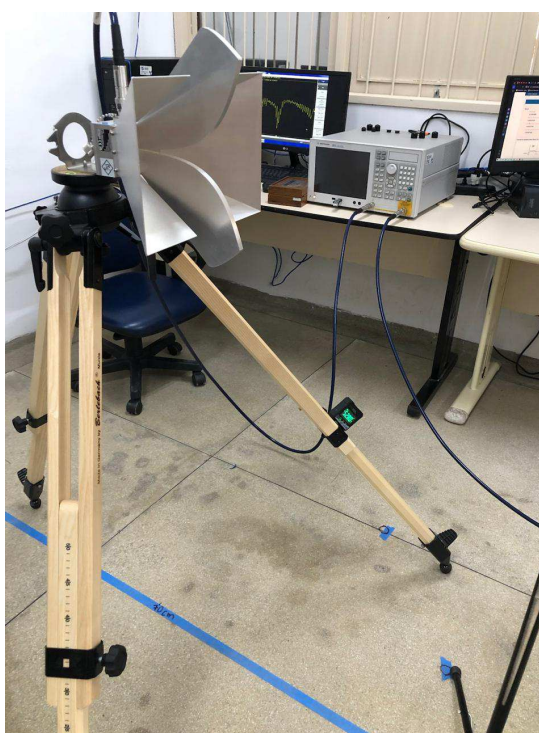
- **Configuração Inicial do Analisador Vetorial de Redes (VNA):** O analisador vetorial de redes (VNA) foi configurado para medir o parâmetro S21, que avalia a quantidade de energia transmitida através da FSS. A calibração do VNA foi feita com o auxílio de um *kit* de calibração 85032E *Keysight/Agilent Economy Mechanical Calibration*. Inicialmente, o kit de calibração foi utilizado para ajustar as portas do VNA e dos cabos conectados à antena, ga, assegurando que as medições fossem realizadas com precisão. As faixas de frequência de interesse foram selecionadas de acordo com as características da FSS de referência e do novo design proposto.
- **Preparação e Posicionamento das FSS:** As FSS foram instaladas em suportes adequados. Primeiramente, a FSS de referência foi posicionada entre as antenas transmissora e receptora, garantindo que as ondas eletromagnéticas incidissem perpendicularmente à superfície. Após a medição da FSS de referência, a FSS com o novo design foi posicionada da mesma maneira, de forma a permitir uma comparação direta entre as duas superfícies.
- **Medição e Coleta de Dados:** O parâmetro S21, que representa a quantidade de onda refletida de volta para o dispositivo, foi medido em várias faixas de frequência pré-definidas. A transmissão das ondas foi observada para identificar quais frequências eram bloqueadas ou transmitidas com maior eficiência. Os dados foram registrados diretamente no *software* acoplado ao VNA e armazenados para análise posterior.
- **Análise dos Resultados:** Após as medições, os dados foram analisados para determinar se a FSS estava operando conforme o esperado, ou seja, refletindo e transmitindo

Figura 6 – FSS de referência



Fonte: Próprio autor.

Figura 7 – Antena utilizada nas medições



Fonte: Próprio autor.

sinais nas frequências previstas, buscando avaliar possíveis interferências. Esse processo incluiu a criação de gráficos de resposta em frequência e a interpretação de picos de reflexão e transmissão, para validar ou ajustar o design da FSS. A análise permitiu comparar e verificar a seletividade em frequência de cada superfície e avaliar a eficácia das modificações propostas no novo design. As medições da FSS de interesse mostraram diferenças em relação à FSS de referência, refletindo as alterações feitas no projeto e fornecendo informações valiosas para ajustes futuros.

Figura 8 – Medição de parâmetros S da FSS



Fonte: Próprio autor.

Figura 9 – Medição de parâmetros S da FSS



Fonte: Próprio autor.

Esse procedimento seguiu metodologias utilizadas para caracterização de FSS, conforme discutido por (SOUZA, 2018) em sua dissertação, que detalha a medição de parâmetros S₂₁ para avaliar a transmissão de superfícies seletivas em frequência.

3.3 MEDIÇÃO DE GANHO DE ANTENA

A medição do ganho de antena foi realizada pela estagiária para avaliar o desempenho de antenas em condições controladas. O procedimento seguiu as etapas descritas abaixo:

- Calibração do VNA com *kit 85032E Keysight/ Agilent Economy Mechanical Calibration kit*, DC para 6 GHz, tipo N, 50 ohm: Inicialmente, um *kit* de calibração foi utilizado para ajustar as portas do VNA e dos cabos conectados à antena, garantindo que as medições fossem livres de perdas ou interferências externas. Esse processo incluiu o uso de terminais de carga, circuito aberto e curto-circuito para estabelecer uma referência precisa.

Figura 10 – *Kit* de calibração *Keysight 85032E*



Fonte: (TECHNOLOGIES, n.d.).

- Definição da Faixa de Frequência: A faixa de frequência a ser analisada foi determinada com base nas especificações da antena, buscando cobrir a faixa de operação esperada para avaliar sua performance em diferentes frequências.
- Posicionamento e Alinhamento da Antena de Referência: A antena foi posicionada em uma câmara anecoica ou em um campo aberto para minimizar reflexões e interferências. Cálculos detalhados foram realizados para determinar a distância ideal para medições de campo próximo e distante, com base nos comprimentos de onda das frequências analisadas.
- Medições de Ganho: O ganho da antena foi medido em múltiplas direções, girando a antena em passos controlados para mapear seu diagrama de radiação. Os dados

Figura 11 – Componentes do *kit* de calibração

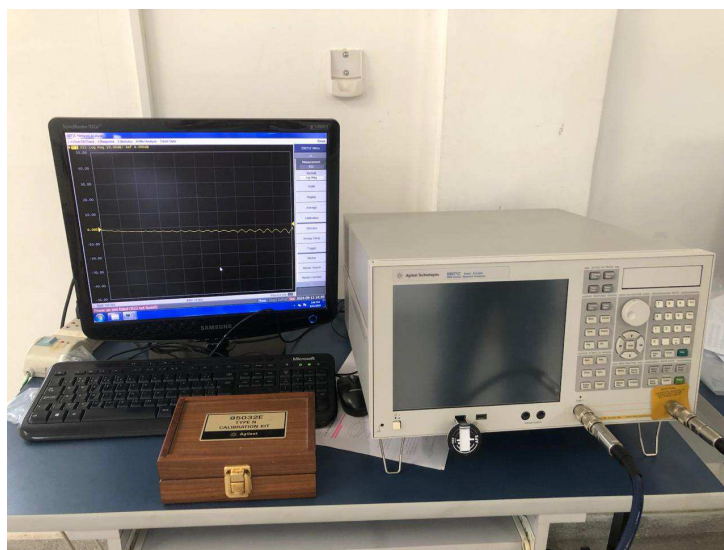
Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Componentes do *kit* de calibração

Fonte: Próprio autor.

coletados foram analisados para verificar a uniformidade e eficiência da antena, identificando pontos de ganho máximo e mínimo.

- Posicionamento e Alinhamento da Antena de Interesse e Medições de Ganho: Repetiu-se o processo realizado na etapa de posicionamento e alinhamento da antena de referência onde foi medido então trocando esta por uma antena específica que era

Figura 13 – *Setup* de medição de ganho

Fonte: Próprio autor.

Figura 14 – *Setup* de medição de ganho

Fonte: Próprio autor.

objeto de interesse. Da mesma forma, repetiu-se também a medição do ganho da antena utilizando a antena de interesse.

- Elaboração de Tutorial de medições de ganho de antenas: O guia de medição foi disponibilizado em anexo.

3.4 MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA UTILIZANDO ETIQUETA RFID

Uma das atividades realizadas durante o estágio foi o suporte em medição da frequência respiratória utilizando uma etiqueta RFID passiva, em conjunto com um módulo Arduino para a coleta e processamento dos dados. O procedimento foi executado da seguinte maneira:

- **Montagem e Configuração do Sistema:** O sistema foi montado com uma etiqueta RFID passiva posicionada sobre o abdômen do participante, utilizando fita adesiva para garantir fixação adequada. O módulo Arduino foi conectado ao leitor RFID para captar os sinais de variação do indicador de intensidade do sinal recebido (*Received Signal Strength Indicator* - RSSI) durante os ciclos respiratórios.
- **Calibração e Coleta de Dados:** O participante permaneceu em repouso durante a medição, e os sinais de variação do RSSI foram coletados pelo Arduino. O procedimento foi repetido com o participante em diferentes posições, como sentado e em pé, para avaliar o impacto da postura nos resultados obtidos.
- **Processamento dos Dados:** Os dados coletados passaram por um processo de filtragem para remover ruídos indesejados, utilizando técnicas de filtragem de sinal, permitindo uma análise mais clara dos ciclos respiratórios.
- **Análise dos Resultados:** Os resultados obtidos foram comparados com os dados de um monitor de sinais vitais convencional, verificando a precisão da medição com RFID. Os dados demonstraram a eficácia da etiqueta RFID para monitoramento da frequência respiratória, atestando a eficácia da solução não invasiva e de baixo custo.

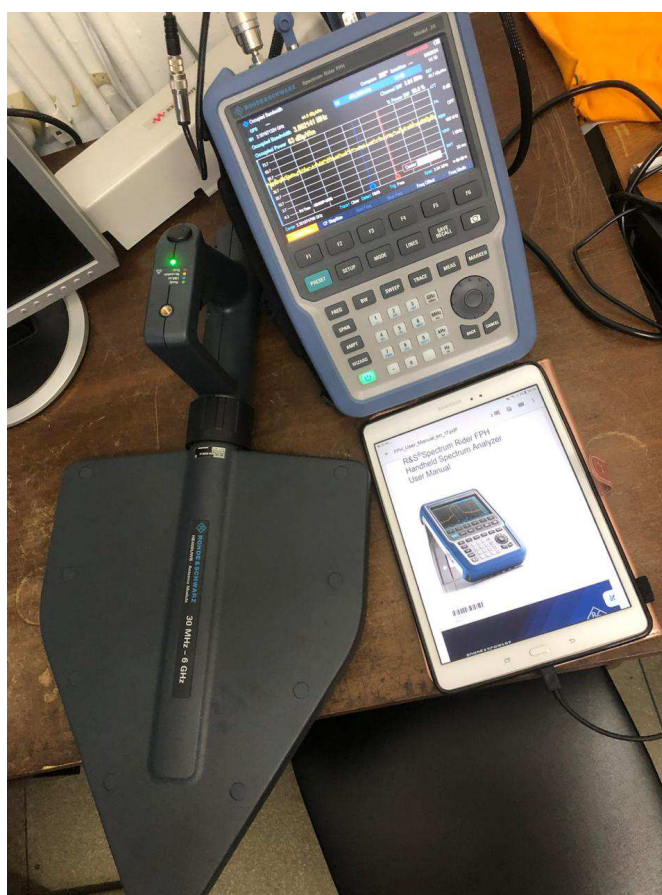
Este procedimento foi organizado segundo técnicas descritas no trabalho de (ARAÚJO et al., 2020), que demonstrou o uso de etiquetas RFID passivas para monitoramento de sinais fisiológicos, fornecendo um método alternativo para o monitoramento contínuo da frequência respiratória .

3.5 ANÁLISE E MEDIÇÕES COM ANTENA UTILIZANDO SPECTRUM RIDER FPH

Durante o estágio, foi fundamental o aprendizado no uso dos analisadores *Spectrum Rider* FPH. As atividades foram realizadas conforme os seguintes passos:

- Leitura e Estudo dos Manuais de Instrução: Antes de operar os dispositivos, foram estudados os manuais técnicos para entender as funcionalidades básicas e avançadas, como configuração de faixas de frequência, amplitude e resolução de largura de banda (RBW).
- Configuração Inicial e Testes Práticos: Foram configuradas faixas de frequência específicas para analisar antenas, ajustando parâmetros como a escala de amplitude e a largura de banda para obter medições precisas. Testes iniciais foram feitos com antenas conhecidas para validar o funcionamento dos equipamentos e garantir que as medições estavam sendo realizadas corretamente.

Figura 15 – *Setup* de medição - Analisador de espectro portátil R&S® *Spectrum Rider FPH*



Fonte: Próprio autor.

- Coleta de Dados e Análise: Sinais captados pelas antenas foram analisados em tempo real, e os resultados foram registrados e comparados com espectros esperados. Foram utilizados filtros e máscaras para isolar frequências de interesse e para eliminar interferências, aprendendo assim as técnicas práticas de mascaramento e análise espectral.

3.6 SUPORTE NO *DESIGN* DE ANTENAS NOS *SOFTWARES ANSYS HFSS E KEYSIGHT ADS*

Durante o estágio, também foi prestado suporte no *design* de antenas utilizando o *software Ansys HFSS*, uma ferramenta essencial para simulação e análise de componentes de alta frequência. As etapas dessa atividade foram:

- Apoio na Modelagem de Estruturas de Antenas: Suporte à equipe do Laboratório na criação e modelagem de diferentes tipos de antenas, usando ferramentas dos *softwares Ansys HFSS e Keysight ADS* para modelar geometrias precisas e circuitos de radiofrequência a fim de definir materiais que refletissem as propriedades reais dos componentes e gerar *layouts* esquemáticos com componentes virtuais presentes em circuitos RF.
- Simulação de Parâmetros S e Diagramas de Radiação: Foram realizadas simulações para análise de parâmetros S e desempenho de circuitos RF. Assim, com o auxílio de gráficos e diagramas de radiação, foi possível avaliar o comportamento das antenas em diferentes frequências e ângulos de operação.
- Otimização dos Resultados: Com base nas simulações, discutiu-se possíveis melhorias nos *designs*, ajustando dimensões e materiais para otimizar a eficiência das antenas simuladas e dos circuitos RF simulados, garantindo que operassem conforme as especificações desejadas.

4 MELHORIAS FUTURAS

O estágio no Laboratório de Radiometria da UFCG proporcionou um aprendizado prático significativo, com o uso de tecnologias de ponta e técnicas de medição e simulação. No entanto, como em qualquer processo de aprendizado e desenvolvimento, há sempre espaço para melhorias que podem otimizar ainda mais as práticas do laboratório e o processo de estágio. Abaixo estão algumas sugestões de melhorias futuras:

4.1 CRIAÇÃO DE GUIAS PARA DIFERENTES TIPOS DE MEDIÇÃO

Para melhorar a padronização das medições realizadas no laboratório, recomenda-se a criação de guias detalhados para os principais tipos de medições, além dos já existentes para parâmetros como ganho de antena e parâmetros S. Esses guias poderiam incluir procedimentos para:

- Medição de resposta de fase: Descrever o passo a passo para medir e interpretar a fase dos sinais em diferentes dispositivos, facilitando a padronização dos resultados.
- Medição de interferência eletromagnética (*Electromagnetic interference* - EMI): Desenvolver um guia que oriente o uso correto dos equipamentos e a configuração das medições para avaliar interferências que podem afetar sistemas de comunicação.
- Medição de potência de saída e eficiência: Um guia que instrua como realizar medições de potência de saída e eficiência em sistemas RF, com exemplos de configuração e interpretação dos dados.

Esses guias forneceriam uma base de consulta para estagiários e pesquisadores, facilitando o aprendizado e assegurando que as medições sejam realizadas de forma consistente e precisa.

4.2 ELABORAÇÃO DE LISTA DOS EQUIPAMENTOS E DISPOSITIVOS DO LABORATÓRIO

A criação de uma lista detalhada dos equipamentos e dispositivos disponíveis no Laboratório de Radiometria seria uma melhoria significativa para o estágio. Essa lista poderia incluir especificações técnicas, capacidades e aplicações de cada equipamento,

como o *Spectrum Rider* FPH, o *Signal and Spectrum Analyzer* FSW e o R&S®ZNB *Vector Network Analyzer*. Esse recurso facilitaria a familiarização inicial dos estagiários com o laboratório, permitindo que eles compreendam melhor as ferramentas disponíveis e saibam como utilizá-las de maneira eficiente. Além disso, essa lista poderia ser utilizada para planejar novas atividades e projetos, garantindo que os dispositivos certos sejam utilizados em cada tarefa.

5 CONCLUSÕES

O estágio supervisionado realizado no Laboratório de Radiometria da Universidade Federal de Campina Grande foi uma experiência fundamental para o desenvolvimento acadêmico e profissional. Durante o período de estágio, foi possível aplicar na prática os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Elétrica, além de adquirir novas habilidades e técnicas diretamente relacionadas à área de telecomunicações e radiometria.

As atividades realizadas proporcionaram um contato direto com tecnologias de ponta, como o R&S ZNB *Vector Network Analyzer*, o *Spectrum Rider* FPH, o *Signal and Spectrum Analyzer* FSW, e o *software Ansys* HFSS. Cada equipamento e *software* permitiu um aprendizado profundo sobre a análise de espectro, medições de parâmetros S, ganho de antenas, modulação, e caracterização de ruído, além de técnicas de simulação e otimização de dispositivos de alta frequência.

O estágio também trouxe uma experiência prática no desenvolvimento de projetos integradores, onde foi possível consolidar e aplicar o que foi aprendido, seja na análise e medição de sinais, na fabricação de FSS, ou na simulação de antenas e circuitos. Além disso, o suporte prestado no *design* de antenas e na realização de medições foi essencial para o entendimento das etapas envolvidas no desenvolvimento de sistemas de comunicação eficientes.

Por fim, as sugestões de melhorias apontadas, como a criação de guias de medição, automação de processos e elaboração de uma lista detalhada dos equipamentos e dispositivos do laboratório, visam não apenas aprimorar o funcionamento do Laboratório de Radiometria, mas também melhorar a experiência de futuros estagiários, tornando o aprendizado mais estruturado e eficiente.

Conclui-se que o estágio cumpriu plenamente os objetivos propostos, proporcionando um ambiente ideal para o desenvolvimento técnico e teórico, e contribuindo para a formação de um profissional mais capacitado para enfrentar os desafios da engenharia elétrica. As experiências e o conhecimento adquiridos durante o estágio certamente serão aplicados em futuras oportunidades profissionais e acadêmicas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. I. L. et al. Sistema rfid para monitoramento das frequências respiratória e cardíaca. Universidade Federal de Campina Grande, 2020. [15](#)

LEASAMETRIC. *Keysight Agilent E5071C, Leasametric*. n.d. Disponível em: <https://www.leasametric.com/en/product/keysight-agilent-e5071c/>. [5](#)

ROHDE&SCHWARZ. *R&S Spectrum Rider FPH Handheld Spectrum Analyzer, Rohde&Schwarz*. n.d. Disponível em: https://www.rohde-schwarz.com/br/produtos/teste-e-medicao/sistemas-portateis/rs-spectrum-rider-fph-handheld-spectrum-analyzer_63493-147712.html. [4](#)

SOUZA, J. d. S. *ANÁLISE DE SUPERFÍCIE SELETIVA EM FREQUÊNCIA BASEADA NA GEOMETRIA ANÉIS TRAPEZOIDAIS ABERTOS*. Dissertação (Mestrado), 2018. [11](#)

TECHNOLOGIES, K. *Economy Mechanical Calibration Kit, DC to 6 GHz, Type-N, 50 ohm, Keysight*. n.d. Disponível em: <https://www.keysight.com/br/pt/product/85032E/economy-mechanical-calibration-kit-dc-6-ghz-type-n-50-ohm.html>. [12](#)