



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GABRIEL DOS SANTOS MOREIRA

**MELHORIA DE UM KIT DIDÁTICO DE TELECOMUNICAÇÕES DA
BIT9 E DESENVOLVIMENTO DE ROTEIROS PARA ENSINO
EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO**

TUCURUÍ

2023

GABRIEL DOS SANTOS MOREIRA

**MELHORIA DE UM KIT DIDÁTICO DE TELECOMUNICAÇÕES DA
BIT9 E DESENVOLVIMENTO DE ROTEIROS PARA ENSINO
EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
como requisito parcial para a obtenção de
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica,
pela Universidade Federal do Pará.

Orientador:
Prof. Dr. André Felipe Souza da Cruz.

TUCURUÍ

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

D722m dos Santos Moreira, Gabriel.
MELHORIA DE UM KIT DIDÁTICO DE
TELECOMUNICAÇÕES DA BIT9 E DESENVOLVIMENTO DE
ROTEIROS PARA ENSINO EXPERIMENTAL DE SISTEMAS
DE COMUNICAÇÃO / Gabriel dos Santos Moreira. — 2023.
79 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. André Felipe Souza da Cruz
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de
Engenharia Elétrica, Tucuruí, 2023.

1. Telecomunicações. 2. Ondas Eletromagnéticas. 3.
Experimentos de Eletromagnetismo. I. Título.

CDD 537

GABRIEL DOS SANTOS MOREIRA

**MELHORIA DE UM KIT DIDÁTICO DE TELECOMUNICAÇÕES DA
BIT9 E DESENVOLVIMENTO DE ROTEIROS PARA ENSINO
EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal do Pará.

Data de aprovação: 22/12/2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Felipe Souza da Cruz
Orientador - FEE/CAMTUC/UFPA

Prof. Dr. Rafael Suzuki Bayma
Avaliador Interno - FEE/CAMTUC/UFPA

Prof. Dr. Washington Cesar B. Sousa
Avaliador Interno - FEE/CAMTUC/UFPA

TUCURUÍ

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

TÍTULO: MELHORIA DE UM KIT DIDÁTICO DE TELECOMUNICAÇÕES DA BIT9 E DESENVOLVIMENTO DE ROTEIROS PARA ENSINO EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

DISCENTE: GABRIEL DOS SANTOS MOREIRA

MATRÍCULA: 201633940023

#	BANCA EXAMINADORA	CONDIÇÃO
1	<i>Prof. Dr. André Felipe Souza da Cruz - UFPA</i>	<i>Orientador</i>
2	<i>Prof. Dr. Rafael Suzuki Bayma - UFPA</i>	<i>Membro</i>
3	<i>Prof. Dr. Washington Cesar B. Sousa - UFPA</i>	<i>Membro</i>

Data da Defesa: 22/12/2023 | **Hora Início:** 8:15 | **Hora Término:** 8:55

Trabalho Escrito (0 a 10 pontos por critério)	Examinador 1	Examinador 2	Examinador 3
Formatação	9,50	9,00	9,00
Linguagem (gramática e semântica)	9,00	8,50	8,50
Conteúdo técnico	9,50	9,50	9,00

Defesa Oral (0 a 10 pontos por critério)	Examinador 1	Examinador 2	Examinador 3
Sequência lógica de apresentação	9,00	9,00	9,00
Administração do tempo	10,00	10,00	10,00
Expressão oral	8,50	9,50	9,00
Domínio do tema	9,00	8,00	8,50

Média por examinador	9,21	9,07	9,00
Média Final	9,10		
Conceito Final	EXCELENTE		

Tucuruí-Pa, 22 de dezembro de 2023.

Prof. Dr. André Felipe Souza da Cruz

Prof. Dr. Rafael Suzuki Bayma

Prof. Dr. Washington Cesar B. Sousa



Emitido em 22/12/2023

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC) Nº 2/2023 - FEET (11.16.02)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 30/01/2024 10:50)

ANDRÉ FELIPE SOUZA DA CRUZ

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

CTUCU (11.16)

Matrícula: ###531#4

(Assinado digitalmente em 29/01/2024 20:02)

RAFAEL SUZUKI BAYMA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

CTUCU (11.16)

Matrícula: ###466#0

(Assinado digitalmente em 30/01/2024 00:19)

WASHINGTON CESAR BRAGA DE SOUSA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

CTUCU (11.16)

Matrícula: ###185#4

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpa.br/documentos/> informando seu número: 2
, ano: 2023, tipo: ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC), data de emissão:
29/01/2024 e o código de verificação: ef89d11cee

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para meu crescimento pessoal, profissional e intelectual.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por me dar forças para chegar até aqui e vencer esta etapa tão importante e por sempre me guiar nos meus caminhos.

Aos meus pais Rosimeire e Alex, por me apoiarem em todas as situações e por jamais terem permitido que eu desistisse nos momentos em que duvidei se realmente deveria seguir este caminho, e além disso por sempre investirem na minha educação, possibilitando que eu alcançasse todas as vitórias até aqui.

A minha irmã Sarah, por sempre me apoiar, me incentivar, pelo companheirismo e por estar comigo nessa jornada.

A minha esposa Emanuelle, que gentilmente me incentiva e me apoia na minha vida profissional e acadêmica. Agradeço por ser minha amiga, confidente e por me inspirar a ser um aluno, profissional e uma pessoa cada vez melhor.

Aos meus tios, primos e avós por sempre se fazerem presentes nas minhas conquistas e por sempre torcerem pelo meu sucesso, me apoiando e incentivando durante todos esses anos.

Ao meu amigo Thayson, que é um irmão que a vida me deu, com quem compartilho os momentos da minha vida.

Ao meu amigo Fabrício Melo, por ter sido um bom parceiro de laboratório, incentivador e amigo nos momentos em que mais precisei.

A todos os professores do curso, por terem me auxiliado e ensinado nesses anos de graduação.

Ao meu orientador, professor Dr. André Cruz, por ter se tornado exemplo e referência desde o primeiro dia de aula, por ter tido paciência, por ter orientado da melhor forma que pôde e por ter tornado a faculdade de Engenharia Elétrica um ambiente mais propício para desenvolver a habilidade de cada um dos alunos. Agradeço também pela confiança depositada em mim, pela amizade e por ter marcado tão positivamente a graduação. Sua influência certamente me acompanhará por toda minha vida.

"Somente um principiante que não sabe nada sobre ciência diria que a ciência descarta a fé. Se você realmente estudar a ciência, ela certamente o levará para mais perto de Deus."
(JAMES CLERK MAXWELL).

RESUMO

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um conjunto de roteiros experimentais para aplicação de ensino em laboratórios práticos de Sistemas de Comunicação, em cursos de Engenharia. Os roteiros descrevem os procedimentos experimentais que devem ser realizados utilizando um kit profissional de telecomunicações, fabricado pela Bit9, que foi modificado para possibilitar um melhor aprendizado dos conceitos de comunicação analógica e digital. O kit de telecomunicações em questão possui arranjos de antenas monopolares, bases automatizadas de rotação, transmissor e receptor baseado em modulação FM e codificação digital. No primeiro roteiro são descritos os passos necessários para o teste de transmissão de sinais monotônicos com frequência variável de 100Hz a 4kHz. No segundo roteiro são descritos os passos para o envio de sinais de onda quadrada de frequência variável produzidos por um gerador de sinais, e detectados na base de recepção através de um osciloscópio. E no terceiro roteiro são descritos os passos para o envio de uma mensagem alfabética na forma de informação codificada, utilizando um microcontrolador Arduino. Os resultados demonstram o funcionamento do kit, os sinais elétricos envolvidos no sistema de comunicação, e informações levantadas a partir dos resultados de cada procedimento proposto. Os roteiros se mostram adequados para utilização em um laboratório prático de ensino de sistemas de comunicação, e devem contribuir para a melhoria do ensino experimental de sistemas de comunicação, uma vez que não se limitam a apenas projetos simulados em software.

Palavras-chave: Sistemas de comunicação; kit de telecomunicações; modulação analógica; codificação de mensagens.

ABSTRACT

This work presents the development of a set of experimental scripts for teaching application in practical Communication Systems laboratories, in Engineering courses. The scripts describe the experimental procedures that must be carried out using a professional telecommunications kit, manufactured by Bit9, which has been modified to enable better learning of analogue and digital communication concepts. The telecommunications kit in question has monopolar antenna arrays, automated rotation bases, transmitter and receiver based on FM modulation and digital coding. The first script describes the necessary steps for testing the transmission of monotonic signals with a variable frequency from 100Hz to 4kHz. The second script describes the steps for sending variable frequency square wave signals produced by a signal generator, and detected at the reception base using an oscilloscope. And in the third script, the steps for sending an alphabetical message in the form of coded information are described, using an Arduino microcontroller. The results demonstrate the functioning of the kit, the electrical signals involved in the communication system, and information gathered from the results of each proposed procedure. The scripts are suitable for use in a practical laboratory for teaching communication systems, and should contribute to the improvement of experimental teaching of communication systems, since they are not limited to just simulated software projects.

Keywords: Communication systems; telecommunications kit; analog modulation; message encoding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de comunicação via satélite	19
Figura 2 – Elementos de um sistema de comunicação	19
Figura 3 – Diagrama de blocos de um sistema de comunicação unidirecional.	21
Figura 4 – (a) Sinal mensagem $m(t)$; (b) Onda portadora $c(t)$; Onda AM para: (c) $ k_a m(t) < 1$; (d) $ k_a m(t) > 1$	24
Figura 5 – Sinal modulado e os pontos em que há inversão de fase.	25
Figura 6 – (a) O sinal mensagem $m(t)$ no domínio da frequência. (b) Sinal modulado no domínio da frequência.	25
Figura 7 – (a) Sinal modulado em AM-SSB; (b) Sinal modulado em AM-VSB.	26
Figura 8 – Ilustração de onda FM produzida por um tom único. (a) Onda portadora; (b) Sinal modulante senoidal; (c) Sinal modulado em frequência.	27
Figura 9 – Exemplos de espectros de sinais FM: (a) Índice de modulação de 0 (sem modulação ou bandas laterais). (b) Índice de modulação de 1. (c) Índice de modulação de 2. (d) Índice de modulação de 0,25 (faixa estreita).	29
Figura 10 – Modulação por tempo de pulso para o caso de uma onda modulante senoidal: (a) Onda modulante. (b) Portadora de pulso. (c) Onda PWM ou PDM. (d) Onda PPM.	30
Figura 11 – Diagrama em blocos do sistema de transmissão banda base de dados binários.	31
Figura 12 – Processo de amostragem de um sinal analógico com banda base B	32
Figura 13 – Sinal de mensagem amostrado no tempo, e indicado dentro dos níveis de quantização.	33
Figura 14 – (a) Diagrama de blocos do processo de quantização; (b) Sinais associados ao processo.	34
Figura 15 – (a) Sequência de dados binários e suas formas de onda. (b) Padrão de olho correspondente.	35
Figura 16 – (a) Antena em modo de transmissão; (b) Circuito equivalente Thevenin	37
Figura 17 – Ilustração do diagrama de radiação da antena $F(\theta, \phi)$ e diretividade D . As densidades de potência na mesma distância são U e U_0 para as antenas isotrópica e real respectivamente.	39
Figura 18 – Configuração e antena Yagi-Uda.	40
Figura 19 – Kit didático de telecomunicações da Bit9.	41
Figura 20 – Diagrama de blocos do circuito Transmissor.	43
Figura 21 – Diagrama de blocos do circuito Receptor.	44
Figura 22 – Circuito da chave de seleção do sinal de mensagem $m(t)$ externo.	45

Figura 23 – Processos de implementação de melhorias (a) componentes usados; (b) fixação dos componentes.	45
Figura 24 – (a) Melhoria implementada; (b) Ligações internas da melhoria proposta.	45
Figura 25 – (a) Melhoria implementada; (b) Ligações internas da melhoria proposta.	46
Figura 26 – (a) Melhoria implementada; (b) Ligações internas da melhoria proposta.	46
Figura 27 – Diagrama de blocos do código em C++.	47
Figura 28 – Discos transferidores em mdf para medição de rotação.	48
Figura 29 – Componentes identificados (a) Painel de controle de transmissão; (b) Painel de controle de recepção; (c) base de transmissão; (d) base de recepção.	49
Figura 30 – Antenas montadas e posicionadas nas bases de transmissão; (b) recepção.	50
Figura 31 – Parafusos de fixação do suporte da antena no mastro de fixação.	51
Figura 32 – Ajuste na chave seletora lateral do controle de transmissão.	51
Figura 33 – Informações de frequência e amplitude de tensão no display do controle de recepção.	52
Figura 34 – Amplitudes e frequências no display do controle de recepção, para os sinais enviados com frequência: (a) 100 Hz; (b) 506 Hz; (c) 1520 Hz; (d) 2145 Hz; (e) 4139 Hz.	52
Figura 35 – Mensagem no visor “Teste de transmissão do kit didático Bit9 !”.	53
Figura 36 – Disposição da antena e conexão dos cabos à base de transmissão.	53
Figura 37 – Conexão dos cabos do gerador de sinais à entrada de sinal externo e ajuste da chave de seleção para "sinal externo".	54
Figura 38 – Conexão das pontas de prova dos osciloscópios nos terminais de saída do sinal (a) modulado na transmissão; (b) demodulado na recepção.	54
Figura 39 – Registro dos gráficos dos sinais medidos na base de recepção para os sinais de onda quadrada enviados pela base de transmissão, sinais de frequência (a) 500 Hz; (b) 2,00 kHz; (c) 8,00 kHz; (d) 16,00 kHz.	55
Figura 40 – Disposição da antena receptora.	56
Figura 41 – Conexão entre as partes descritas nos procedimentos 7 e 8.	56
Figura 42 – Interface do monitor serial - IDE Arduino.	57
Figura 43 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres de "espaço em branco": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.	57
Figura 44 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "aaaaaaaa": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.	58
Figura 45 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "eeeeeeee": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.	58
Figura 46 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "iiiiiiii": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.	58

Figura 47 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "ooooooooo": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.	59
Figura 48 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "uuuuuuuuuu": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.	59
Figura 49 – Mensagem enviada: “Obrigado! LEMAG UFPA.	59
Figura 50 – Esquemático de montagem da antena de três elementos.	73
Figura 51 – Disposição das antenas para o experimento 1.	74
Figura 52 – Disposição das antenas para o experimento 2.	75
Figura 53 – Disposição das antenas para o experimento 3.	77
Figura 54 – Conexão entre o Arduino Uno e o painel de controle de transmissão. . .	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico-Digital
AM	Modulação Por Amplitude
ANATEL	Agência Nacional De Telecomunicações
BASK	<i>Amplitude Shift-Keying</i>
BFSK	<i>Binary Frequency Shift-Keying</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift-Keying</i>
CI	Circuito Integrado
D/A	Digital - Analógico
DENTEL	Departamento Nacional De Telecomunicações
DSB-SC	<i>Dual Sideband – Suppressed Carrier</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
EM	Eletromagnético
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FM	Modulação Por Frequência
HF	<i>High Frequency</i>
Hz	<i>Hertz</i>
IEEE	<i>Institute Of Electrical And Electronics Engineers</i>
ISI	<i>Intersymbol Interference</i>
kHz	<i>Kilohertz</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LSB	<i>Lower Side Band</i>
MHz	<i>Megahertz</i>
PPM	<i>Pulse-Position Modulation</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>

RF	Rádio Frequência
RLC	Resistor/Indutor/Capacitor
SSB	<i>Single Side Band</i>
UHF	<i>Ultra-High Frequency</i>
USB	<i>Upper Side Band</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VSF	<i>Vestigial Side Band</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E PARÂMETROS DE AN- TENAS	21
2.1	Modulação, demodulação e análise de Fourier	22
2.2	Modulação analógica	23
2.2.1	Modulação em amplitude	23
2.2.2	Modulação em frequência	26
2.2.2.1	FM faixa estreita	26
2.2.2.2	FM faixa larga	28
2.3	A modulação digital	29
2.3.1	A Modulação por largura de pulsos	30
2.4	Aspectos gerais de um sistema de comunicação	31
2.4.1	Teorema da amostragem	32
2.4.2	Conversão analógico-digital (A/D)	33
2.4.3	Interferência intersimbólica e Padrão de olho	34
2.5	Antenas para comunicação em canais de rádio	35
2.5.1	Largura de banda	36
2.5.2	Impedância de entrada	36
2.5.3	Eficiência de radiação	37
2.5.4	Diretividade e Ganho	38
2.5.5	Arranjos de antenas	38
3	FUNCIONAMENTO E MELHORIAS DO KIT DE TELECO- MUNICAÇÕES DA BIT9	41
3.1	Partes funcionais do Kit de Telecomunicações da Bit9	41
3.2	Melhorias aplicadas ao Kit de Telecomunicações da Bit9	44
4	RESULTADOS	49
4.1	Procedimento experimental 1	49
4.2	Procedimento experimental 2	53
4.3	Procedimento experimental 3	56
5	CONCLUSÃO	60
5.1	Considerações finais	60
5.2	Trabalhos futuros	60

Referências	61
APÊNDICES	63
APÊNDICE A – LISTA DE CARACTERES E CÓDIGOS DE 8 BITS	64
APÊNDICE B – ROTINA EM C++ PARA ENVIO DE FRA- SES ALFANUMÉRICAS	68
APÊNDICE C – ROTEIROS EXPERIMENTAIS	73
C.0.1 Roteiro 1: Conhecendo o Kit de Telecomunicações da Bit9	73
C.0.2 Roteiro 2: Medição de Ssinais Elétricos no Processo de Comunicação . .	75
C.0.3 Roteiro 3: Enviando mensagens de texto com o Arduino	76

1 INTRODUÇÃO

Em virtude da quantidade de informações que são produzidas, armazenadas e espalhadas por todo o mundo, os sistemas de comunicação têm apresentado um processo gradual de evolução, o que levou à criação de inúmeros sistemas e dispositivos de alta tecnologia (FERREIRA, 2021; ROZA, 2017). Conforme apresentado por Haykin e Moher (2008), a respeito da evolução histórica da comunicação, Samuel Morse aperfeiçoou o telégrafo elétrico, revolucionando os meios de comunicação ao criar, em tempo real, um canal de comunicação entre Washington, D.C, e Baltimore, Maryland, no ano de 1844.

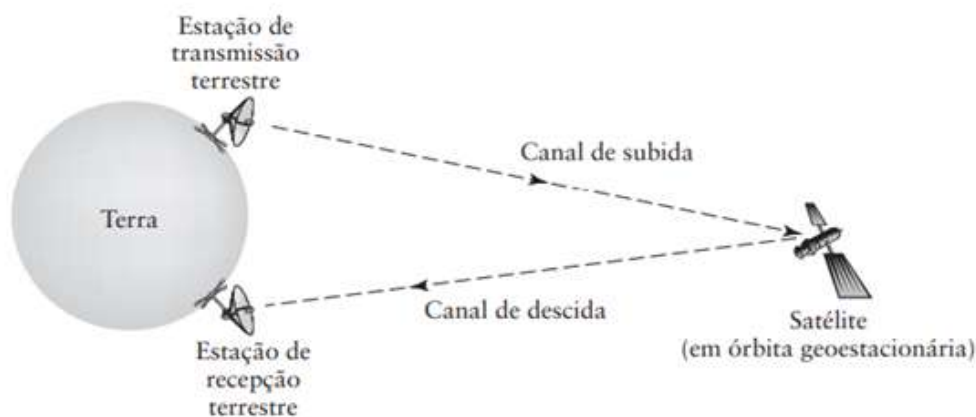
Vinte anos mais tarde, James Clerk Maxwell desenvolveu seu estudo teórico sobre as ondas eletromagnéticas, e em 1887, Heinrich Hertz, comprovou a existência de ondas eletromagnéticas, através da construção das primeiras antenas (SOUZA, 2017) abrindo assim o caminho para o próximo marco das telecomunicações. Muitos nomes importantes contribuíram para o avanço das telecomunicações, contudo, destaque para o trabalho de Edwin H. Armstrong, que por sua vez, inventou o receptor de rádio super-heteródino, que é até hoje usado em aparelhos modernos (HAYKIN e MOHER, 2008).

No início do século passado, a invenção e melhoria de componentes eletrônicos tornaram possível a implementação de canais de comunicação para sistemas televisivos e de telefonia, como exemplo disso tem-se os transistores e o primeiro circuito integrado que revolucionou a natureza do processamento de sinais elétricos e mudou para sempre a indústria de telecomunicações (ROZA, 2017). Nos anos 40, Arthur C. Clark, publicou um artigo onde propôs a utilização de satélites, orbitando em torno da Terra (Figura 1), para repetição de sinais enviados de uma base de transmissão terrestre, e recebidos em uma base de recepção num ponto distante.

Em 1955, John R. Pierce propôs colocar em prática os sistemas de telecomunicação estudados por Clark. Quase no mesmo ano, em 1957, a União Soviética lança o Sputnik I, e em 1958, os EUA lançam o Explorer I, ambos enviando sinais de telemetria. Esses dois últimos eventos desencadearam um evento chave, que se deu no início da década de 60, onde a Nasa estaria lançando o satélite Telstar I, para retransmitir programas de televisão através do Atlântico (HAYKIN; MOHER, 2008).

Após a implementação dos sistemas de satélite, as comunicações ópticas foram as invenções mais relevantes até esse momento. Alguns problemas de atenuação do sinal (medida em dB/Km) ao longo da fibra óptica impediram a difusão em larga escala do sistema ainda no fim da década de 60 (HAYKIN; MOHER, 2008). Atualmente, a correção do problema de atenuação foi corrigido permitindo a implementação, por exemplo, de sistemas de internet que usam a fibra óptica como canal de propagação do sinal.

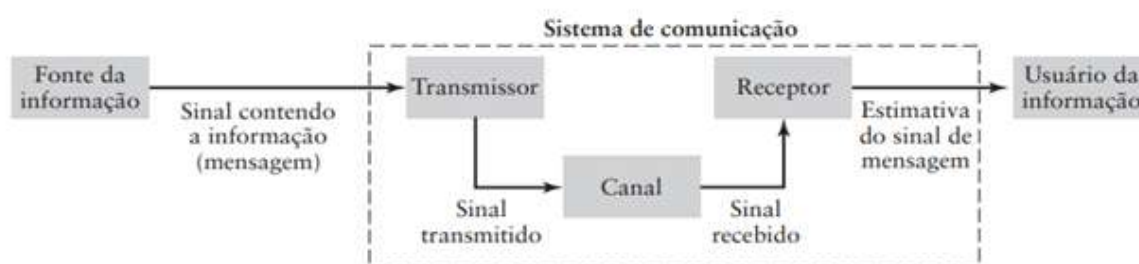
Figura 1 – Sistema de comunicação via satélite



Fonte: HAYKIN; MOHER, 2008

Como descrito no diagrama de blocos apresentado na figura 2, os sistemas de telecomunicações são compostos por transmissor, canal e receptor. A fonte da informação produz o sinal elétrico a ser transmitido, pelo dispositivo transmissor, por meio do canal de comunicação. Este canal de comunicação pode ser um meio físico cabeado, ou espaço livre atmosférico. Quando o sinal é recebido pelo receptor, há um conjunto de outros sinais somados ao sinal transmitido, o que gera interferências e ruídos. Assim, é função do receptor lidar com as possíveis interferências, filtrar o sinal de interesse, e então fazer uma estimativa do sinal que deve ser entregue ao usuário da informação (FERREIRA, 2021).

Figura 2 – Elementos de um sistema de comunicação



Fonte: HAYKIN; MOHER, 2008

O estudo, análise, desenvolvimento e projeto de novos Sistemas de Comunicação é de competência da Engenharia Elétrica, Computação e de Telecomunicações. O ensino de telecomunicações dentro das Engenharias engloba desde a teoria eletromagnética clássica, análise de sinais e sistemas, teoria de comunicação, dispositivos, antenas, redes, protocolos de comunicação, entre outros. É inegável a gama de assuntos que precisam ser dominados pelo estudante das engenharias listadas, durante sua formação, e a utilização de circuitos práticos, e kits didáticos podem auxiliar de forma significativa no aprendizado acadêmico.

Com esta premissa, este trabalho apresenta um estudo que levou ao desenvolvimento de roteiros de experimentos práticos utilizando um kit de telecomunicações modificado, para

melhoria do aprendizado dos Sistemas de Comunicação, dentro dos cursos de Engenharia. O Kit de telecomunicações foi desenvolvido pela BIT9, e foi obtido por meio de aquisição com recursos públicos pela Faculdade de Engenharia Elétrica do Campus Universitário de Tucuruí. As modificações no kit envolvem a identificação e exposição dos sinais elétricos internos, para medição e injeção de sinais elétricos, e decodificação do código digital utilizado pelo painel de recepção do kit, o que permitiu o envio de mensagens arbitrárias geradas em um microcontrolador arduino. A partir das modificações, foram gerados três roteiros de procedimentos experimentais, que poderão ser aplicados em disciplinas práticas de comunicação.

Os objetivo principal deste trabalho foi propor um conjunto de roteiros experimentais para ensino de Sistemas de Comunicação, utilizando o kit modificado da BIT9 Automação, para isso, foram definidas as seguintes metas:

- a) Realizar o estudo de sistemas de comunicação analógica e digital;
- b) Realizar o estudo de de antenas, como elemento dispositivo de radiação eletromagnética;
- c) Analisar os circuitos eletrônicos de modulação e demodulação do kit BIT9, para propor realizar medições dos sinais envolvidos no processo de comunicação;
- d) Modificar o kit didático para possibilitar a conexão externa de um gerador de sinais, osciloscópio e microcontrolador arduino;
- e) Fazer o levantamento dos resultados a partir da aplicação dos roteiros experimentais.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos:

O capítulo 1 é introdutório, nele é feita uma contextualização histórica do desenvolvimento dos sistemas de comunicação e apresentamos a justificativa, e o objetivo do trabalho.

No capítulo 2 é feito um levantamento do resumo teórico sobre modulação e demodulação de sinais analógicos e digitais, além do estudo dos principais parâmetros de antenas.

No capítulo 3 apresentamos o kit de telecomunicações da Bit9, assim como os roteiros experimentais.

No capítulo 4 são apresentados os resultados da aplicação dos roteiros experimentais.

A demais são deixadas as considerações finais, trabalhos futuros, e o apêndice contendo a lista de caracteres reconhecidos pelo painel de transmissão, e o código C utilizado no microcontrolador para gerar as mensagens de texto que podem ser enviadas utilizando o kit de comunicação.

2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E PARÂMETROS DE ANTENAS

As seções que seguem apresentam conceitos e técnicas utilizadas em alguns dos principais tipos de sistemas de comunicação. Em essência um sistema de comunicação pode ser subdividido em três partes, transmissor, canal e receptor. O livro *Sinais e Sistemas Lineares*, do autor B. P. Lathi faz uma descrição sucinta sobre as partes funcionais de um sistema de comunicação:

“O transmissor modifica o sinal em banda base para transmissão eficiente. O transmissor pode consistir em um ou mais subsistemas: conversor A/D, codificador e modulador. De forma semelhante, o receptor pode ser um demodulador, um decodificador e um conversor D/A” (LATHI, 2008, Pg 22).

“O canal é um meio de escolha no qual os sinais elétricos na saída do transmissor são transportados ao longo de uma dada distância. Um canal típico pode ser um par de fios de cobre trançados (telefone e DSL), cabo coaxial (televisão e internet), fibra óptica ou enlace de rádio” (LATHI, 2008, Pg 22).

“O receptor processa o sinal recebido do canal, revertendo as modificações feitas pelo transmissor no sinal e removendo as distorções feitas pelo canal. A saída do receptor é alimentada pelo transdutor de saída, que converte o sinal elétrico à sua forma original — a mensagem” (LATHI, 2008, Pg 22).

Antes de transmitir uma mensagem por um sistema de comunicação, é muito comum realizar um tratamento dos sinais elétricos que devem ser transmitidos, esse tratamento é geralmente realizado por um transdutor. Um transdutor é um dispositivo capaz de alterar a forma da energia de uma mensagem, mantendo o conteúdo da informação. Nos sistemas de comunicação, aplicam-se transdutores na entrada e/ou na saída dos sistemas, de forma a ter uma maior versatilidade na comunicação. A aplicação dos estágios de transdução, junto com as partes funcionais de um sistema de comunicação é demonstrado na figura 3.

Figura 3 – Diagrama de blocos de um sistema de comunicação unidirecional.



Fonte: LATHI, 2008

Da teoria de sinais e sistemas, sabe-se que qualquer mensagem na forma de um sinal elétrico pode ser decomposto em um conjunto de sinais senoidais de diversas frequências, e o conjunto dessas frequências formam a banda do sinal (HAYKIN; MOHER, 2008). Contudo, na comunicação de longas distâncias, é inviável manter a transmissão dos sinais em suas formas espectrais originais, ao invés disso, os sinais passam por um processo denominado modulação.

2.1 Modulação, demodulação e análise de Fourier

Podemos entender modulação como uma operação onde as características de um sinal senoidal são alteradas em função da mensagem transmitida. O sinal elétrico senoidal principal é chamado onda portadora, enquanto a mensagem é denominada onda modulante, e na saída do processo de modulação obtemos a onda modulada. Na estação base-transmissora, a portadora $c(t)$ é modulada pela mensagem $m(t)$, gerando um sinal modulado $s(t)$ que é transmitido pelo canal de comunicação, e então é demodulado na estação base-receptora (HAYKIN; MOHER, 2008). Tanto a modulação analógica quanto a modulação digital preservam entre si os mesmos aspectos técnicos, como espectro e energia. Além disso, entender os efeitos do ruído sobre a mensagem enviada é fundamental em ambas as modulações.

A operação matemática que permite, sem perdas, a transcrição de um sinal que está no domínio do tempo para o domínio da frequência é conhecida como transformada de Fourier. Para realizar esta operação algumas condições devem ser satisfeitas, como causalidade e linearidade. Nos sinais trabalhados em sistemas de comunicações, tais condições são satisfeitas. Através da análise de Fourier podemos determinar a descrição no domínio da frequência de um sinal modulado e sua largura de faixa de transmissão. Podemos também determinar a transmissão de um sinal através de um canal de comunicação. Por último, outra possibilidade é determinar a similaridade entre um par de sinais (HAYKIN; MOHER, 2008; LATHI, 2008).

Um bom projeto de sistemas de comunicação exige a recuperação do sinal modulado da forma mais íntegra possível. No entanto, o fato de o canal de comunicação ser imprevisível e dinâmico a detecção do sinal possui elevada complexidade. Além disso, o deslocamento de fase provocado pela onda portadora é outro fator que agrega dificuldade ao projeto. Por conta das características citadas anteriormente, a aplicação de ferramentas matemáticas no campo da estatística que auxiliam a modelar o comportamento aleatório do sinal recebido é fundamental. Os principais parâmetros de medida dos sinais elétricos modulados no processo de transmissão são estudados em referências de processos estocásticos (HAYKIN; MOHER, 2008; LATHI, 2008).

2.2 Modulação analógica

A modulação analógica é um processo utilizado em comunicações para transmitir informações através de sinais analógicos. Ela envolve a variação de uma ou mais propriedades de uma onda portadora de alta frequência de acordo com as variações de um sinal de informação, que normalmente é de baixa frequência (LATHI, 2008).

2.2.1 Modulação em amplitude

Podemos considerar uma onda portadora senoidal $c(t)$ dada por (1).

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

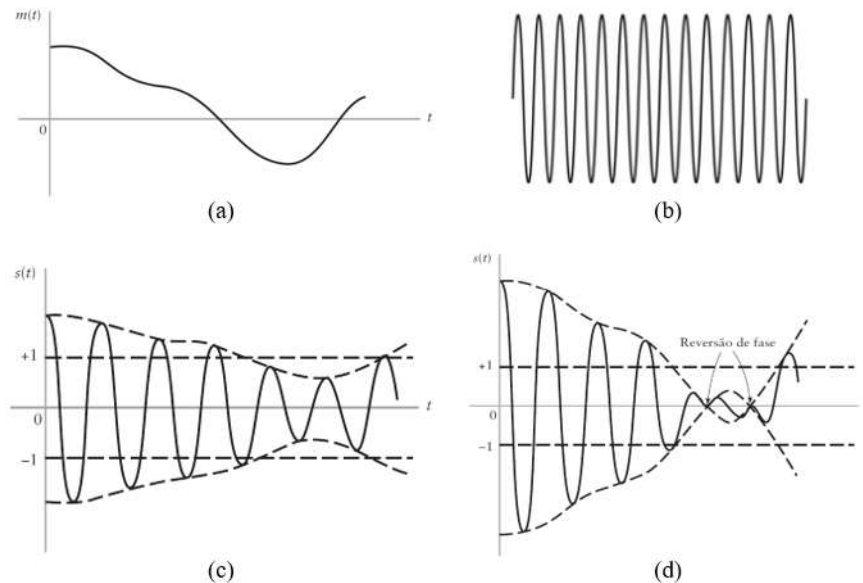
onde A_c é a amplitude da onda portadora e f_c a frequência da mesma. Esta função senoidal descreve o comportamento do sinal periódico que é moldado pelo sinal que contém a mensagem, normalmente representado pela função $m(t)$. Em formalidade, a modulação por amplitude (AM) pode ser entendida como o processo de variação linear do valor médio da amplitude da onda portadora $c(t)$ em função do sinal mensagem $m(t)$ (HAYKIN; MOHER, 2008). A partir desta definição, podemos representar o sinal modulado matematicamente por (2).

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (2)$$

onde k_a é a constante chamada de sensibilidade de amplitude do modulador, responsável pela geração do sinal modulado $s(t)$. É comum que a amplitude dos sinais da portadora e o sinal de mensagem sejam medidos em volts (V). Em casos como este a constante k_a é medida em V^{-1} .

Para ilustrar o processo de modulação por amplitude, na figura 4a é mostrado o sinal de mensagem $m(t)$. Na figura 4b é mostrada a onda portadora com amplitude A_c fixada em $1V$. Definimos como envelope de informação a forma de onda de amplitude da onda modulada $s(t)$, que matematicamente, é descrito por $A_c|1 + k_a m(t)|$, note que o envelope de $s(t)$ tem a mesma forma de $m(t)$. Dependendo do nível da constante de modulação, podemos ter duas situações, uma para $|k_a m(t)| < 1$ (figura 4c), e outra para $|k_a m(t)| > 1$ (figura 4d). Na condição $|k_a m(t)| < 1$, notamos que o envelope é mantido sem distorção em todo intervalo de tempo, garantindo que $1 + k_a m(t)$ seja sempre positiva. Quando a sensibilidade do modulador é suficientemente grande para que $1 + k_a m(t)$ torne-se negativo, a onda portadora é sobremodulada causando uma inversão de fase, como indicado na figura 4d. A inversão produz uma interrupção na relação um-para-um do envelope da onda modulante para onda modulada, o que acarretará em distorção da informação no processo de demodulação (HAYKIN; MOHER, 2008; LATHI, 2008).

Figura 4 – (a) Sinal mensagem $m(t)$; (b) Onda portadora $c(t)$; Onda AM para: (c) $|k_a m(t)| < 1$; (d) $|k_a m(t)| > 1$.



Fonte: HAYKIN; MOHER, 2008.

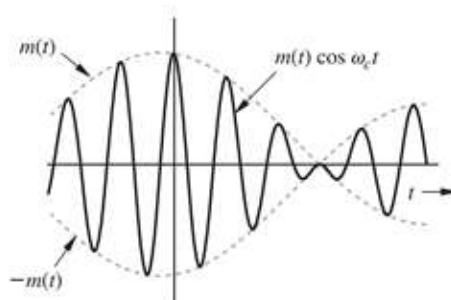
Outra condição que deve ser satisfeita é de que a f_c seja muito maior que a componente de frequência W (largura de faixa) do sinal mensagem $m(t)$. Caso contrário, o sistema de detecção será incapaz de perceber de forma satisfatória o envelope e, assim, recuperar o sinal $m(t)$ – processo conhecido como demodulação (HAYKIN; MOHER, 2008). O processo de modulação AM mostrado até aqui apresenta a principal desvantagem de ocupar uma larga banda espectral nos canais de comunicação, e um alto consumo de potência no processo de transmissão. Para reduzir o consumo de banda, são apresentados outros métodos como o AM faixa lateral dupla - portadora suprimida (DSB-SC), AM faixa lateral simples (SSB), e o AM com banda lateral vestigial (VSB).

No caso da modulação AM DSB-SC, a amplitude da portadora A_c é modulada de acordo com o sinal mensagem $m(t)$. Além disso, tanto frequência quanto fase assumem valores constantes. Em outras palavras, podemos definir este tipo de modulação como o produto entre as funções $m(t)$ e $c(t)$ – sinais mensagem e portadora, respectivamente. Esta relação é descrita em (3).

$$s(t) = c(t)m(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (3)$$

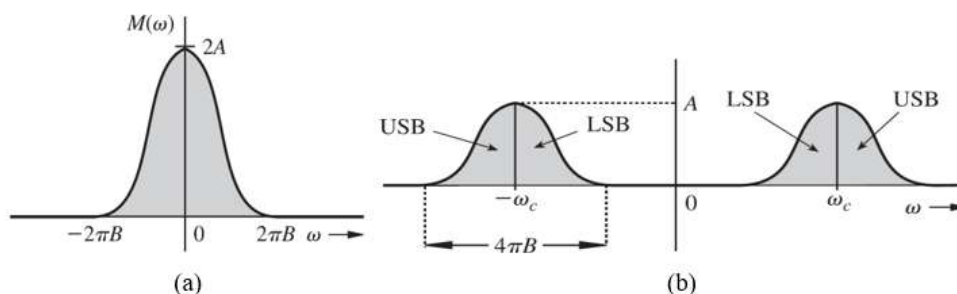
Nesta modulação, diferente da anterior, o sinal modulado se torna zero quando a mensagem é nula por conta do produto das funções (LATHI, 2008). No entanto, o fato mais importante é a inversão de fase que acontece sempre que o sinal de mensagem cruza o eixo zero. Na figura 5 temos a representação do sinal modulado e os pontos de indicação da inversão de fase.

Figura 5 – Sinal modulado e os pontos em que há inversão de fase.



Fonte: LATHI, 2008

Considere que o sinal de mensagem possui espectro de Fourier como indicado na figura 6a, note que a largura de faixa do sinal é $2\pi B$ (onde B é dado em hertz). Ao operar a transformada de Fourier do sinal modulado $s(t)$, verifica-se que a representação espectral resulta em uma duplicação do espectro do sinal de mensagem para as frequências $\omega_c = 2\pi f_c$ a partir da origem, onde f_c é a frequência da portadora (figura 6b). Quanto à amplitude da frequência central do sinal mensagem, situada na origem, seu valor é duas vezes o valor A – amplitude do sinal modulado na frequência e centralizado em $\pm\omega_c$.

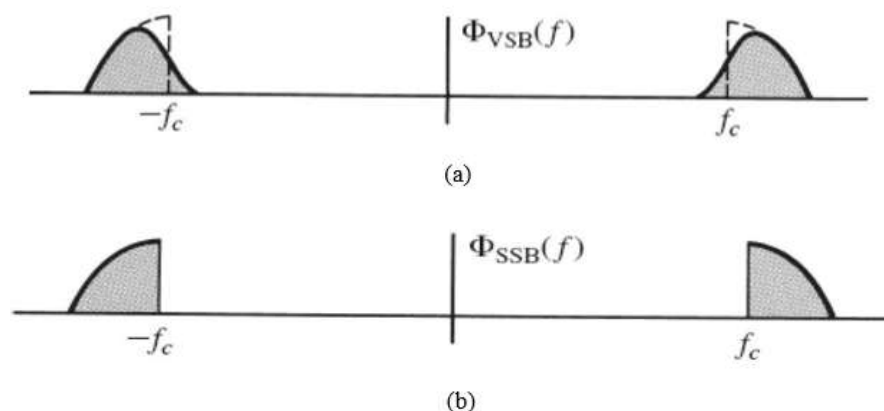
Figura 6 – (a) O sinal mensagem $m(t)$ no domínio da frequência. (b) Sinal modulado no domínio da frequência.

Fonte: LATHI, 2008.

Na modulação AM-SSB o espectro do sinal da onda modulada possui apenas metade da largura de faixa do sinal DSB. Pode-se escolher transmitir ou metade superior do espectro (USB), ou a metade inferior (LSB). Um procedimento para obtenção do sinal modulado AM-SSB passa por um modulador de produto convencional (como no DSB), contudo, envolve um processo de filtragem, que equivale a supressão de metade do espectro do sinal modulado. Contudo, os métodos DSB-SC e SSB apresentam limitações que diminuem a eficiência da comunicação. As limitações quanto ao SSB estão no fato de contribuições significativas em baixa frequência que não podem ser desprezadas – isto torna impraticável a aplicação de SSB para sinais de TV ou dados de computadores, por exemplo. Quanto a DSB-SC, que exige uma faixa de transmissão que seja, pelo menos, igual a duas vezes a largura de faixa da mensagem, violando, assim, o princípio de conservação de largura de faixa. Ou seja, embora a DSB-SC possua benefício quanto a características espectrais de dados em faixa larga, este modo também encontra suas limitações.

Diante deste cenário, a modulação por faixa lateral vestigial tem o papel de sobrepujar as limitações práticas das anteriores. Basicamente, as diferenças entre VSB e SSB são duas, a primeira é que a faixa lateral inferior não é totalmente removida e vestígios da faixa permanecem no sinal transmitido – por isso recebe o nome vestigial. A outra diferença está no fato de que a outra faixa lateral, a superior, não é transmitida em sua totalidade, mas próximo disso (HAYKIN; MOHER, 2008). Podemos então afirmar que a largura de faixa da transmissão de um sinal VSB é $B_T = f_v + W$, onde f_v é a largura de faixa vestigial, e W largura de faixa da mensagem. É possível dizer que a largura de faixa B_T da VSB está entre a largura de faixa W da SSB e $2W$ da DSB-CS, pois, normalmente, f_v é 25% de W (HAYKIN; MOHER, 2008). Na figura 7 são mostrados os espectros de um sinal modulado em AM-SSB e AM-VSB.

Figura 7 – (a) Sinal modulado em AM-SSB; (b) Sinal modulado em AM-VSB.



Fonte: LATHI; DING, 2019.

2.2.2 Modulação em frequência

As referências clássicas sobre sinais e sistemas, e teoria de comunicações, retratam a análise espectral da modulação FM como sendo mais desafiadora que a da modulação AM. De fato, para desenvolver o conhecimento suficiente para o entendimento da comunicação com modulação FM, o uso da transmissão de um único tom (sinal senoidal com frequência fixa) tem se demonstrado adequado para a tarefa. A análise da modulação FM transmitindo um sinal de tom único é geralmente denominada como modulação FM em faixa estreita. A partir das definições feitas neste estudo preliminar, poderemos estender os conhecimentos para o caso mais geral de uma mensagem com largura de faixa B , transmitida por uma onda FM de faixa larga (HAYKIN; MOHER, 2008).

2.2.2.1 FM faixa estreita

Para entender o funcionamento da modulação FM, primeiramente, estabelecemos uma relação entre a faixa de transmissão da onda FM e a largura de faixa da mensagem.

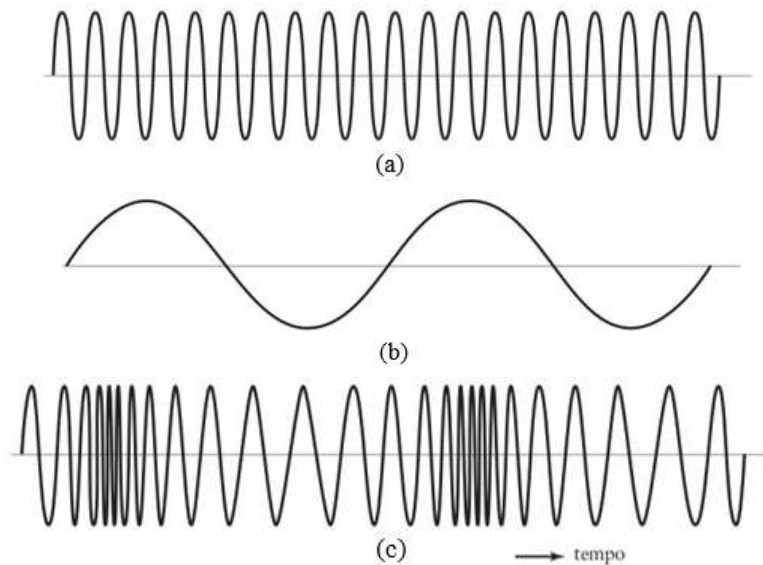
Para um sinal de mensagem monotônico na forma $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$, a frequência instantânea da onda FM é definida por (4).

$$f_i(t) = f_c + k_f A_m \cos(2\pi f_m t) = f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t) \quad (4)$$

onde f_c é a frequência da portadora, k_f é o fator de modulação FM, $\Delta f = k_f A_m$ é a grandeza conhecida como desvio de frequência, e representa a máxima diferença de frequência instantânea da onda FM e da portadora. É válido ressaltar que a característica fundamental desta modulação é o fato de que o desvio de frequência Δf é proporcional a amplitude do sinal modulante e não depende da frequência do mesmo (HAYKIN; 2008).

A figura 8 apresenta um exemplo de onda FM produzida por um único tom, onde pode-se perceber a variação da frequência do sinal modulado através do valor da amplitude do sinal modulante (YOUNG, 2005). À medida que a amplitude do sinal modulante aumenta, a frequência da portadora aumenta. (FRENZEL, 2013)

Figura 8 – Ilustração de onda FM produzida por um tom único. (a) Onda portadora; (b) Sinal modulante senoidal; (c) Sinal modulado em frequência.



Fonte: Adaptado de (HAYKIN; MOHER, 2008).

Podemos representar o ângulo de fase da portadora pela função $\theta_i(t)$, que por sua vez, pode ser modulada em qualquer instante do tempo, como é demonstrado em (5).

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t) \quad (5)$$

onde $\beta = \Delta f / f_m$ é denominado índice de modulação da onda FM, sendo utilizado em comunicações como medida de razão entre as amplitudes de informação e da portadora do sinal modulado (YOUNG, 2005).

A partir de (5) verifica-se que o parâmetro beta representa o desvio de fase da onda FM. Em outras palavras, entendemos esta medida como a distância máxima entre o ângulo máximo $\theta_i(t)$ e o ângulo $2\pi f_c t$ da portadora não modulada. Por esta razão, o índice de modulação FM β é quantificado em radianos (HAYKIN; MOHER, 2008). Com as definições de variação de fase, podemos representar a onda FM, que é modulada pelo sinal monotônico com frequência f_m , em (6).

$$s(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + \beta \sin (2\pi f_m t)] \quad (6)$$

Na modulação FM de faixa estreita o índice de modulação deve ser pequeno quando comparado a um radiano, assim, através de algumas propriedades e aproximações trigonométricas podemos aproximar o sinal modulado como demonstrado em (7).

$$s(t) \approx A_c \cos (2\pi f_c t) - \beta \sin (2\pi f_c t) \sin (2\pi f_m t) \quad (7)$$

2.2.2.2 FM faixa larga

Considerando um valor arbitrário de índice de modulação β , podemos determinar o espectro de uma onda FM reescrevendo a equação (6) através da utilização da representação banda base complexa do sinal modulado, como indicado na equação (8).

$$s(t) = \Re\{A_c e^{j2\pi f_c t + j\beta \sin(2\pi f_m t)}\} = \Re\{\tilde{s}(t) e^{j2\pi f_c t}\} \quad (8)$$

O novo termo $\tilde{s}(t)$ é chamado de envelope complexo da onda FM, e é dado por:

$$\tilde{s}(t) = A_c e^{j\beta \sin(2\pi f_m t)} \quad (9)$$

Ao observar a Equação (9) percebe-se que $\tilde{s}(t)$ trata-se de função periódica do tempo com frequência fundamental igual à frequência f_m da modulante, podendo-se então expandir $\tilde{s}(t)$ na forma da série complexa de Fourier como segue em seu resultado final:

$$\tilde{s}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) e^{j2\pi n f_m t} \quad (10)$$

É importante destacar que o resultado obtido na Equação (10) é dado em termos da função de Bessel $J_n(\beta)$. Substituindo então a Equação (10) em (8), e então tomando a parte real obtemos uma forma mais simplificada do sinal modulado em (11).

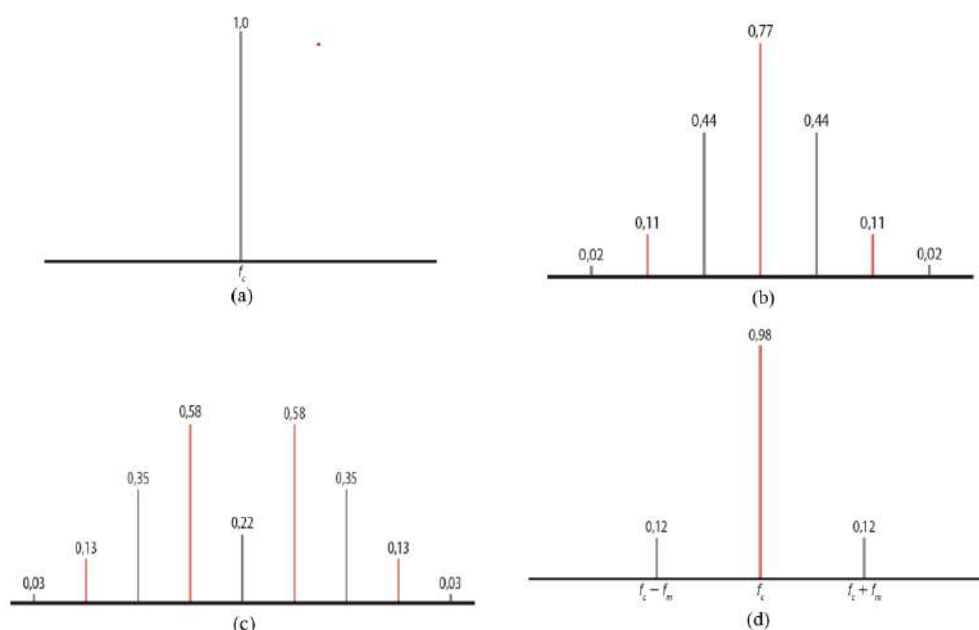
$$s(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) \cos [2\pi(f_c + n f_m)t] \quad (11)$$

A Equação (11) é a forma desejada para a expansão em série de Fourier do sinal FM $s(t)$ de tom único para um valor arbitrário de índice β , sendo seu espectro obtido através do cálculo da transformada de Fourier, como em (12).

$$S(f) = \frac{A_c}{2} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) [\delta(f - f_c - n f_m) + \delta(f + f_c + n f_m)] \quad (12)$$

O espectro de uma onda FM contém a componente da portadora e um conjunto infinito de frequências laterais localizadas simetricamente nos dois lados da frequência da portadora (HAYKIN; MOHER, 2008). A Figura 9 mostra alguns exemplos dos espectros de sinais FM com diferentes índices de modulação. Nela é possível verificar que sem modulação toda a potência está na portadora e com a modulação, a amplitude da portadora diminui enquanto as amplitudes das diversas bandas laterais aumentam (FRENZEL, 2013).

Figura 9 – Exemplos de espectros de sinais FM: (a) Índice de modulação de 0 (sem modulação ou bandas laterais). (b) Índice de modulação de 1. (c) Índice de modulação de 2. (d) Índice de modulação de 0,25 (faixa estreita).



Fonte: (FRENZEL, 2013).

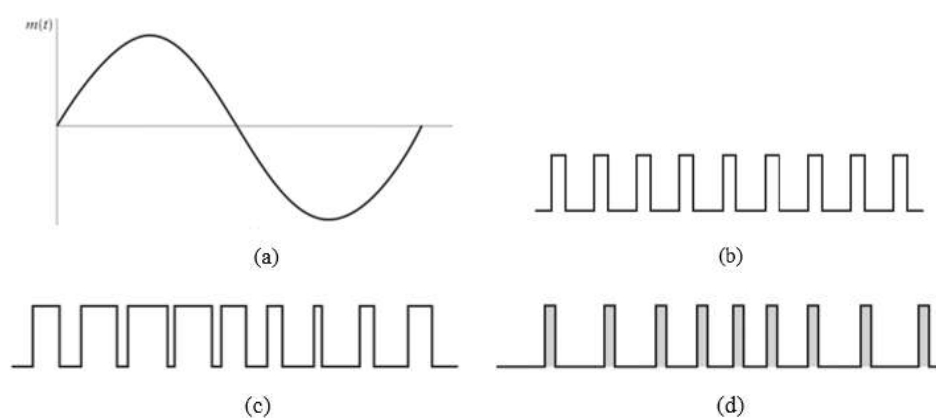
2.3 A modulação digital

A modulação digital abrange em sua maior parte as técnicas de modulação de pulso, onde tem-se o sinal de mensagem representado em uma forma discreta tanto no tempo quanto na amplitude, o que permite sua transmissão de forma digital como uma sequência de pulsos codificados. A utilização de pulsos codificados para a transmissão de sinais analógicos contendo informação representa o ingrediente básico na aplicação de comunicações digitais (HAYKIN; MOHER, 2008).

2.3.1 A Modulação por largura de pulsos

Na modulação por largura de pulso (PWM, pulse-width modulation), também chamada de modulação por duração de pulso (PDM), a duração do pulso é o parâmetro usado para a modulação. O sinal modulante pode variar no tempo da borda de subida, da borda de descida, ou em ambas as bordas. Pode-se usar como exemplo para melhor explicar o funcionamento da modulação PWM um sinal de onda senoidal como sinal de mensagem (figura 10a). A onda portadora desse exemplo é um trem de pulsos periódicos (figura 10b). A duração do pulso varia segundo a variação de amplitude de $m(t)$.

Figura 10 – Modulação por tempo de pulso para o caso de uma onda modulante senoidal: (a) Onda modulante. (b) Portadora de pulso. (c) Onda PWM ou PDM. (d) Onda PPM.



Fonte: (HAYKIN; MOHER, 2008).

O sinal PWM mostrado na figura 10c, por ter alguns pulsos muito longos, acaba desperdiçando potência durante o tempo do pulso, com parcelas que não acrescentam informações, assim, se esta parcela não utilizada for subtraída do sinal PWM, de forma que se mantenham preservadas somente as transições no tempo, obtém-se um tipo de modulação mais eficiente, chamada de modulação por posição de pulso (PPM - do inglês, pulso-position modulation), que é mostrada na figura 10d.

Há diversas técnicas de modulação digital, das quais podemos citar:

- a) Chaveamento binário de amplitude (BASK, binary amplitude shift-keying): onde a amplitude da portadora é chaveada em dois possíveis valores utilizados para representar os símbolos 0 e 1;
- b) Chaveamento binário de fase (BPSK, binary phase shift-keying): onde a fase da portadora é chaveada em dois possíveis valores (0° e 180°) utilizados para representar os símbolos 0 e 1;
- c) Chaveamento binário de frequência (BFSK, binary frequency shift-keying): onde a frequência da portadora é chaveada em dois possíveis valores utilizados para representar os símbolos 0 e 1.

Os sistemas de comunicação baseado em modulação digital apresentam uma série de vantagens em comparação aos sistemas analógicos, desses podemos destacar:

- a) Performance;
- b) Robustez;
- c) Confiabilidade;
- d) Segurança;
- e) Integração de sistemas.

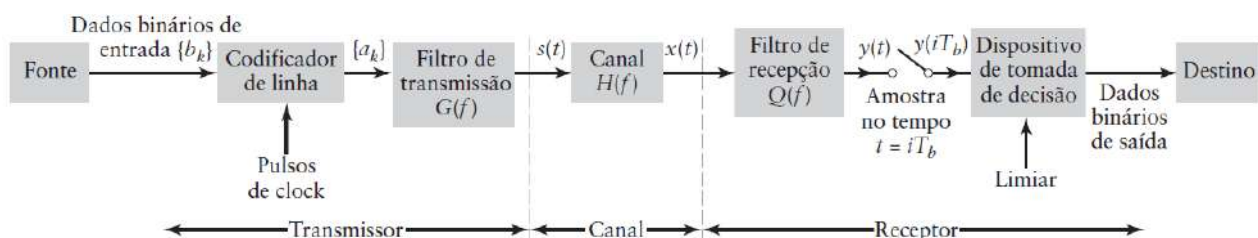
2.4 Aspectos gerais de um sistema de comunicação

A banda base de um sinal transmitido é definida como uma faixa de frequências que contém as componentes espectrais que compõem o sinal de mensagem original. Quando um sinal é modulado, a informação é deslocada para uma faixa de frequências mais elevada, conhecida como banda passante (ou banda lateral). Nos sistemas de comunicação digital, é comum o processo de conversão analógico-digital passando por procedimentos de quantização e amostragem (LATHI; DING, 2019).

Um sistema de comunicação digital tem como tarefa transportar uma sequência de dados da fonte para o seu destino, fazendo uso de um canal para isso. Para o entendimento das técnicas utilizadas, e dos fenômenos inerentes ao processo de transmissão através do canal, faz-se necessário o conhecimento dos assuntos: Conversão Analógico-Digital (A/D); Teorema de amostragem; Regra de Nyquist; Interferência intersimbólica e Padrão de olho.

A figura 11 apresenta um diagrama de blocos de um sistema de comunicação em banda base de dados binários.

Figura 11 – Diagrama em blocos do sistema de transmissão banda base de dados binários.



Fonte: (HAYKIN; MOHER, 2008).

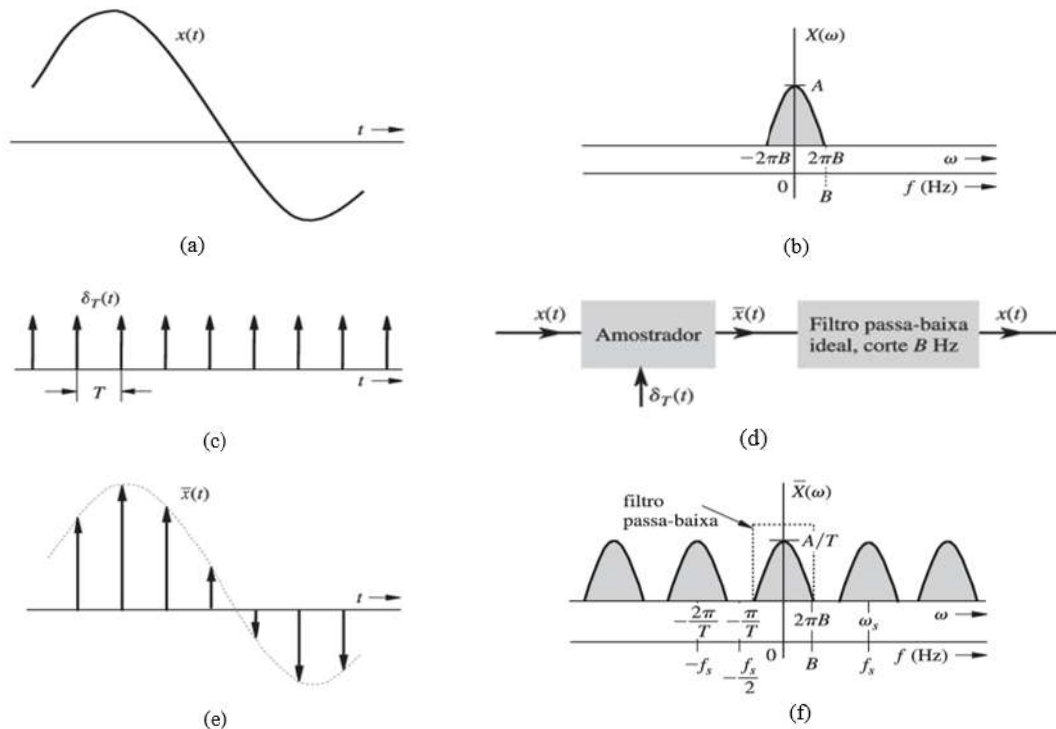
A partir da figura 11, podemos destacar as etapas do **Transmissor**, iniciando pela codificação da informação digital entregue pela fonte binária, e em seguida enviando para um estágio de filtragem, preparando para a etapa de transmissão. O sinal é transportado pelo **Canal**, onde acaba por absorver sinais ruidosos. Nas etapas do **Receptor**, o sinal é captado sendo tratado primeiramente em um filtro de recepção, e então passa por recuperação e processamento para entregar ao destino os dados binários de saída.

2.4.1 Teorema da amostragem

Um ponto crucial a ser entendido antes de compreender-se o funcionamento do processamento digital de sinais e as comunicações digitais trata-se do processo de amostragem, onde um sinal analógico é convertido em uma sequência correspondente de amostras (HAYKIN; MOHER, 2008). O Teorema de Nyquist-Shannon afirma que, para recuperar completamente um sinal sem perda de informação, a taxa de amostragem deve ser pelo menos o dobro da largura de banda do sinal. Em termos matemáticos, se B é a largura de banda do sinal em hertz, então a taxa de amostragem f_s deve ser pelo menos $2B$ amostras por segundo (LATHI; DING, 2019).

A figura 12 mostra reúne um conjunto de representações gráficas que ilustram o processo de amostragem de um sinal $x(t)$, a partir de um trem de impulsos $\delta_T(t)$.

Figura 12 – Processo de amostragem de um sinal analógico com banda base B .



Fonte: (HAYKIN; MOHER, 2008).

Na figura 12a é mostrado o sinal de mensagem $x(t)$, enquanto a figura 12b mostra o espectro de amplitude do sinal. A figura 12c mostra o trem de impulsos, com período de amostragem T . Na primeira parte da figura 12d, verificamos o diagrama de blocos do processo de amostragem, que resultou no sinal amostrado $\bar{x}(t)$, mostrado na figura 12e, juntamente com seu espectro de amplitude na figura 12f. Em síntese, podemos observar que o processo de amostragem no domínio do tempo geral é um conjunto de réplicas do espectro do sinal original, deslocados para a frequência de amostragem f_s . Note, portanto, que não haja sobreposição de espectro no sinal amostrado, deve-se atender a critério de Nyquist, garantindo que $f_s > 2B$.

Retornando a figura 12d, para a reconstrução do sinal $x(t)$ a partir de sua versão amostrada, deve-se aplicar um filtro passa-baixas com largura de banda igual, ou superior a do sinal $x(t)$.

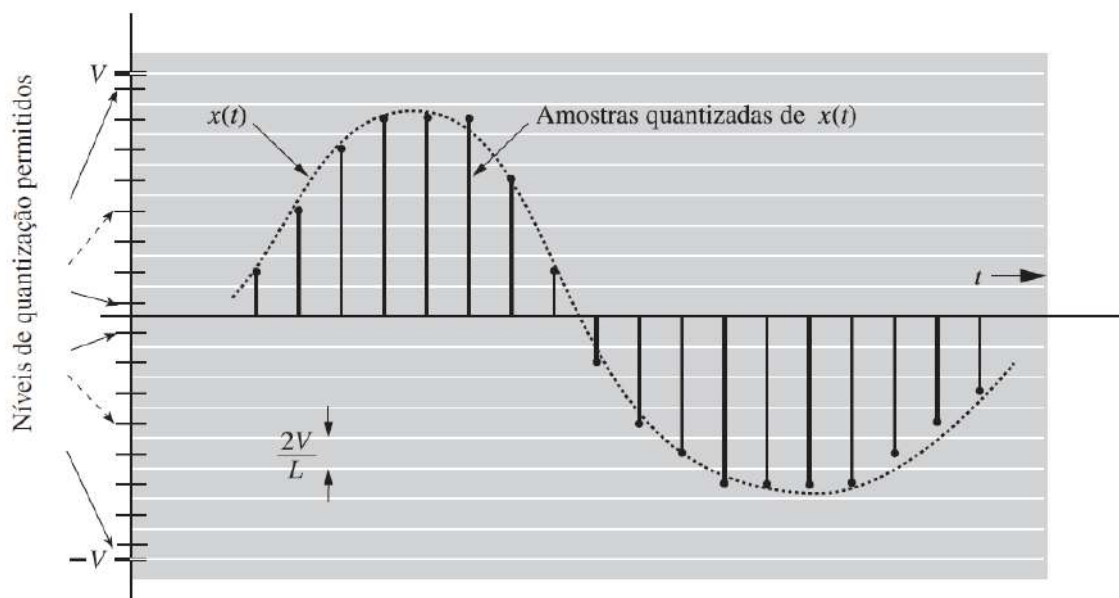
2.4.2 Conversão analógico-digital (A/D)

O processo de conversão Analógico-Digital é utilizado para converter a informação na forma analógica para seu equivalente digital. Para explicar este conceito, primeiramente, pode-se pontuar a diferença entre sinais analógicos e digitais (LATHI; DING, 2019).

- a) Sinais analógicos: são contínuos no tempo, têm valores em cada instante de tempo e seus valores podem ter qualquer amplitude no intervalo escolhido;
- b) Sinais digitais: são discretos no tempo e podem assumir somente um número finito de valores.

Dois passos são necessários para execução desta conversão, primeiramente, o sinal é amostrado (observando os critérios de amostragem indicados na seção anterior), produzindo assim um sinal em tempo discreto. O segundo passo trata-se da quantização, por meio da qual o sinal mensagem é repartido em L subintervalos e assim cada amostra de amplitude é aproximada ao valor médio do subintervalo que a contém (LATHI; DING, 2019). O sinal quantizado é uma aproximação do sinal original podendo ter sua precisão aumentada quanto maior o número de níveis L . Na figura 13 é mostrado um sinal analógico $m(t)$ com níveis de quantização $2m_p/L$, onde m_p é o valor máximo de pico que os sinais de mensagem podem atingir.

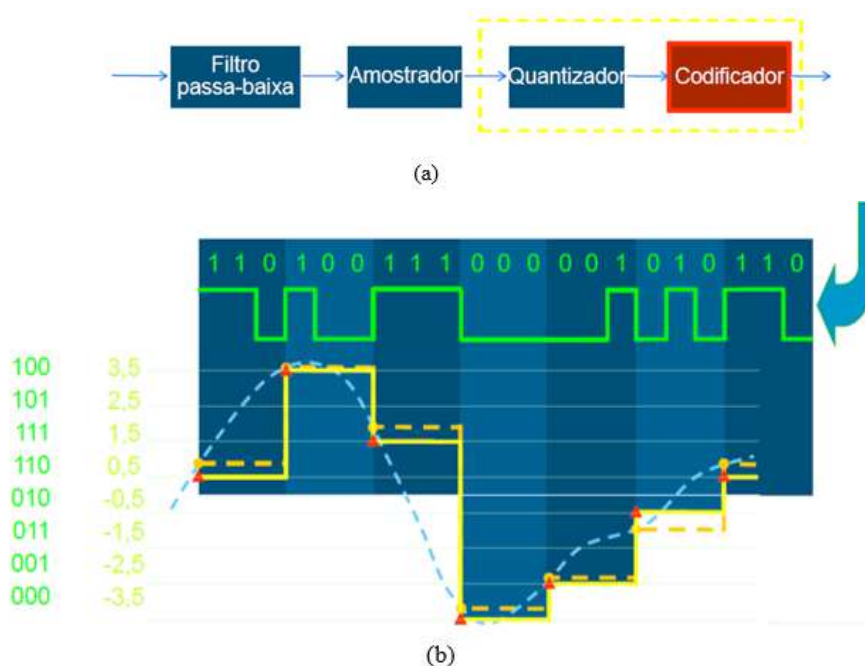
Figura 13 – Sinal de mensagem amostrado no tempo, e indicado dentro dos níveis de quantização.



Fonte:(LATHI; DING, 2019).

Após a quantização, cada valor de amplitude passa por um circuito conversor AD, para gerar um código binário que representa cada nível de amplitude do sinal quantizado. Na figura 14a é mostrado o diagrama de blocos que indica o processo de conversão desde a filtragem até o processo de codificação.

Figura 14 – (a) Diagrama de blocos do processo de quantização; (b) Sinais associados ao processo.



Fonte: Autoria própria.

Para ilustrar os sinais elétricos envolvidos no processo de conversão AD, na figura 14b o sinal azul tracejado é a mensagem original. O intervalo de amostragem é indicado pelos triângulos vermelhos, e as amostras do sinal de mensagem nos instantes de tempo de amostragem, dentro dos intervalos de quantização, é indicado pela linha amarela tracejada. O sinal de mensagem quantizado, para valores entre $-3,5$ e $3,5$, com intervalo de quantização de $1,0$, é indicado pela linha amarela. Por fim, para cada valor de amplitude, temos um código binário associado à amplitude do sinal de mensagem quantizado.

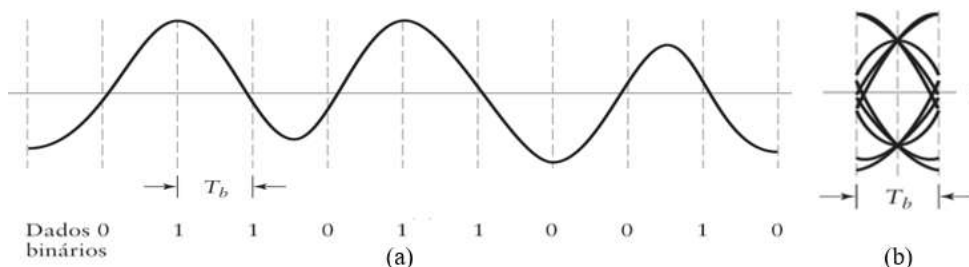
2.4.3 Interferência intersimbólica e Padrão de olho

A interferência intersimbólica trata sobre as imperfeições na resposta em frequência do canal. Quando um sinal é transmitido, uma pequena parcela do seu espectro pode acabar sendo suprimida causando uma dispersão desse sinal e interferência com pulsos vizinhos. A interferência intersimbólica ou ISI (intersymbol interference) é causada por canais não ideais que não são livres de distorção em toda a largura de banda do sinal.

O padrão de olho é um gráfico formado que leva esse nome devido a sua semelhança com o olho humano. O diagrama ou padrão do olho é uma ferramenta eficaz para fornecer um exame visual da gravidade do ISI, sensibilidade a erros de tempo e margem de ruído. (GRAMI, 2015).

O padrão de olho é produzido pela superposição sincronizada da maior quantidade possível de símbolos sucessivos da forma de onda distorcida apresentada na saída do filtro de recepção (HAYKIN; MOHER, 2008).

Figura 15 – (a) Sequência de dados binários e suas formas de onda. (b) Padrão de olho correspondente.



Fonte: Adaptado de (HAYKIN; MOHER, 2008).

O padrão ocular é obtido exibindo o sinal recebido em um osciloscópio. A base de tempo do osciloscópio é acionada em uma fração da taxa de bits e, portanto, produz uma varredura durante vários intervalos de bits. O osciloscópio então mostra a superposição de muitos traços de intervalos de bits do sinal recebido. O padrão do osciloscópio é simplesmente o corte do sinal de entrada a cada dois intervalos de bits e então sobrepostas umas sobre as outras (GRAMI, 2015).

Uma grande vantagem desse mecanismo gráfico é a da possibilidade de fornecer muita informação sobre o sinal e do sistema de transmissão a ele vinculado, podendo-se assim avaliar como esse sistema está transportando a sequência de dados. As informações que podemos obter a partir do diagrama de olho:

- A largura da abertura do olho define o intervalo de tempo sobre o qual a onda recebida pode ser amostrada sem erro devido a ISI. É comum utilizar o instante de tempo para a amostragem quando o olho está mais aberto.
- A sensibilidade do sistema ao erro de temporização é determinada pela taxa de fechamento do olho, quando o instante de amostragem varia.
- A altura da abertura do olho em um tempo de amostragem específico, define a margem de ruído do canal.

2.5 Antenas para comunicação em canais de rádio

Uma antena consiste em uma estrutura condutora, que na condução de corrente elétrica é capaz de gerar aceleração e/ou desaceleração de elétrons, gerando ondas eletromagnéticas. Em geral, uma antena pode ser construída a partir de um arranjo de condutores metálicos ("elementos"), conectados eletricamente por meio de uma linha de transmissão a um circuito de recepção e/ou transmissão.

Antenas agem como transdutores que convertem corrente elétrica em ondas eletromagnéticas (SANTIAGO, et al, 2021). Existem vários tipos de antenas dentre elas, podemos citar (BALANIS, 2005):

- a) Antenas filamentosas: formato de fio reto, sendo um dipolo ou monopolo, de quadro, helicoidal, dentre outros. Estão presentes em praticamente todos os lugares, automóveis, prédios, navios, aviões, naves espaciais, etc, e geralmente usam elementos parasitas como refletores e diretores metálicos.
- b) Antenas de abertura: podem utilizar frequências mais elevadas e apresentam-se em diversas configurações como guia de onda retangular, corneta cônica, corneta piramidal, dentre outras;
- c) Antenas de microfita: consistem em uma placa metálica colocada sobre um substrato aterrado, sendo assim um tipo de antena muito versátil;
- d) Antenas refletoras: criadas a partir do sucesso da exploração espacial, caracterizam-se por trabalhar com grandes distâncias na transmissão e recepção;

Os principais parâmetros usados para avaliar o desempenho de uma antena são: coeficiente de reflexão, largura de banda, impedância de entrada, ganho e diretividade, diagrama de radiação e eficiência de radiação.

2.5.1 Largura de banda

De acordo com "Definições Padrão IEEE de Termos para Antenas "(1993) a largura de banda de uma antena pode ser explicada como uma faixa de frequências dentro da qual o desempenho de conversão eletromagnética da antena está dentro de um valor aceitável quando comparado com um certo padrão, como uma frequência central (geralmente a frequência de ressonância para o caso de uma antena dipolo).

Alguns parâmetros que podem ser utilizados para caracterizar a largura de banda de uma antena são: impedância; padrão de radiação; eficiência; polarização; ou largura do feixe, os quais terão seus usos definidos a depender da necessidade de aplicação para o qual a antena foi construída (SOUZA, 2017).

2.5.2 Impedância de entrada

Uma das definições para impedância de entrada de uma antena trata-se da impedância apresentada pela antena em seus terminais (BALANIS, 2005).

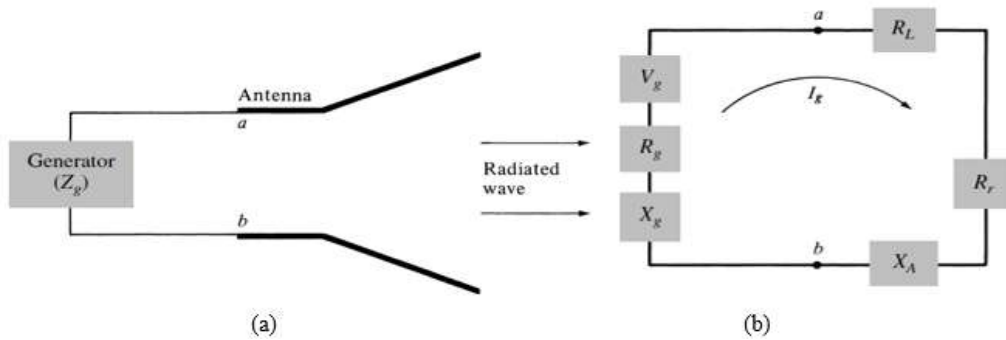
A impedância nos terminais de uma antena determina em larga medida a eficiência com que esta vai atuar como elemento transdutor entre a onda guiada e a onda livre, e pode ser dada por (13).

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \quad (13)$$

onde R_{in} é a parte resistiva (que caracteriza a parcela de energia radiada e as perdas), e X_{in} é a componente reativa, que resulta na energia reativa próxima a antena, e que não se propaga.

A figura 16 apresenta um esquemático de uma antena conectada a um gerador em modo de transmissão, ao mesmo tempo que destaca o equivalente Thévenin do circuito.

Figura 16 – (a) Antena em modo de transmissão; (b) Circuito equivalente Thevenin



Fonte: (BALANIS, 2005).

Na figura 16 R_{in} é composta por R_r , que descreve a parcela de energia radiada pela antena, e R_L que descreve as perdas ôhmicas. A parte reativa X_A descreve a energia não irradiada que sustenta os campos eletromagnéticos ao redor da antena. A impedância de entrada de uma antena depende de fatores como geometria, método de excitação e polarização, frequência e proximidade de objetos ao redor, como elementos parasitas {.

Em geral, a curva de impedância de entrada de uma antena é utilizada para definir a largura de banda de operação da mesma. Além disso, para uma transmissão com máxima eficiência e menos perdas, busca-se utilizar técnicas de casamento de impedância entre gerador, linha de transmissão e antena.

2.5.3 Eficiência de radiação

A eficiência dielétrica e de condução e_{cd} ou eficiência de radiação como é comumente chamada, é definida como a razão entre a potência fornecida à resistência de radiação R_r e a potência ativa total consumida, como demonstrado em (14).

$$e_{cd} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (14)$$

Nem toda a potência entregue à antena é radiada, parte é gasta em perdas no condutor e no dielétrico, isto delimita o valor da eficiência de radiação. Perdas de eficiência de antena são tipicamente devidas a (SOUSA, 2021):

- a) Perdas de condução (devido à condutividade finita do metal que forma a antena);
- b) Perdas dielétricas (devido à condutividade de um material dielétrico perto da antena);
- c) Perda por descasamento de impedância.

2.5.4 Diretividade e Ganho

A Diretividade traduz quantitativamente a concentração relativa de potência radiada e tem como definição a razão entre a intensidade de radiação em uma determinada direção da antena e a intensidade de radiação média em todas as direções (BULGARONI, 2016; SOUZA, 2017). A intensidade de radiação média em todas as direções é a que a antena produziria se fosse um radiador isotrópico ($U_0 = P_{rad}/4\pi$), logo a diretividade é escrita como (15).

$$D = \frac{U}{U_0} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \quad (15)$$

Outra medida útil que descreve o desempenho de uma antena é o ganho. Embora o ganho da antena esteja intimamente relacionado com a diretividade, é uma medida que leva em conta a eficiência da antena, bem como suas capacidades direcionais. Lembrando que a diretividade é uma medida que descreve apenas as propriedades direcionais da antena, e, portanto, é controlado apenas pelo padrão.

O Ganho é a relação entre a intensidade máxima de radiação, e a intensidade de radiação de uma antena isotrópica sem perdas, alimentada pela mesma potência de entrada, podendo ser dada por (16).

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (16)$$

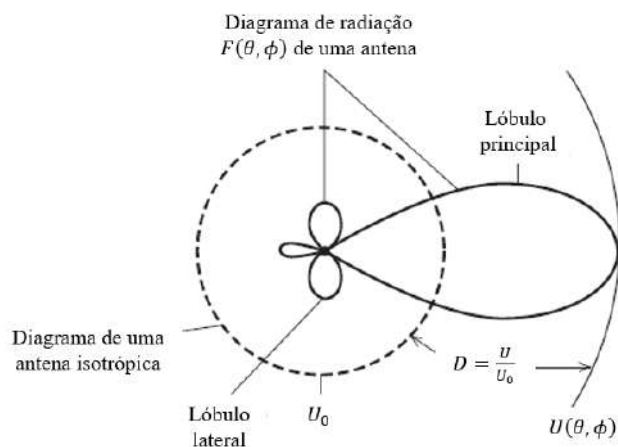
Considerando o sistema de coordenadas esféricas (r – distância radial, θ – colatitude e ϕ – azimute) o diagrama de radiação representa graficamente, para r constante, a dependência da distribuição espacial da densidade de potência radiada com a direção considerada (θ, ϕ). Em outras palavras, o diagrama de radiação é a ferramenta gráfica que descreve a diretividade de radiação em função das coordenadas angulares, na região de campo distante.

A figura 17 ilustra um diagrama de radiação, evidenciando o lóbulo principal descrito pela diretividade calculada a partir da razão entre U e U_0 .

2.5.5 Arranjos de antenas

Os arranjos de antenas são criados com o objetivo de maximizar certas características desejadas pelo sistema. Pode-se ajustar o diagrama de radiação para que atenda requisitos pré-estabelecidos simplesmente aplicando pesos diferenciados aos sinais recebidos por cada

Figura 17 – Ilustração do diagrama de radiação da antena $F(\theta, \phi)$ e diretividade D . As densidades de potência na mesma distância são U e U_0 para as antenas isotrópica e real respectivamente.



Fonte: Adaptado de (STUTZMAN E TIELE, 2012).

antena elementar do arranjo (ALMEIDA, 2015; ALVES 2020). Um arranjo de antenas consiste no agrupamento de elementos condutores próximos, modificando as características funcionais da antena final (BALANIS, 2005). Em um arranjo pode-se adicionar elementos ativos (outras antenas alimentadas), e/ou elementos passivos (elementos parasitas sem alimentação).

O campo total do arranjo de antenas é determinado pela soma vetorial dos campos radiados por cada elemento que faz parte, e/ou pelos campos refletidos pelos elementos parasitas. Desta forma para conseguir diagramas bem direcionais fica eminente a necessidade de que os campos dos elementos do arranjo interfiram construtivamente (somem) nas direções desejadas e interfiram destrutivamente no restante do espaço.

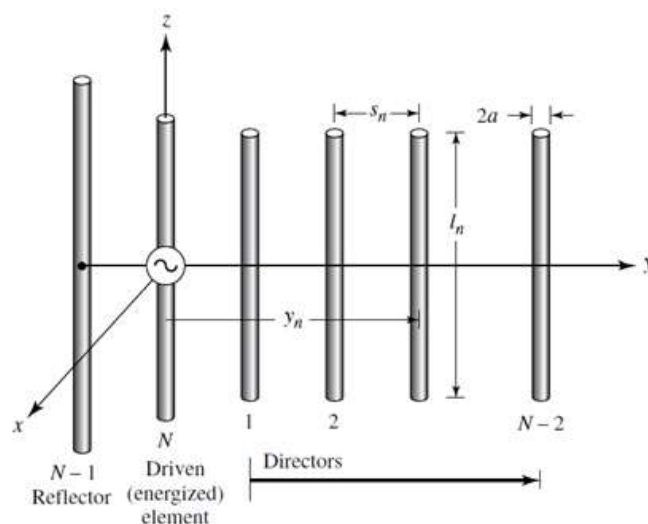
Em um arranjo com elementos idênticos, há pelo menos cinco mecanismos de controle que podem ser usados para dar forma ao diagrama total da antena ??):

- a) Configuração geométrica do arranjo global;
- b) Separação relativa entre os elementos;
- c) Amplitude de excitação dos elementos individuais;
- d) Fase de excitação dos elementos individuais;
- e) Diagrama relativo dos elementos individuais.

Os arranjos tornam-se, então, uma solução bastante versátil pois dispomos de várias variáveis do qual o diagrama de radiação depende (amplitude, fase e posição) e as quais podemos controlar. Com os arranjos é possível, por exemplo, aumentar a diretividade e, simultaneamente, controlar a forma do diagrama de radiação, nomeadamente no que diz respeito à direção do lobo principal e ao número, direção e amplitude dos lobos secundários.

A figura 19 apresenta um conjunto clássico principalmente empregado em aplicações de TV e rádio, conhecido como arranjo Yagi-Uda. Esta antena consiste em um número de elementos dipolo lineares, um dos quais é energizado diretamente por uma linha de transmissão de alimentação, enquanto os outros agem como radiadores parasitas cujas correntes são induzidas por acoplamento mútuo.

Figura 18 – Configuração e antena Yagi-Uda.



Fonte: (BALANIS, 2005).

No caso do arranjo na figura 19, é o ajuste adequado dos tamanhos dos elementos parasitas que define aqueles que operarão como elementos refletores ou diretores. Nos projetos de antena Yagi-Uda, é comum definir a distância entre os elementos em termos do comprimento de onda de radiação.

As antenas Yagi-Uda constituem-se de um dipolo meia onda (Figura e operam em faixas de comprimento de ondas conhecidas (BALANIS, 2005; SANTIAGO, et al, 2021; SOUZA, 2017):

- a) HF - de 3 a 30 MHz;
- b) VHF - de 30 a 300 MHz;
- c) UHF - de 300 a 3000 MHz.

3 FUNCIONAMENTO E MELHORIAS DO KIT DE TELECOMUNICAÇÕES DA BIT9

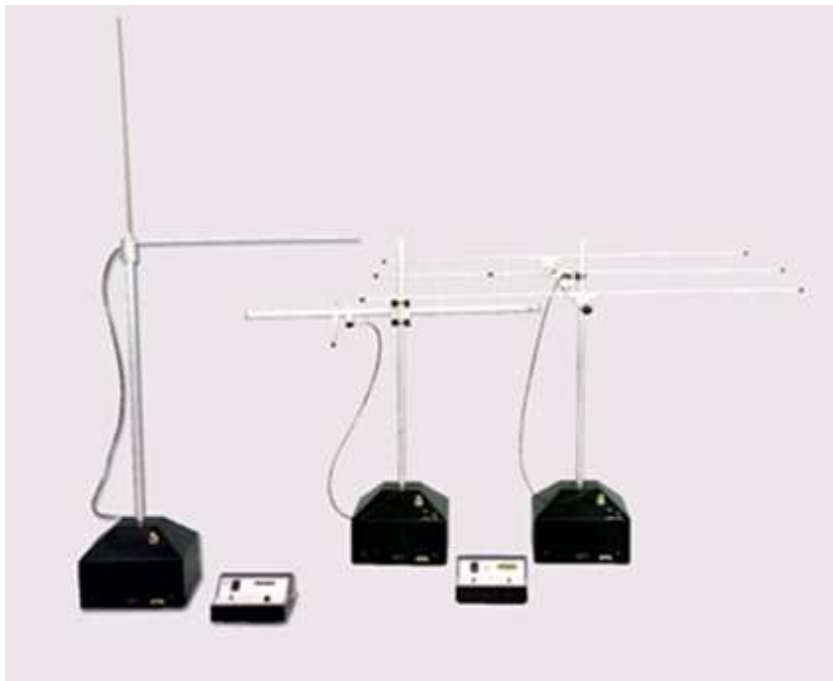
O objetivo deste capítulo é a apresentação do funcionamento e as melhorias do kit de telecomunicações da Bit9. Este capítulo é dividido em duas seções: Primeiramente apresentamos o kit de telecomunicações e em seguida as melhorias realizadas no kit. No Apêndice C, os roteiros serão apresentados na íntegra.

3.1 Partes funcionais do Kit de Telecomunicações da Bit9

Antes de propagar sinais em qualquer nível de potência ou raio de propagação, é necessário que o usuário esteja ciente sobre suas obrigações no que diz respeito a regulamentação, homologação e legislação vigente quanto a esta atividade. No Brasil, a autorização para transmissão de ondas de rádio deve ser concedida por órgão competente, no caso o DENTEL (Departamento Nacional de Telecomunicação), cuja sede encontra-se em São Paulo, Rua Costa, 55 – Consolação, SP. Caso não sejam cumpridas as obrigações ou não haja licença para operação do transmissor, o usuário estará sujeito a penalidades e sanções legais.

O kit didático da Bit9 é mostrado na figura 19.

Figura 19 – Kit didático de telecomunicações da Bit9.



Fonte: site da Bit9, 2023

O kit mostrado na figura 19 é composto por:

- a) 1 Painel gerador de sinais e controle de rotação da antena transmissora;
- b) Painel de visualização do sinal recebido, e controle de rotação das antenas receptoras;
- c) Base com módulo transmissor FM, e motor de passo para rotação de antenas;
- d) bases com módulo receptor FM, e motor de passo para rotação de antenas;
- e) Cabos coaxiais para conexão das antenas às bases de transmissão ou recepção;
- f) Cabos com conector db15 para conectar os painéis às bases;
- g) Antenas monopolares e elementos parasitas;
- h) Painel metálico para reflexão de ondas EM;

Na operação do kit em questão, uma estação transmissora envia sinais, e duas estações receptoras que podem captar as informações transmitidas. Existem algumas possibilidades quanto à escolha da antena usada na transmissão ou recepção. Estas antenas devem ser acopladas em bases giratórias que vão movimentar as antenas em torno de seu próprio eixo. Esta movimentação associada e escolha de um certo tipo de antena permite aos alunos a percepção de parâmetros como a diretividade de cada um dos tipos de antena em função de sua disposição. Também, pelo fato de as bases possuírem mobilidade, podemos afastar ou aproximar os pontos de transmissão e recepção experimentando os efeitos da diminuição e aumento do canal de transmissão da informação.

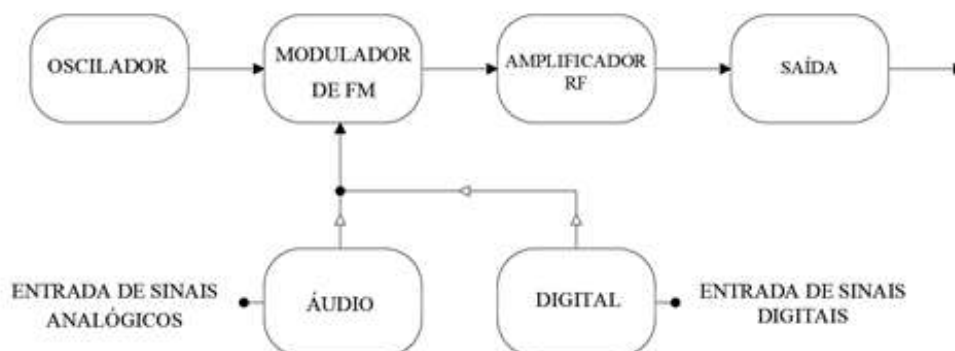
O transmissor usado neste equipamento é de baixíssima potência de radiofrequência modulada e foi projetado para possuir caráter didático e fins experimentais. Além disso, deve ser usado em locais restritos e em âmbito escolar. A radiação do sinal propagado não excede mais do que algumas dezenas de metros. É extremamente aconselhável que não seja acoplado a ele uma antena extensora. Isto pode caracterizar violação das diretrizes da ANATEL.

A tensão de alimentação do transmissor é de 12 VCC e a corrente de alimentação do circuito de transmissão é de 40 mA. A potência de radiofrequência é de 20 mW. O tipo de modulação empregada na estação transmissora é a de modulação FM cuja faixa de operação encontra-se em 108 MHz. Na entrada do sistema de transmissão podem ser admitidos sinais analógicos e sinais digitais. Os circuitos de comunicação deste kit são baseados em técnicas de transmissão e recepção de rádio superheterodino, converte sinais em uma frequência intermediária de frequência fixa, e isso permite remover sinais indesejados com mais eficiência do que outras formas.

A partir da adequada montagem do kit, é possível estabelecer comunicação usando informações analógicas e digitais via RF e também verificar as variações na irradiação do sinal em função da utilização de diferentes antenas. O gerador de radiofrequência na

base transmissora é um oscilador de oscilação livre variante do tipo Colpitts, operando na frequência central de 108 MHz, aproximadamente. Na figura 20 é mostrada as etapas de tratamento da informação ainda na base transmissora.

Figura 20 – Diagrama de blocos do circuito Transmissor.



Fonte: Autoria própria.

Na figura 20, a mensagem, analógica ou digital, é enviada ao modulador FM, acoplado ao oscilador de 108 MHz, gerando um sinal em frequência modulada pela amplitude do sinal de mensagem. A etapa final amplificadora de RF é constituída de um casador de impedância em π que serve para acoplar a saída com a antena. Ao ajustar de forma adequada o circuito π é possível produzir um perfeito casamento entre a saída do transmissor e antena proporcionando uma máxima radiação do sinal.

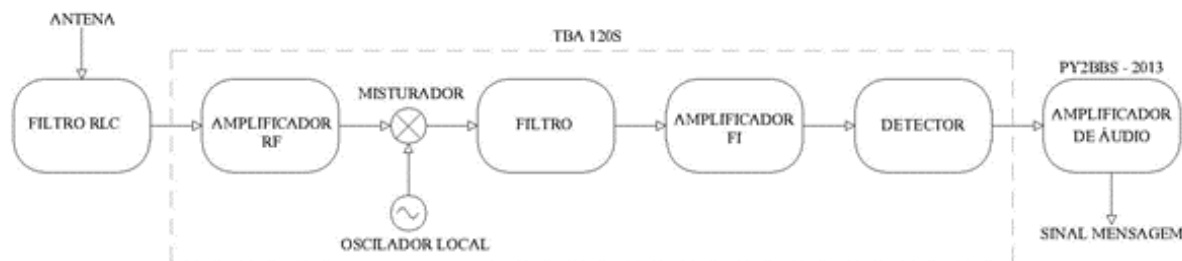
O painel de transmissão é capaz de gerar até três tipos de sinal de mensagem: analógico na faixa de 100 Hz a 4,1 kHz; sinal digital de 1 kHz, sinal digital binário na forma de pulsos retangulares gerados a partir de código em linguagem C. O circuito eletrônico de modulação é transistorizado, com o transistor conectado em arranjo coletor comum, com realimentação da base ao emissor. Vale ressaltar que, o transistor encontra-se sintonizado na base na frequência de oscilação em 108 MHz, situada na porção superior de radiodifusão de FM.

O sinal captado pela antena é filtrado por um filtro RLC passa faixa, em seguida é enviado a um amplificador transistorizado, para então passar por um mixer, que mistura o sinal da antena com o sinal do oscilador local que gera uma frequência intermediária controlada pelo potenciômetro de sintonia (característica do receptor super-heteródino). O sinal na saída do mixer é mais uma vez amplificado antes de passar por um detector de fase, que extrai as características de amplitude do sinal de mensagem contido no sinal FM recebido.

Vale ressaltar que do estágio de mixer ao detector de fase, o sinal é processado por um circuito integrado TBA120S. Por fim, o sinal pode ser amplificado por um estágio transistorizado, e enviado para o conector jack-p2 mono (para conexão de fones de ouvido),

e para o painel de controle da recepção, onde um sistema fechado faz a detecção da frequência fundamental da mensagem, e informa no display de cristal líquido do painel. O procedimento de demodulação na base receptora é demonstrado na figura 21.

Figura 21 – Diagrama de blocos do circuito Receptor.



Fonte: Autoria própria.

3.2 Melhorias aplicadas ao Kit de Telecomunicações da Bit9

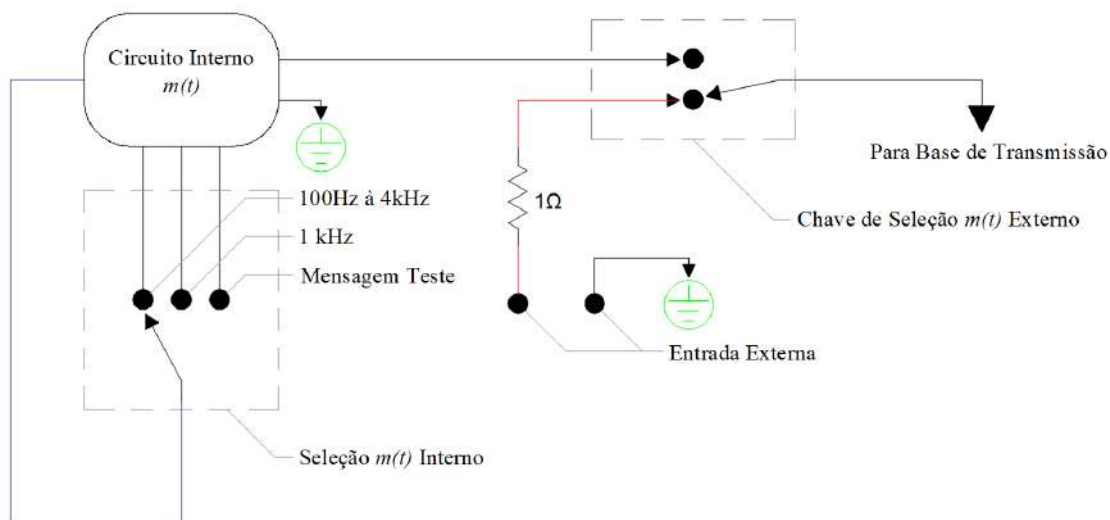
No primeiro contato com o Kit de Telecomunicações da Bit9, ao exercitar a plena comunicação entre as estações de transmissão e recepção do sistema, dentro de uma sala de aula, foi verificado que o instrumento de demonstração das informações transmitidas se limitava apenas aos displays LCD dos painéis de controle. Ao pesquisar no site do fabricante, obtemos a informação que haveria um software de apoio para medições no processo de comunicação, no entanto, este software não estava disponível, além de que, não ficou claro o tipo de cabo utilizado para estabelecer a comunicação. Sendo assim, buscando melhorar a visualização dos sinais elétricos envolvidos no processo de comunicação, de forma a corroborar com a teoria de sinais e sistemas de comunicação, estudadas em sala de aula, foi proposto realizar um estudo sobre os circuitos eletrônicos atuantes no processo de modulação e demodulação nas bases do kit.

Ao desmontar o painel de transmissão, foi possível identificar as conexões advindas do circuito responsável por gerar os sinais de mensagem $m(t)$. Devido ao fato do sistema possuir componentes e circuitos integrados sem identificação (na verdade, as os códigos de referências dos CI's foram raspados), propomos montar um circuito de seleção do sinal de mensagem, para permitir que os usuários pudessem enviar mensagens externas, gerados por exemplo, por um circuito gerador de sinais. O circuito proposto é demonstrado na figura 22.

Utilizando uma chave de seleção, e terminais elétricos de rosca, o circuito foi montado conforme o esquema. Os componentes utilizados são mostrados na figura 23a, o processo foi registrado e é demonstrado na figura 23b.

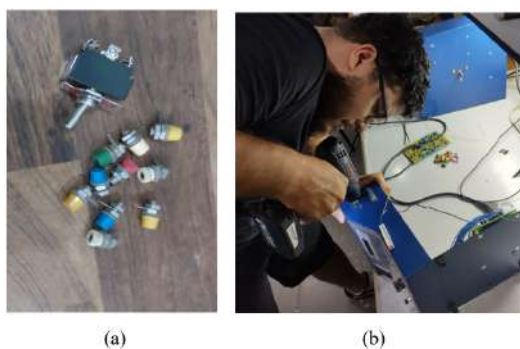
Na figura 24 são mostrados os resultados da instalação do circuito de seleção e entrada de sinal externo de mensagem.

Figura 22 – Circuito da chave de seleção do sinal de mensagem $m(t)$ externo.



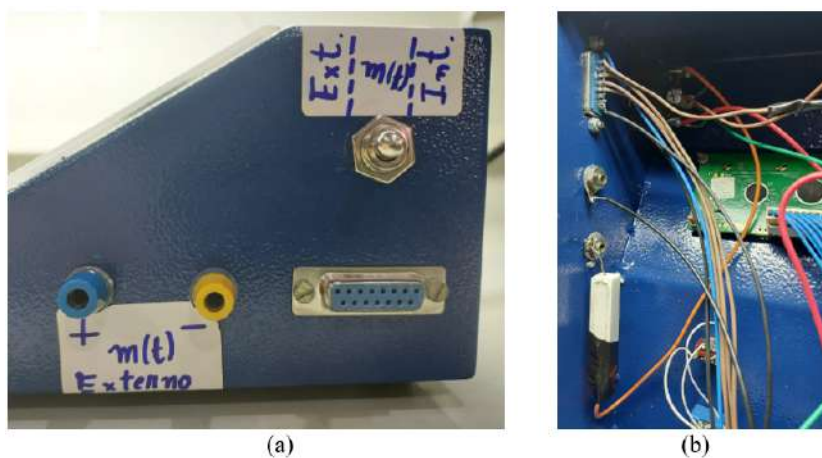
Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Processos de implementação de melhorias (a) componentes usados; (b) fixação dos componentes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 24 – (a) Melhoria implementada; (b) Ligações internas da melhoria proposta.

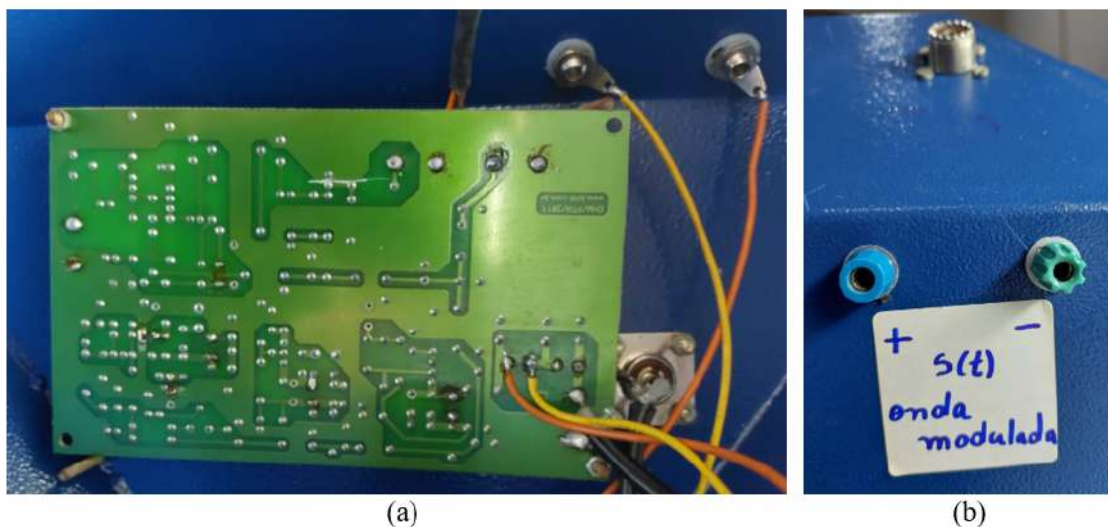


Fonte: Autoria própria.

Após a análise do sinal de mensagem gerado pelo circuito interno do painel de transmissão, verificamos que os limites de tensão são de 0 a 5V.

Para tornar possível a medição do sinal modulado $s(t)$, propomos uma ligação para tornar externa o sinal no estágio de saída, por meio de uma ligação dos terminais de saída em paralelo com o penúltimo indutor do circuito, antes da ligação com o conector coaxial da antena. A ligação foi realizada na parte intermediária entre o amplificador RF e a saída do diagrama da figura 21. O resultado da ligação como melhoria é demonstrado na figura 25.

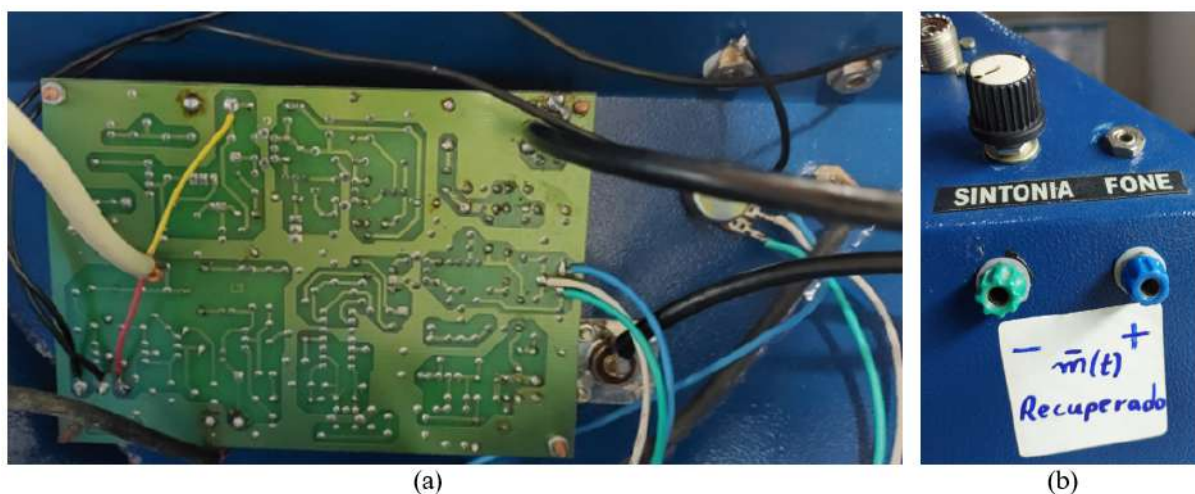
Figura 25 – (a) Melhoria implementada; (b) Ligações internas da melhoria proposta.



Fonte: Autoria própria.

Na base receptora, propomos uma ligação para tornar externo o sinal de mensagem recuperado, após o processo de demodulação. O resultado da melhoria é demonstrado na figura 26.

Figura 26 – (a) Melhoria implementada; (b) Ligações internas da melhoria proposta.



Fonte: Autoria própria.

Umas das funções próprias do kit de telecomunicações da bit9 é o envio da mensagem textual "Teste de do kit didatico Bit9 !", gerada no painel de transmissão, transmitida por

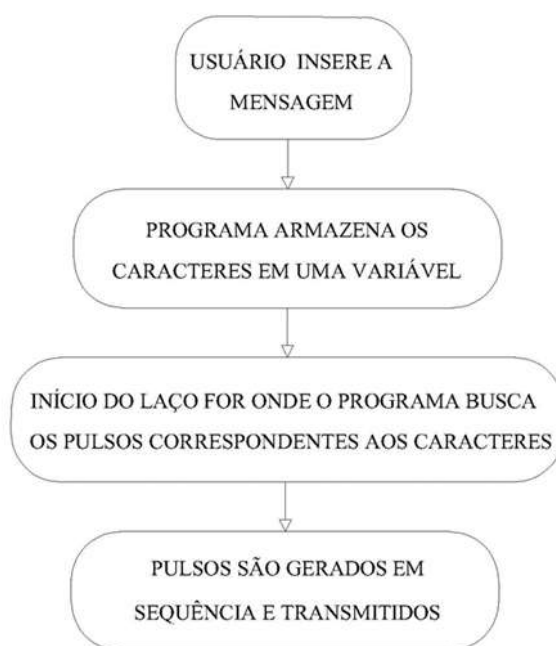
comunicação FM, demodulada na base receptora, e então demonstrada no display LCD do painel de controle de recepção. Com o objetivo de possibilitar o envio de mensagens textuais diferente usando o kit de comunicação, propomos gerar um código em linguagem C++ para permitir que as mensagens fossem enviadas a partir do Arduino, e lidas no display do painel de controle de recepção.

Ao estudar o sinal original gerado pelo painel de controle de transmissão, verificou-se que cada caractere era representado por uma palavra de código de 8 bits, com tempo de bit de 2,5ms, cada palavra de código enviada com intervalo de 80ms. Assim, utilizando o Arduino, propomos um mapeamento para descobrir as palavras de código de 8 bits que geram cada caractere alfanumérico no painel de recepção. A lista de códigos de 8 bits associados a cada caractere alfanumérico é deixada no apêndice A.

A partir da identificação, foi proposto um código em C++, onde ao se digitar uma frase no monitor serial da IDE do Arduino, e então pressionar enter (composta por caracteres alfanuméricos reconhecidos), gera na porta 4 um sinal elétrico serial, com nível alto para os bits 1, e nível baixo para os bits 0, sendo 8 bits para cada caractere, com duração de 20ms, com intervalo entre palavras de código em 100ms (sendo possível o ajuste). O código em C++ é deixado no apêndice B.

O diagrama de blocos da figura 27 resume o processo de conversão de frase alfanumérica em sinais elétricos pulsados.

Figura 27 – Diagrama de blocos do código em C++.



Fonte: Autoria própria.

No código (apêndice B) foram inseridas todas as variáveis de caracteres simbólico e alfa numéricos, declaradas na forma de variáveis do tipo inteira, contendo neste um total de

86 variáveis. Após a declaração destas variáveis, cria-se uma matriz para armazenamento dos valores declarados. Cada caractere é associado a um numero binário de 8 bits.

Após o usuário inserir a mensagem desejada no sistema, um vetor armazena a frase na forma de um conjunto de caracteres (incluindo espaços em branco), e então conta o número de caracteres. Um laço de contagem realiza um numero de iterações igual ao numero de caracteres, onde em cada iteração, temos laços de condição verificando a qual caractere no arranjo, o caractere digitado equivale, assim, ao encontrar o equivalente, o código roda um laço de contagem para gerar os 8 pulsos associados ao numero binário. Caso não seja enviado nenhuma mensagem, o sinal enviado pela porta 4 se mantém em 01000010, que é o código do espaço em branco.

Buscando a avaliação do diagrama de radiação das antenas, propomos imprimir um disco transferidor para verificação manual da rotação das hastes de apoio das antenas. Isso foi feito por conta da imprecisão do sistema de controle de rotação que os painéis de transmissão e recepção apresentaram. Os discos são apresentados na figura 28.

Figura 28 – Discos transferidores em mdf para medição de rotação.



Fonte: Autoria própria.

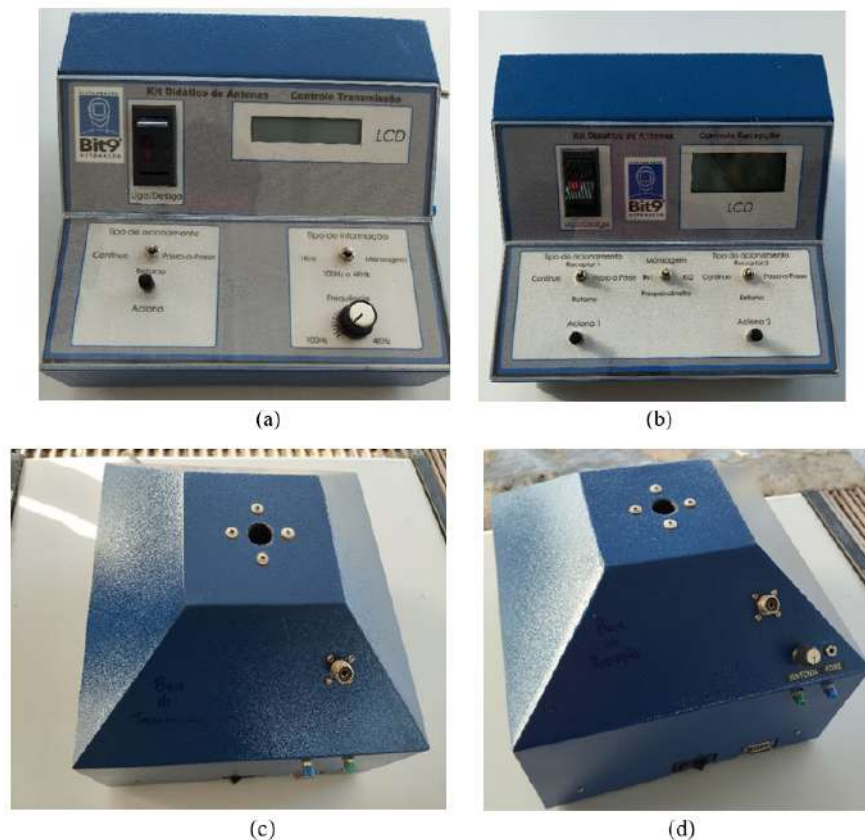
4 Resultados

O capítulo a seguir apresenta os resultados obtidos a partir da execução dos procedimentos estabelecidos nos roteiros experimentais, propostos no capítulo 3. Em sua maioria, os procedimentos foram realizados no estacionamento do Campus Universitário de Tucuruí da UFPA, pelo autor deste trabalho, e auxiliado pelos integrantes do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado - LEMAG, do CAMTUC.

4.1 Procedimento experimental 1

A identificação dos itens que se pede no procedimento 1 se dá de forma simples. Além das identificações em cada um dos elementos, é possível notar também características determinantes na escolha. Por exemplo, é fácil identificar a base de recepção por conta da presença do potenciômetro usado para sintonia. Outro exemplo é o controle da transmissão que permite a escolha da informação que será transmitida. A figura 31 apresenta os componentes identificados.

Figura 29 – Componentes identificados (a) Painel de controle de transmissão; (b) Painel de controle de recepção; (c) base de transmissão; (d) base de recepção.



Fonte: Autoria própria.

No procedimento 2, para calcular o comprimento de onda de radiação, basta calcular a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a frequência da onda portadora, utilizando a equação (17).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (17)$$

onde $u = 3 \times 10^8 m/s$, e a frequência da portadora é $f = 108 MHz$, o que resulta em um comprimento de onda $\lambda = 2,77m$.

No procedimento 3, para a montagem da antena de três elementos, ilustrada na figura 29, é necessário calcular os parâmetros R , I , D e S . Os elementos A e B já são fornecidos no roteiro. Os 4 (quatro) parâmetros anteriores são calculados em função do comprimento de onda λ fornecidas no roteiro. Para o comprimento de onda em questão, obtemos $R \approx 489,72mm$, $I \approx 449,72mm$, $D \approx 389,81mm$ e $S \approx 579,81mm$. A partir dos valores calculados, e do esquemático de montagem, foi possível dispor as antenas em suas bases de recepção e transmissão, a uma distância de 30 metros, conforme o procedimento 4 (figura 35).

Figura 30 – Antenas montadas e posicionadas nas bases de transmissão; (b) recepção.



Fonte: Autoria própria.

Para o procedimento 5, as conexões foram realizadas utilizando uma extensão de 40 metros para energizar tanto a base de recepção, quanto o painel de recepção. Foram utilizadas duas extensões menores para conectar, uma à base de transmissão e a outra para o painel de transmissão.

Seguindo o procedimento 6, os painéis e bases de transmissão e recepção foram ligados. Após enviar o comando de retorno, os eixos das barras de fixação retornaram à posição inicial em um ângulo de 0° de referência. Percebemos que cada vez que o kit é montado, aparentemente o sistema de controle de rotação perde sua referência, por isso, foi importante primeiramente encontrar a posição de referência do controle, em seguida, ajustar manualmente a posição das antenas, por meio dos parafusos de fixação da antena (figura 36).

É importante ressaltar que, até o momento ainda não havia sido feita a conexão dos cabos coaxiais das antenas às bases, para evitar que eles prendessem, o que poderia gerar o rompimento dos cabos. Em outras palavras, caso os cabos coaxiais estivessem conectados durante o movimento do eixo, eles poderiam travar de forma abrupta e danificar as conexões.

Figura 31 – Parafusos de fixação do suporte da antena no mastro de fixação.



Fonte: Autoria própria.

No procedimento 7, os cabos coaxiais das antenas foram conectados às bases de recepção e transmissão. Durante o procedimento 8, nos certificamos que a chave seletora responsável por definir o sinal enviado por fonte interna ou externa, estivesse ajustada para a posição da direita, definida para fonte de sinal interno, conforme figura 37.

Figura 32 – Ajuste na chave seletora lateral do controle de transmissão.



Fonte: Autoria própria.

Para o procedimento 9, os discentes que estavam participando do experimento dividiram-se para que cada um pudesse operar a base de transmissão e de recepção. No procedimento 10, a chave seletora do tipo de informação foi setada para um sinal monotônico de 1 kHz na transmissão.

Na recepção, a sintonia foi ajustada para que a frequência de 1 kHz fosse ouvida através dos fones em sua maior intensidade e clareza, livre de ruído consideráveis. Conforme o procedimento 11, foram produzidos os ajustes no controle de recepção e registrada as informações de frequência e amplitude de tensão no display, como observado na figura 38.

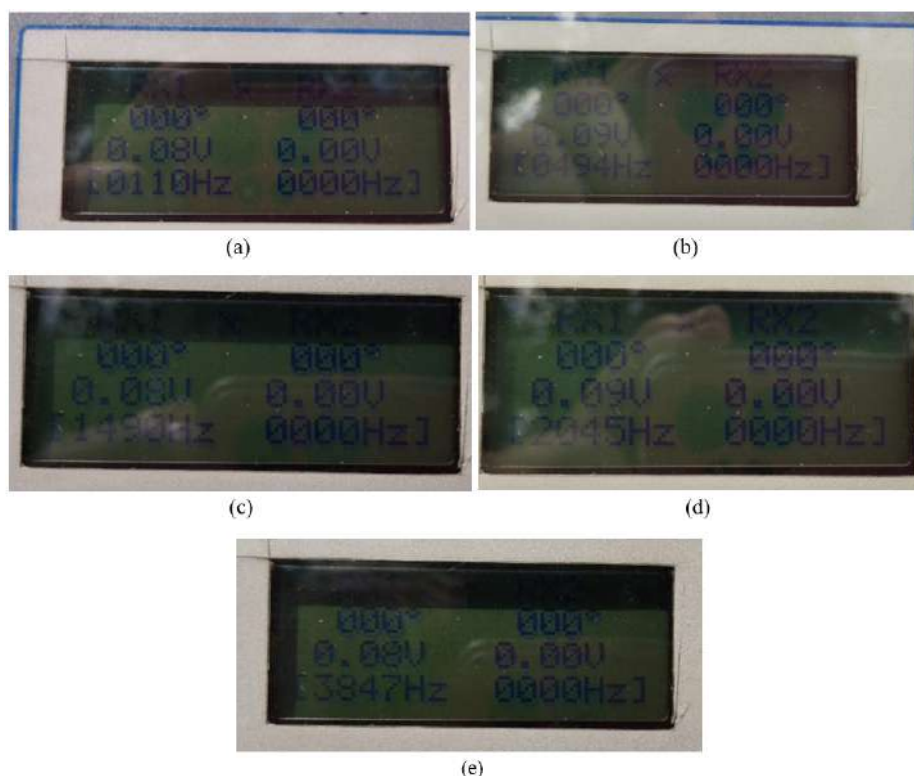
Figura 33 – Informações de frequência e amplitude de tensão no display do controle de recepção.



Fonte: Autoria própria.

No procedimento 12, em função dos ajustes de chave produzidos no controle de transmissão, ou seja, variação da frequência, foi possível ouvir diferentes tons. À medida que a frequência aumentava, os sons no fone de ouvido tornavam-se cada vez mais agudos, partindo de um som mais grave. De acordo com o procedimento 13, os sinais para as frequências de 100 Hz, 506 Hz, 1520 Hz, 2145 Hz e 4139 Hz foram enviados através do controle de transmissão. A figura 39 reúne as imagens registradas no painel de controle de recepção para cada sinal de frequência enviado.

Figura 34 – Amplitudes e frequências no display do controle de recepção, para os sinais enviados com frequência: (a) 100 Hz; (b) 506 Hz; (c) 1520 Hz; (d) 2145 Hz; (e) 4139 Hz.



Fonte: Autoria própria.

Nos procedimentos 14 e 15, a chave de seleção do tipo de informação foi mudada para mensagem, para transmitir a frase alfabética "Teste de transmissão do kit didático Bit9!". Após realizar uma fina sintonia na base de recepção, foi possível registrar por vídeo a mensagem sendo recebida no painel de recepção. A figura 40 ilustra as edições da filmagem.

Figura 35 – Mensagem no visor “Teste de transmissão do kit didático Bit9 !”.



Fonte: Autoria própria.

4.2 Procedimento experimental 2

Para o procedimento 1, as antenas foram dispostas de acordo com o sugerido, a uma distância de 30 metros entre a base de transmissão e a base de recepção, conforme figura 41. A conexão exigida entre os cabos e os painéis também foi realizada, podendo ser observado o registro da disposição da antena transmissora na figura 41.

Figura 36 – Disposição da antena e conexão dos cabos à base de transmissão.



Fonte: Autoria própria.

Após a configuração exigida no procedimento 2, o sinal de onda quadrada foi ajustado com $V_{pp} = 5V$, $V_{offset} = 2,5V$ e $f = 500Hz$. Observa-se na figura 42 a conexão dos cabos do gerador de sinais à entrada de sinal externo localizada na lateral do painel de transmissão.

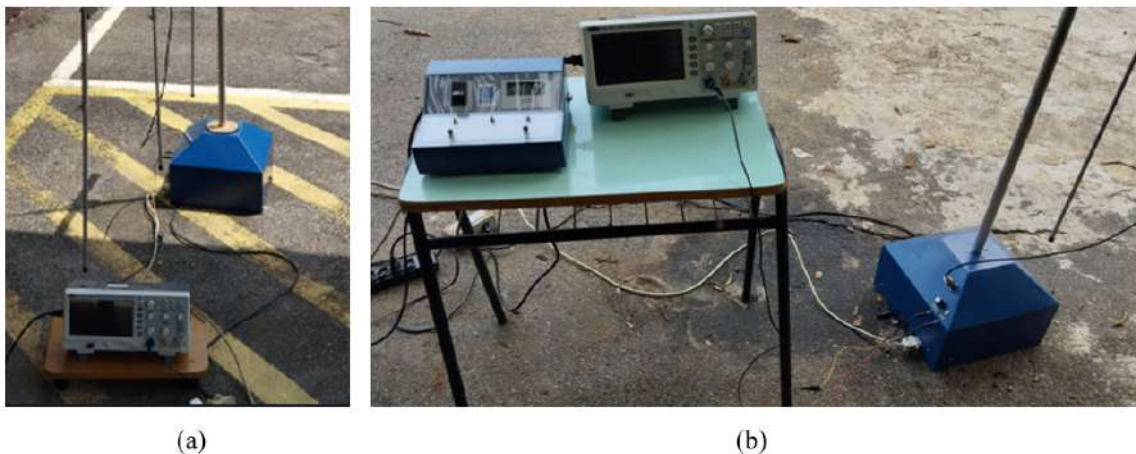
Figura 37 – Conexão dos cabos do gerador de sinais à entrada de sinal externo e ajuste da chave de seleção para "sinal externo".



Fonte: Autoria própria.

Para os procedimentos 3 e 4, as pontas de prova dos osciloscópios foram conectadas aos terminais de saída do sinal modulado na transmissão (figura 43a), e demodulado na recepção (figura 43b).

Figura 38 – Conexão das pontas de prova dos osciloscópios nos terminais de saída do sinal (a) modulado na transmissão; (b) demodulado na recepção.



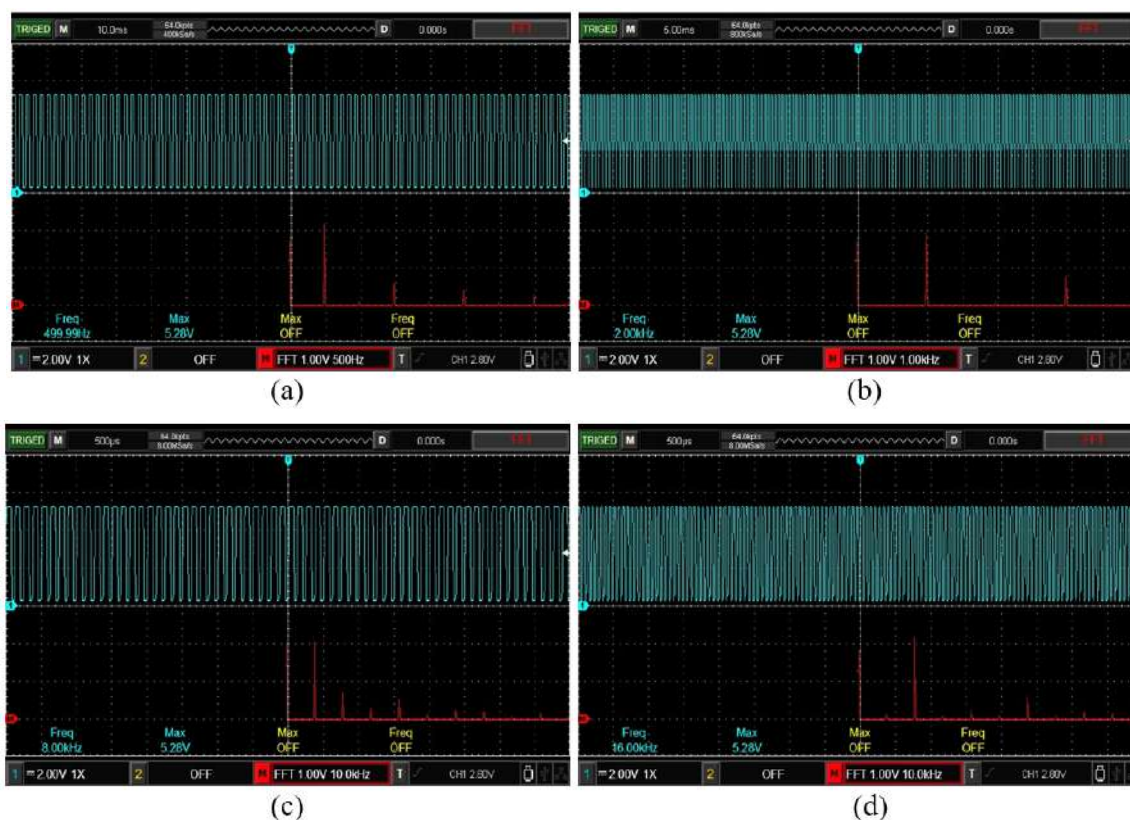
Fonte: Autoria própria.

De acordo com o que é solicitado no procedimento 5, a equipe foi dividida em duas partes. Uma das partes ficou responsável pela operação da estação de transmissão e outra pela estação de recepção. O responsável pelo painel de controle da transmissão fez o acionamento do comando de rotação de 180° da antena.

Os procedimentos 6, 7, 8 e 9 foram realizados através dos ajustes exigidos, sendo possível, através do alinhamento da antena transmissora, obter a melhor conexão diretiva com a antena receptora. Após o ajuste de sintonia, parâmetros de visualização no display do osciloscópio e habilitação da função FFT no mesmo, foram registrados os gráficos dos sinais

medidos (representados em azul) e os gráficos dos espectros de frequência (representados em vermelho), os quais estão apresentados na figura 44a, para o sinal de onda quadrada de frequência de 500Hz. Vale ressaltar que os gráficos foram salvos utilizando em um pendrive através do recurso de exportação de imagem para disco removível via porta USB.

Figura 39 – Registro dos gráficos dos sinais medidos na base de recepção para os sinais de onda quadrada enviados pela base de transmissão, sinais de frequência (a) 500 Hz; (b) 2,00 kHz; (c) 8,00 kHz; (d) 16,00 kHz.



Fonte: Autoria própria.

Seguindo o instruído pelos procedimentos 11, 12 e 13, o sinal de onda quadrada no gerador de funções teve sua frequência aumentada para 2 kHz, 8 kHz, e 16 kHz, os resultados são demonstrados ainda na figura 44.

Podemos notar que, para a faixa de frequência dos sinais de mensagem enviado, não houve distorção do sinal reconstruído na base receptora, sendo mantida a amplitude de 5,28V para todos os casos. Além disso, verificamos uma pequena divergência entre as frequências medidas no osciloscópio e no painel de recepção, sendo que, no painel de recepção os valores lidos pelo frequencímetro foram: 495 Hz, 1980 Hz, 7920 Hz, e 5840 Hz (no caso deste último, suspeitamos que a leitura seja 15840 Hz, sendo limitada a leitura do número de 5 dígitos apenas limitação física do display LCD). A partir dos resultados de FFT, verificamos o aparecimento das componentes dominantes centradas nas frequências naturais dos sinais retangulares, além de harmônicos em múltiplos da natural. Este comportamento é esperado, tendo em vista que trata-se da transformada de um sinal periódico quadrado, que tem transformada semelhante a uma função sinc discreta.

4.3 Procedimento experimental 3

Seguindo o procedimento 1, as bases de transmissão e recepção foram posicionadas conforme apresentado na figura 32, tendo suas partes encaixadas de acordo com o descrito no procedimento. A antena monopolar foi colocada próxima a base receptora, disposição representada na figura 45.

Figura 40 – Disposição da antena receptora.



Fonte: Autoria própria.

Para o procedimento 2, as conexões exigidas entre os cabos, os painéis e as antenas também foram realizadas. Na sequência, foi feito o ajuste da chave de seleção, alternando de "sinal de mensagem" para "sinal interno", conforme exigência do procedimento 3. O procedimento 4 foi seguido tendo sido realizada a divisão da equipe em duas, ficando uma responsável pela operação da estação transmissora e outra para operação da estação receptora. Com base nos procedimentos 5 e 6, foi estabelecida a comunicação padrão usando apenas os painéis de controle de transmissão e recepção, para transmitir a mensagem padrão "Teste de transmissão do kit didático Bit9!"

Seguindo os procedimentos 7 e 8 descritos no roteiro, foi feita a conexão entre o painel de transmissão, arduino uno e notebook, como demonstrado na figura 46.

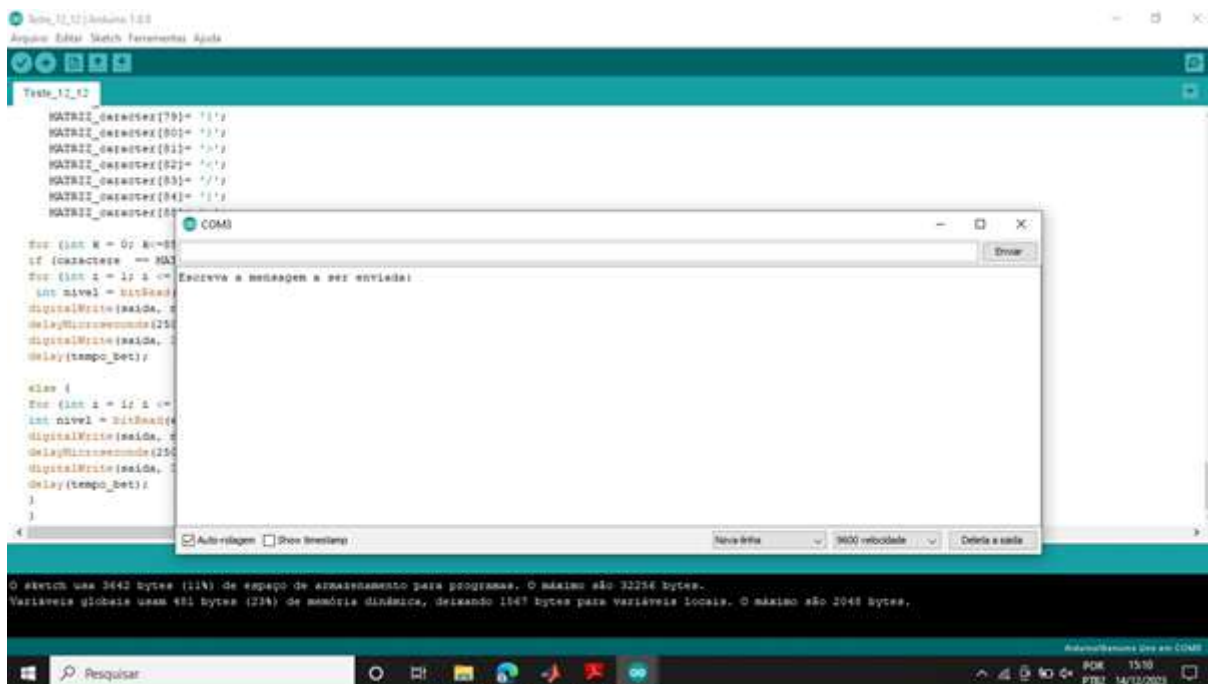
Figura 41 – Conexão entre as partes descritas nos procedimentos 7 e 8.



Fonte: Autoria própria.

Ainda na figura 46 observa-se a conexão do osciloscópio em paralelo aos terminais de "entrada externa". Após a conexão do Arduino à porta USB do notebook, foi processada a verificação e carregamento do código seguindo o procedimento 9. A figura 47 apresenta a interface do monitor serial em que serão enviadas as mensagens.

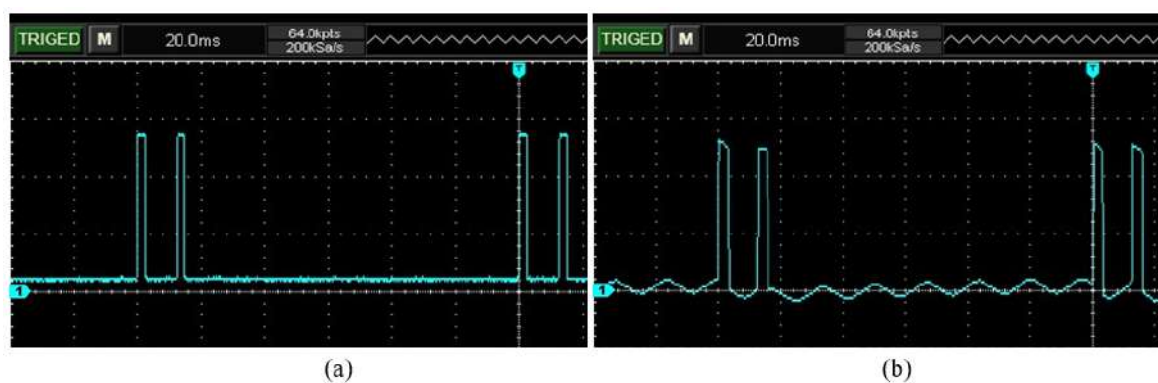
Figura 42 – Interface do monitor serial - IDE Arduino.



Fonte: Autoria própria.

No procedimento de 10 a 12, foram definidas as equipes para operar as estações de transmissão e recepção, que por sua vez fizeram os ajustes de escala nos osciloscópios. Ao energizar os dispositivos, foram verificados os sinais elétricos indicados na figura 48, em cada osciloscópio. Isso ocorre pois, o arduino foi programado para enviar o código 1000010, imprimindo espaços em branco no painel de recepção.

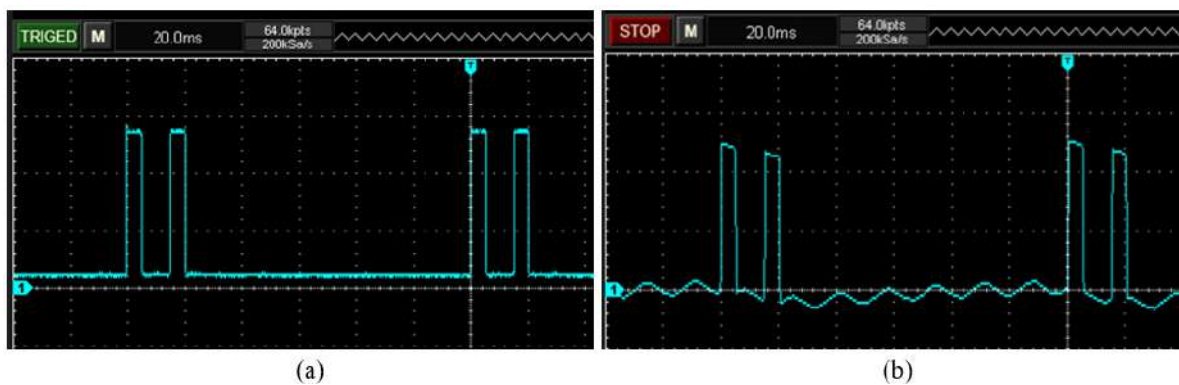
Figura 43 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres de "espaço em branco": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, foi enviada uma mensagem contendo o caracteres "a", conforme exigido no procedimento 13. Os gráficos do sinal enviado, e recebido são mostrados na figura 49. O código binário equivalente ao caractere enviado é 11000011.

Figura 44 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "aaaaaaaa": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.



Fonte: Autoria própria.

Assim como realizado para o caractere "a", foram enviadas mensagens contendo apenas os caracteres "e", "i", "o", e "u", exigidas no procedimento 16.

Figura 45 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "eeeeeeee": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.

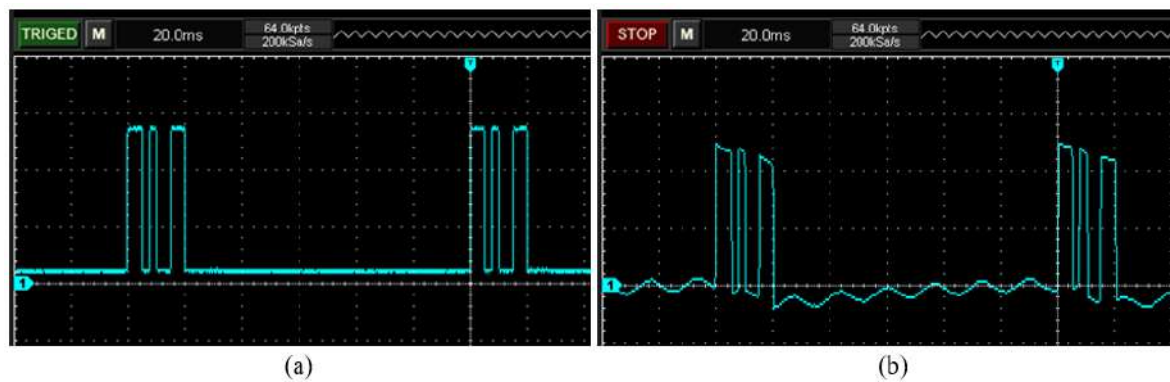


Figura 46 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "iiiiiiii": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.

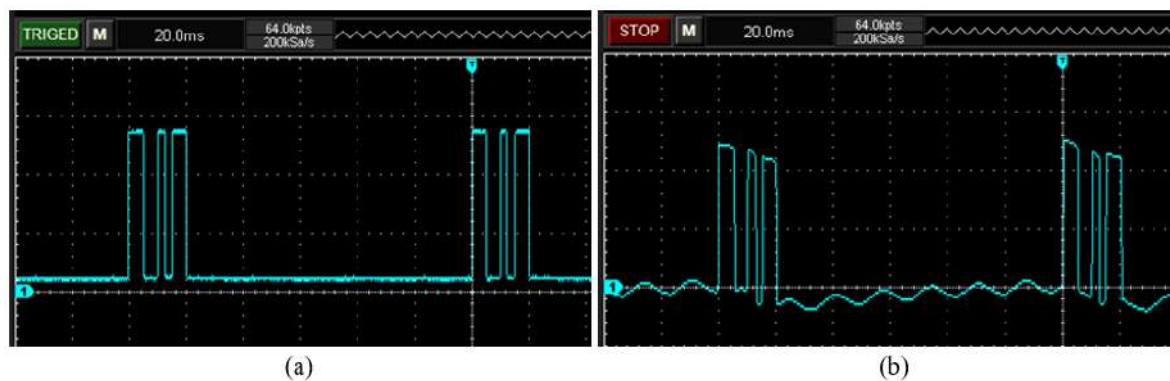


Figura 47 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "oooooooo": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.

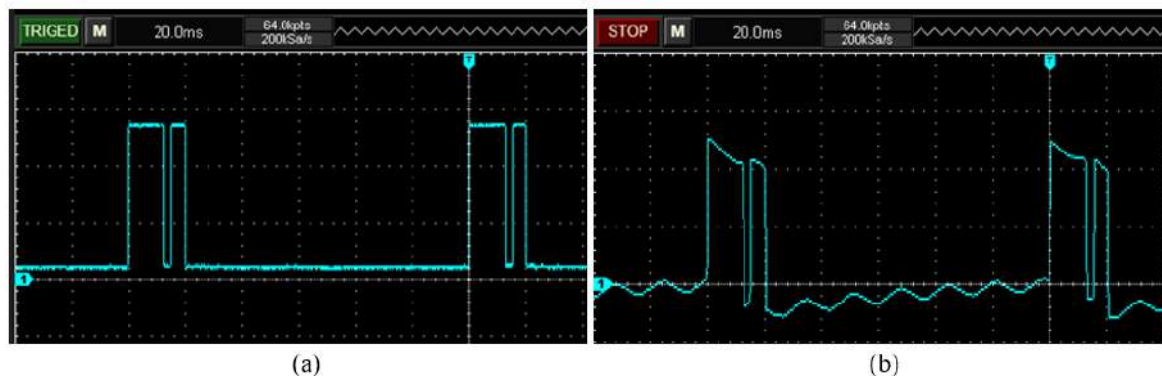
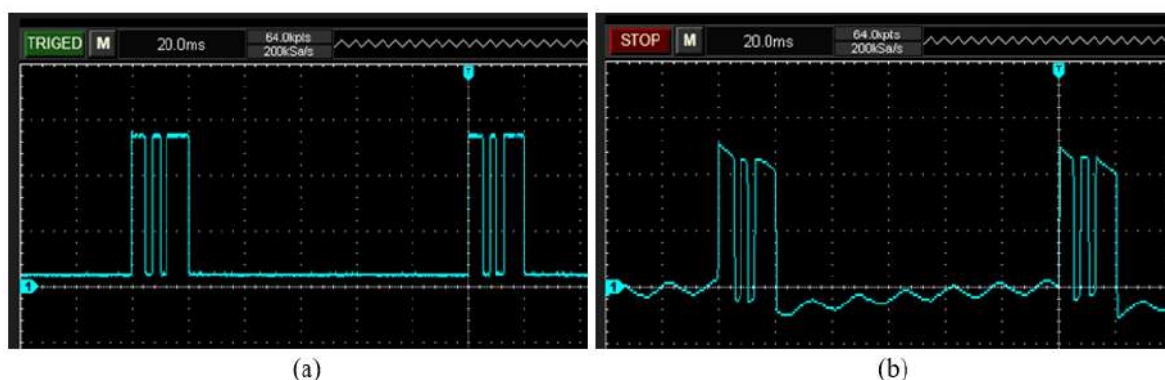


Figura 48 – Gráficas dos sinais elétricos para caracteres "uuuuuuuuuu": (a) sinal enviado pelo arduino; (b) sinal recebido no painel de recepção.

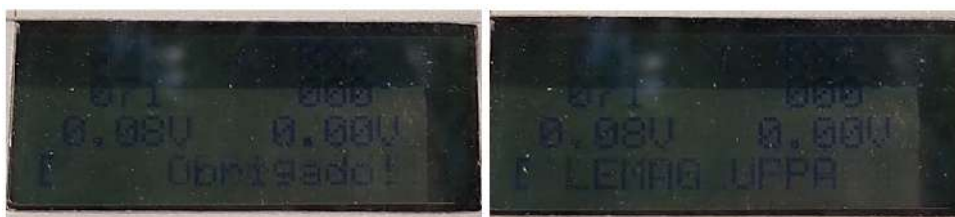


Fonte: Autoria própria.

As imagens gráficas dos sinais enviado e recebido em cada um dos caracteres estão apresentadas respectivamente nas figuras 50, 51, 52 e 53. O código binário equivalente a cada caractere é "e": binário 11001011; "i": binário 11010011; "o": binário 11011111; "u": binário 11101011. A partir dos resultados, é possível estimar o tempo de bit, e o tempo off entre palavras, conforme solicitado no procedimento 17. As estimativas de tempo são: Tempo de bit 2,5 ms; palavra de 1byte tempo de 20 ms; tempo entre palavras 100 ms.

A frase elaborada e enviada pela equipe responsável pelo painel de transmissão foi "Obrigado! LEMAG UFPA". A mesma foi registrada pela equipe responsável pelo painel de recepção, podendo ser observada na figura 54.

Figura 49 – Mensagem enviada: "Obrigado! LEMAG UFPA."



Fonte: Autoria própria.

5 Conclusão

5.1 Considerações finais

Este trabalho possibilitou realizar a melhora de um Kit didático da BIT9 e a elaboração de roteiros experimentais para o aprendizado através de experimentos de telecomunicações. Dentre as melhorias implementadas, tem-se o acesso através de conectores aos sinais processados para envio e recebimento de informação, além disso, a criação de um código em linguagem C++.

O código desenvolvido possibilitou a personalização de mensagem enviadas, uma vez que o kit didático da BIT9 originalmente não permitia a personalização de mensagens de texto através de caracteres alfanuméricos.

Os roteiros experimentais elaborados foram divididos em 3 partes para que em cada um deles fosse possível experimentar características diferentes dos sistemas de telecomunicação, como por exemplo: parâmetros de antenas e processamento de sinais. Tais roteiros objetivaram aproximar os alunos, através da experimentação prática, da compreensão e funcionamento dos sistemas de telecomunicações.

Através dos experimentos, foi possível verificar na prática aspectos abordados anteriormente apenas de forma teórica, possibilitando uma experiência mais profunda sobre a teoria de telecomunicações.

Neste processo de pesquisa, foram encontrados alguns obstáculos. Entre eles, a análise dos circuitos eletrônicos que compõem o kit e a dificuldade em encontrar um local mais apropriado. Para a realização dos experimentos de maneira mais satisfatória, seria ideal um local livre de interferência e de obstáculos que criem reflexão.

De modo geral, é interessante observar que os experimentos práticos, apesar de terem suas diferenças quanto aos aspectos teóricos, servem para afirmá-los. Com isso, os alunos podem observar por uma perspectiva diferente os princípios de telecomunicações.

5.2 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se a busca por um método para medição do diagrama de radiação sem interferências externas; o ajuste do sistema de controle de rotação do eixo do mastro de fixação das antenas; e a implementação e desenvolvimento de um software ou aplicativo, que possibilite o envio e recebimento de mensagens de texto através de computadores e smartphones, como também para aquisição do sinal em tempo real.

Referências

ALMEIDA, N. C. Técnicas de conformação de feixe em arranjo de antenas utilizando aprendizagem de reforço. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação), 2015. Nenhuma citação no texto.

ALVES, A. A. C. Arranjo de Antenas Reconfigurável para 5G utilizando Metamateriais. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Itajubá. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Itajubá. Abril de 2020. Nenhuma citação no texto.

BALANIS, C.A. Antenna Theory: Analysis and Design. 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2005. Citado na página 39.

BULGARONI, R. G. PROJETO DE ANTENAS PLANARES DE BAIXO CUSTO PARA SISTEMAS MULTIBANDA. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Abc, Santo André, 2016 Nenhuma citação no texto.

DE ALMEIDA, M.; DIAS, J. T. Simulador virtual de técnicas de modulação. XXXVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBrT2020). Novembro, 2020. Florianópolis - SC Nenhuma citação no texto.

FERREIRA, K. P. Desenvolvimento de uma biblioteca Python para simulações computacionais de Sistemas de Telecomunicações. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Engenharia de Computação. Natal. 2021 Nenhuma citação no texto.

FRENZEL, L. E. Fundamentos de comunicação eletrônica: modulação, demodulação e recepção. 3 ed. Porto Alegre, 2013. Nenhuma citação no texto.

GRAMI, A. Introduction To Digital Communications. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHING CO INC. Hardback, 2015. Nenhuma citação no texto.

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. Introdução aos sistemas de comunicação. 2ed. Bookman Companhia. Porto Alegre, 2008. Nenhuma citação no texto.

IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. Standard 145-1993, 1993. Nenhuma citação no texto.

LATHI, B.P; DING, Zhi. Sistemas de Comunicações Analógicos e Digitais Modernos. 4ed. LTC. Rio de Janeiro, 2019. Nenhuma citação no texto.

LATHI, B.P. Sinais e sistemas lineares. 2ed. Bookman. Porto Alegre. 2008. Nenhuma citação no texto.

ROZA, R. H. Estilos de aprendizagem e o uso das tecnologias da informação e comunicação (Tese de Doutorado). Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, SP, Brasil. 2017. Nenhuma citação no texto.

SANTIAGO, A. J.; COELHO, K. S.; MACHADO, L. C.; MEDEIROS, L. R. POSICIONADOR AUTOMÁTICO PARA ANTENAS. Trabalho de Conclusão de Curso. Técnico em Eletrotécnica. São José do Rio Preto. 2021. Nenhuma citação no texto.

SOUSA, F. M. Nanofitas de grafeno com bordas armchair e zigzag aplicadas a antenas com substrato pbg na banda THz. Universidade Federal do Pará - Belém, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica na área de Telecomunicações), 2021. Nenhuma citação no texto.

SOUZA, S. L. ANÁLISE E SÍNTESE DE ANTENAS YAGI-UDA E BIQUAD. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso Técnico Integrado em Eletrônica. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE. NATAL - RN. 2017. Nenhuma citação no texto.

STUTZMAN, G. A.; THIELE, W. L. Antenna theory and design. John Wiley & Sons, 3rd Edition. 2012. Nenhuma citação no texto.

YOUNG, P. H. Técnicas de comunicação eletrônica. 5 ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2006. Nenhuma citação no texto.

Apêndices

APÊNDICE A – Lista de caracteres e códigos de 8 bits

Lista de caracteres:

nº Decimal; Caractere; Binário

1	33	Espaço	100001
2	67	!	1000011
3	69	"	1000101
4	71	#	1000111
5	73	\$	1001001
6	75	%	1001011
7	77	&	1001101
8	79	'	1001111
9	81	(1010001
10	83)	1010011
11	85	*	1010101
12	87	+	1010111
13	89	,	1011001
14	91	-	1011011
15	93	.	1011101
16	95	/	1011111
17	97	0	1100001
18	99	1	1100011
19	101	2	1100101
20	103	3	1100111
21	105	4	1101001
22	107	5	1101011
23	109	6	1101101
24	111	7	1101111
25	113	8	1110001
26	115	9	1110011
27	117	:	1110101
28	119	;	1110111
29	121	<	1111001
30	123	=	1111011
31	125	>	1111101
32	127	?	1111111
33	129	@	10000001
34	131	A	10000011

35	133	B	10000101
36	134	!	
37	135	C	10000111
38	137	D	10001001
39	138	"	
40	139	E	10001011
41	141	F	10001101
42	142	#	
43	143	G	10001111
44	145	H	10010001
45	146	\$	
46	147	I	10010011
47	149	J	10010101
48	150	%	
49	151	K	10010111
50	153	L	10011001
51	154	&	
52	155	M	10011011
53	157	N	10011101
54	158	'	
55	159	O	10011111
56	161	P	10100001
57	162	(
58	163	Q	10100011
59	165	R	10100101
60	166)	
61	167	S	10100111
62	169	T	10101001
63	170	*	
64	171	U	10101011
65	173	V	10101101
66	174	+	
67	175	W	10101111
68	177	X	10110001
69	178	,	
70	179	Y	10110011
71	181	Z	10110101
72	182	-	
73	183	[10110111

74	186	.	
75	187]	10111011
76	189	^	10111101
77	190	/	
78	191	_	10111111
79	193	'	
80	194	0	
81	195	a	11000011
82	197	b	11000101
83	198	1	
84	199	c	11000111
85	201	d	11001001
86	202	2	
87	203	e	11001011
88	205	f	11001101
89	206	3	
90	207	g	11001111
91	209	h	11010001
92	210	4	
93	211	i	11010011
94	213	j	11010101
95	214	5	
96	215	k	11010111
97	217	l	11011001
98	218	6	
99	219	m	11011011
100	221	n	11011101
101	222	7	
102	223	o	11011111
103	225	p	11100001
104	226	8	
105	227	q	11100011
106	229	r	11100101
107	230	9	
108	231	s	11100111
109	233	t	11101001
110	234	:	
111	235	u	11101011
112	237	v	11101101

113 238 ;
114 239 w 11101111
115 241 x 11110001
116 242 <
117 243 y 11110011
118 245 z 11110101
119 246 =
120 247 { 11110111
121 249 | 11111001
122 250 >
123 251 } 11111011
124 254 ?

APÊNDICE B – Rotina em C++ para envio de frases alfanuméricas

```
int saida = 4; // Declaração da porta digital de saída onde são gerado os pulsos
// lista de caractere e seus correspondentes binários
// letras
int a = B11000011;
int b = B11000101;
int c = B11000111;
int d = B11001001;
int e = B11001011;
int f = B11001101;
int g = B11001111;
int h = B11010001;
int i = B11010011;
int j = B11010101;
int k = B11010111;
int l = B11011001;
int m = B11011011;
int n = B11011101;
int o = B11011111;
int p = B11100001;
int q = B11100011;
int r = B11100101;
int s = B11100111;
int t = B11101001;
int u = B11101011;
int v = B11101101;
int w = B11101111;
int x = B11110001;
int y = B11110011;
int z = B11110101;
int A = B10000011;
int B = B10000101;
int C = B10000111;
int D = B10001001;
int E = B10001011;
int F = B10001101;
int G = B10001111;
int H = B10010001;
int I = B10010011;
int J = B10010101;
int K = B10010111;
int L = B10011001;
int M = B10011011;
int N = B10011101;
```

```
int O = B10011111;  
int P = B10100001;  
int Q = B10100011;  
int R = B10100101;  
int S = B10100111;  
int T = B10101001;  
int U = B10101011;  
int V = B10101101;  
int W = B10101111;  
int X = B10110001;  
int Y = B10110011;  
int Z = B10110101;  
//números  
int zero = B1100001;  
int um = B1100011;  
int dois = B1100101;  
int tres = B1100111;  
int quatro = B1101001;  
int cinco = B1101011;  
int seis = B1101101;  
int sete = B1101111;  
int oito = B1110001;  
int nove = B1110011;  
//caracteres especiais  
int espaco = B100001; // espaço  
int exclamacao = B1000011; // exclamação  
int ponto = B1011101; // ponto  
int aspdupla = B1000101; // aspas duplas  
int hashtag= B1000111; // jogo da velha  
int cifrao = B1001001; // cifrão  
int porcentagem = B1001011; // porcentagem  
int ecomer = B10011010; // e comercial  
int interrog = B1111111; // interrogação  
int arroba = B10000001; // arroba  
int virgula = B1011001; // virgula  
int doispontos = B1110101; // dois pontos  
int pontoevirgula = B1110111; // ponto e virgula  
int abreparentese = B1010001; // abre parentese  
int fechaparentese = B1010011; // fecha parentese  
int abrecolchete = B10110111; // abre colchete  
int fechacolchete = B10111011; // fecha colchete  
int abrechave = B11110111; // abre chave  
int fechachave = B11111011; // fecha chave  
int maior = B11111010; // sinal de maior  
int menor = B11110010; // sinal de menor  
int barra = B1011111; // barra  
int barravert = B11111001; // barra vertical
```

```
int undline = B10111111; // underline

int MATRIZ_bin[86] = {a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o,p,q,r,s,t,u,v,w,x,y,z,A,B,C,D,E,F,G
,H,I,J,K,L,M,N,O,P,Q,R,S,T,U,V,W,X,Y,Z,zero,um,dois,tres,quatro,cinco,seis,sete,oito,
nove,espaco,exclamacao, ponto, aspdupla, hashtag, cifrao, porcentagem, ecomer, interrog,
arropa, virgula, doispontos, pontoevirgula, abreparentese, fechaparentese, abrecolchete,
fechacolchete, abrechave, fechachave, maior, menor, barra, barravert,undline};
char MATRIZ_caracter[86];

int tempo_bet = 100; // Define o intervalo de tempo entre (between) palapara de 8 bits
char caractere; // Recebe o conjunto de caracteres na frase escrita no monitor serial

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(saida, OUTPUT); // configura o pino digital 4 como saída
  Serial.println("Escreva a mensagem a ser enviada:");
}

void loop() {
  if (Serial.available()){
    caractere = Serial.read(); // Executa a leitura do que foi escrito no monitor serial
    Serial.print(caractere);
  // Serial.println(Serial.available());
    MATRIZ_caracter[0]='a';
    MATRIZ_caracter[1]='b';
    MATRIZ_caracter[2]='c';
    MATRIZ_caracter[3]='d';
    MATRIZ_caracter[4]='e';
    MATRIZ_caracter[5]='f';
    MATRIZ_caracter[6]='g';
    MATRIZ_caracter[7]='h';
    MATRIZ_caracter[8]='i';
    MATRIZ_caracter[9]='j';
    MATRIZ_caracter[10]='k';
    MATRIZ_caracter[11]='l';
    MATRIZ_caracter[12]='m';
    MATRIZ_caracter[13]='n';
    MATRIZ_caracter[14]='o';
    MATRIZ_caracter[15]='p';
    MATRIZ_caracter[16]='q';
    MATRIZ_caracter[17]='r';
    MATRIZ_caracter[18]='s';
    MATRIZ_caracter[19]='t';
    MATRIZ_caracter[20]='u';
    MATRIZ_caracter[21]='v';
    MATRIZ_caracter[22]='w';
    MATRIZ_caracter[23]='x';
```

```
MATRIZ_caracter[24]='y';
MATRIZ_caracter[25]='z';
MATRIZ_caracter[26]='A';
MATRIZ_caracter[27]='B';
MATRIZ_caracter[28]='C';
MATRIZ_caracter[29]='D';
MATRIZ_caracter[30]='E';
MATRIZ_caracter[31]='F';
MATRIZ_caracter[32]='G';
MATRIZ_caracter[33]='H';
MATRIZ_caracter[34]='I';
MATRIZ_caracter[35]='J';
MATRIZ_caracter[36]='K';
MATRIZ_caracter[37]='L';
MATRIZ_caracter[38]='M';
MATRIZ_caracter[39]='N';
MATRIZ_caracter[40]='O';
MATRIZ_caracter[41]='P';
MATRIZ_caracter[42]='Q';
MATRIZ_caracter[43]='R';
MATRIZ_caracter[44]='S';
MATRIZ_caracter[45]='T';
MATRIZ_caracter[46]='U';
MATRIZ_caracter[47]='V';
MATRIZ_caracter[48]='W';
MATRIZ_caracter[49]='X';
MATRIZ_caracter[50]='Y';
MATRIZ_caracter[51]='Z';
MATRIZ_caracter[52]='0';
MATRIZ_caracter[53]='1';
MATRIZ_caracter[54]='2';
MATRIZ_caracter[55]='3';
MATRIZ_caracter[56]='4';
MATRIZ_caracter[57]='5';
MATRIZ_caracter[58]='6';
MATRIZ_caracter[59]='7';
MATRIZ_caracter[60]='8';
MATRIZ_caracter[61]='9';
MATRIZ_caracter[62]=' ';
MATRIZ_caracter[63]='!';
MATRIZ_caracter[64]='.';
MATRIZ_caracter[65]='\"';
MATRIZ_caracter[66]='#';
MATRIZ_caracter[67]='$';
MATRIZ_caracter[68]='%';
MATRIZ_caracter[69]='&';
MATRIZ_caracter[70]='?';
```

```
MATRIZ_caracter[71]= '@';
MATRIZ_caracter[72]= ',';
MATRIZ_caracter[73]= ':';
MATRIZ_caracter[74]= ';';
MATRIZ_caracter[75]= '(';
MATRIZ_caracter[76]= ')';
MATRIZ_caracter[77]= '[';
MATRIZ_caracter[78]= ']';
MATRIZ_caracter[79]= '{';
MATRIZ_caracter[80]= '}';
MATRIZ_caracter[81]= '>';
MATRIZ_caracter[82]= '<';
MATRIZ_caracter[83]= '/';
MATRIZ_caracter[84]= '|';
MATRIZ_caracter[85]= '_';

for (int k = 0; k<=85; k++) {
if (caractere == MATRIZ_caracter[k]) {
for (int i = 1; i <= 8; i++){
int nivel = bitRead(MATRIZ_bin[k],i-1);
digitalWrite(saida, nivel); // ativa o pino digital 5
delayMicroseconds(2500);    }
digitalWrite(saida, LOW); // desativa o pino digital 5 entre um pulso e outro
delay(tempo_bet);
        } } }

else {
for (int i = 1; i <= 8; i++){
int nivel = bitRead(espaco,i-1);
digitalWrite(saida, nivel); // ativa o pino digital 5
delayMicroseconds(2500);    }
digitalWrite(saida, LOW); // desativa o pino digital 5 entre um pulso e outro
delay(tempo_bet);
}
}
```

APÊNDICE C – Roteiros Experimentais

C.0.1 Roteiro 1: Conhecendo o Kit de Telecomunicações da Bit9

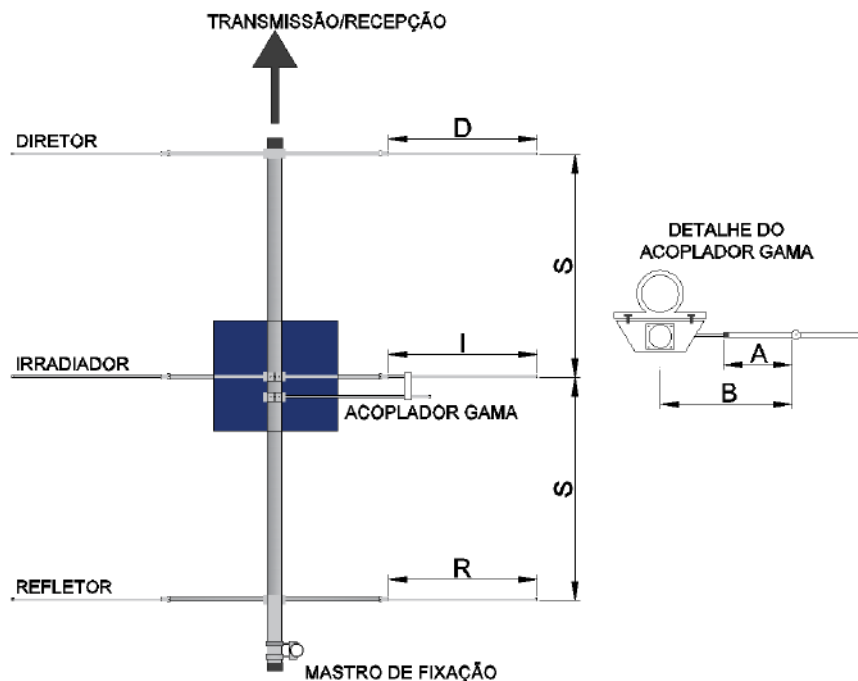
O roteiro a seguir tem como objetivo permitir que os discentes conheçam as partes funcionais do kit de telecomunicações da Bit9, e a partir da instalação adequada do sistema de comunicação, possam realizar o envio dos sinais de mensagem gerados pelo painel de transmissão do kit. Os procedimentos a seguir devem ser realizados em equipe, observando sempre a responsabilidade com a segurança dos envolvidos, e dos equipamentos utilizados. Busque anotar informações importantes, e procure registrar os procedimentos por meio de fotos apenas quando for solicitado. Para realização dos procedimentos, os discentes deverão utilizar as seguintes ferramentas: uma extensão de 30 metros, uma extensão de 10 metros, uma trena, uma chave de fenda, uma chave fixa de 11mm e uma chave fixa de 9mm.

1. Identifique, registrando por meio de fotos, a base receptora, a base transmissora, o painel de controle de transmissão, e o painel de controle de recepção. Justifique os critérios utilizados para identificação de cada parte do sistema.

2. Sabendo que a frequência da portadora é de 108 MHz, calcule o comprimento de onda de radiação.

3. Seguindo o esquema da figura 29, utilizando uma trena, uma chave de fenda, uma chave fixa de 11mm e uma chave fixa de 9mm, monte duas antenas direcionais de 3 elementos para comunicação FM.

Figura 50 – Esquemático de montagem da antena de três elementos.



Fonte: Autoria própria.

Na figura 28, $R = 291,5\lambda - 320$ é o comprimento de um dos braços do elemento refletor, $I = 291,5\lambda - 360$ é o comprimento de um dos braços do elemento irradiador, que fica diretamente acoplado à antena monopolo na configuração Γ , $D = 194,3\lambda - 150$ é o comprimento de um dos braços do elemento diretor, $S = 194,3\lambda + 40$ é o espaçamento entre os elementos da antena, $A = 170\text{mm}$ e $B = 295\text{mm}$ são

13. Repita o procedimento 11 para as frequências $f_{mensagem} = 506 \text{ Hz}$, 1520 Hz , 2145 Hz , 4139 Hz .

14. No controle de transmissão, movimente a chave seletora do "tipo de informação" para a direita e observe a "mensagem" recorrente no visor LCD "Teste de transmissão do kit didático Bit9!". Registre por meio de vídeo para produzir uma única figura contendo toda a informação registrada.

15. No painel de recepção, ajuste a chave seletora de mensagem para o canal Rx1. Observe se a mensagem citada anteriormente é recebida com fidelidade. Caso contrário, ajuste a sintonia para que o sinal seja recebido corretamente. Registre por meio de vídeo para produzir uma única figura contendo toda a informação registrada.

Observação: Mantenha as antenas montadas conforme o procedimento 3, para que estas sejam utilizadas nos experimentos descritos nos roteiros 2 e 3.

C.0.2 Roteiro 2: Medição de Sinais Elétricos no Processo de Comunicação

O roteiro a seguir tem como objetivo permitir que os discentes possam transmitir os sinais de um gerador de funções por meio do kit de comunicação, e então utilizando o osciloscópio, realizar a medição dos sinais intermediários do processo de modulação e demodulação FM.

O procedimento a seguir deve ser realizado em equipe, observando sempre a responsabilidade com a segurança dos envolvidos, e dos equipamentos utilizados. Busque anotar informações importantes, e procure registrar os procedimentos por meio de fotos apenas quando for solicitado. Para realização dos procedimentos, os discentes deverão utilizar as seguintes ferramentas: uma extensão de 30 metros, uma extensão de 10 metros, um gerador de sinais e dois osciloscópios.

1. Posicione as bases de recepção e transmissão a uma distância de 30 metros, em seguida, encaixe as hastes de apoio das antenas em cada base. Conecte os cabos mangas 16x26AWG aos painéis de controle de transmissão e recepção, em seguida, energize todo o equipamento, e então aperte o botão "Aciona" com as chaves "Tipo de acionamento" na posição "Retorno". Desenergize todo o equipamento, posicione as bases de transmissão e recepção conforme a figura 31, e por fim, conecte os cabos coaxiais para ligar as antenas às bases de transmissão e recepção. Registre a disposição da antena transmissora.

Figura 52 – Disposição das antenas para o experimento 2.



Fonte: Autoria própria.

2. Configure o gerador de sinais para produzir uma onda quadrada de frequência $f_{mensagem} = 500 \text{ Hz}$, com amplitude de 0 a 5V, não ative o sinal do canal ainda. Conecte os cabos do gerador de sinais à "entrada de sinal externo" na lateral do painel de transmissão, em seguida, ajuste a chave de seleção do "sinal de mensagem" para "sinal externo".

3. Conecte as pontas de prova de um osciloscópio nos terminais de "saída do sinal modulado" na base de transmissão.

4. Conecte as pontas de prova de um segundo osciloscópio nos terminais de "saída do sinal demodulado" na base de recepção.

5. Divida a equipe em duas, uma para operar a estação transmissora, e a outra para operar a estação receptora. Solicite que o responsável pelo painel de controle de transmissão dê um comando de rotação de 180° para a antena transmissora. Para isso, utilize o "tipo de acionamento contínuo", alinhando a antena transmissora para obter melhor conexão diretiva com a antena receptora.

6. Energize todo o equipamento por meio dos botões de ligar/desligar dos painéis e bases de recepção e transmissão, em seguida, ative o sinal no canal 1 do gerador de funções, e então ajuste a detecção dos sinais nos osciloscópios.

7. A equipe na estação receptora deve ajustar a sintonia até obter uma representação de um sinal de onda quadrada no osciloscópio 2.

8. Com os pendrives inseridos nos osciloscópios, e após ajustar os gráficos adequadamente, registre os gráficos dos sinais medidos, salvando nos pendrives.

9. Utilize a função FFT nos osciloscópios para obter o espectro de Fourier dos sinais registrados no item 8. Registre os gráficos dos espectros de amplitude, salvando nos pendrives.

10. No gerador de sinais, aumente a frequência do sinal de onda quadrada para $f_{mensagem} = 2$ kHz, repita os procedimentos 8 e 9.

11. No gerador de sinais, aumente a frequência do sinal de onda quadrada para $f_{mensagem} = 8$ kHz, repita os procedimentos 8 e 9.

12. No gerador de sinais, aumente a frequência do sinal de onda quadrada para $f_{mensagem} = 16$ kHz, repita os procedimentos 8 e 9.

13. Compare os gráficos obtidos nos procedimentos 8 a 9 para os quatro sinais de mensagem enviados, explique os comportamentos dos sinais transmitidos, e relacione os sinais no domínio do tempo e da frequência.

C.0.3 Roteiro 3: Enviando mensagens de texto com o Arduino

O roteiro a seguir tem como objetivo permitir que os discentes possam transmitir pelo sistema de comunicação, mensagens utilizando caracteres alfanuméricos codificados em código de 8 bits, utilizando uma rotina em C++ desenvolvido na IDE do Arduino.

O procedimento a seguir deve ser realizado em equipe, observando sempre a responsabilidade com a segurança dos envolvidos, e dos equipamentos utilizados. Busque anotar informações importantes, e procure registrar os procedimentos por meio de fotos apenas quando for solicitado. Para realização dos procedimentos, os discentes deverão utilizar as seguintes ferramentas: uma extensão de 30 metros, uma extensão de 10 metros, um arduino uno conectado a um notebook por meio de um cabo serial, e dois osciloscópios.

1. Posicione as bases de recepção e transmissão a uma distância de 30 metros, em seguida, encaixe a haste de apoio da antena de 3 elementos na base transmissora, e posicione a antena monopolar próxima a base receptora, como indicado na figura 32. Registre a disposição da antena receptora.

2. Conecte os cabos mangas 16x26AWG aos painéis de controle de transmissão e recepção, em seguida, energize todo o equipamento, e então aperte o botão "Aciona" com a chave "Tipo de acionamento" na posição "Retorno", no painel de transmissão. Desenergize todo o equipamento, posicione ajuste manualmente a antena para ficar na disposição da figura 32, e por fim, conecte os cabos coaxiais para

Figura 53 – Disposição das antenas para o experimento 3.



Fonte: Autoria própria.

ligar as antenas às bases de transmissão e recepção.

3. Na lateral do painel de controle da transmissão, ajuste a chave de seleção do "sinal de mensagem" para "sinal interno".

4. Divida a equipe em duas, uma para operar a estação transmissora, e a outra para operar a estação receptora.

5. Energize todo o equipamento por meio dos botões de ligar/desligar dos painéis e bases de recepção e transmissão, em seguida, no painel de controle de transmissão ajuste a chave "tipo de informação" para "mensagem".

6. Estabeleça a comunicação entre a base transmissora e receptora, realizando a devida sintonia do circuito de recepção. Assim que a mensagem "Teste de transmissão do kit didático Bit9!" for visualizado no painel de controle de recepção, desenergize os painéis.

7. Conecte as pontas de prova de um osciloscópio nos terminais de "saída do sinal demodulado" na base de recepção.

8. Na lateral do painel de controle da transmissão, ajuste a chave de seleção do "sinal de mensagem" para "sinal externo", em seguida, conecte o gnd do arduino e a porta 4 nos terminais de "entrada externa" do painel de controle de transmissão. Conecte o arduino por meio de um cabo serial ao notebook com a IDE do arduino (figura 33). Por fim, conecte um segundo osciloscópio em paralelo aos terminais de "entrada externa". Registre a conexão entre as partes.

Figura 54 – Conexão entre o Arduino Uno e o painel de controle de transmissão.



Fonte: Autoria própria.

9. Com o arduino conectado a uma porta USB do notebook, efetue o processo de "Verificação" e "Carregamento" do código disponibilizado no apêndice B.

10. Energize todos os equipamentos de transmissão e recepção, em seguida, questione aos integrantes que estão na base de recepção se a mensagem recebida está em branco, sem qualquer caractere. Caso haja algum caractere aparecendo na linha de mensagem do display, solicite uma adequada sintonia da base de recepção, até que a linha de mensagem esteja limpa.

11. Ajuste ambos os osciloscópios para a escala de tempo 20ms e de amplitude 2Vx1. Usando a função pause, capture as imagens gráficas dos sinais medidos em ambos os osciloscópios, salve os gráficos do sinal enviado e do sinal recebido.

12. Pesquise na tabela dos códigos binários para os caracteres no sistema da Bit9 (apêndice A), para descobrir o código binário equivalente ao espaço em branco.

13. Através do Monitor Serial apresentado na IDE do arduino, escreva uma mensagem contendo apenas caracteres "a"(exemplo: aaaaaaaaaa),e envie esta mensagem através da tecla ENTER.

14. Usando a função pause, capture as imagens gráficas dos sinais medidos em ambos os osciloscópios, salve os gráficos do sinal enviado e do sinal recebido.

15. Pesquise na tabela dos códigos binários para os caracteres no sistema da Bit9, para descobrir o código binário do caractere enviado repetidamente.

16. Repita os procedimentos de 13 a 15 para as vogais e, i, o, u.

17. A partir dos resultados levantados de 13 a 16, estime o tempo de bit na transmissão serial, e o tempo entre as palavras de código de 8 bits.

18. A equipe responsável pelo painel de transmissão deve elaborar uma frase, e então apresentar ao docente responsável por acompanhar o experimento. Em seguida, essa mesma equipe deve enviar a mensagem pelo Monitor Serial na IDE do arduino (Observação: ao escrever a mensagem pode-se utilizar caracteres alfanuméricos, vírgulas, pontos, símbolos, letras maiúsculas e minúsculas, no entanto não é possível fazer uso de sinais de acentuação gráfica).

19. A equipe responsável pelo painel de recepção deve registrar por meio de vídeo a frase recebida, e então apresentar ao docente. Caso a mensagem seja transmitida corretamente, a comunicação terá sido realizada com êxito.