

TÉCNICA DE MODULAÇÃO PARA TELEMETRIA ACÚSTICA

BAUER, Daniele Fassbinder¹

RESUMO

Com base no conceito da inovação tecnológica sem fio, este trabalho apresenta um enlace de comunicação em um sistema de telemetria acústica, que é um método de transmissão a distância por ondas sonoras. Esta comunicação é feita a partir da computação numérica por *Digital Signal Processing* – DSP (Processamento Digital de Sinal) para processar sinal de áudio, no processo o sinal analógico gerado é convertido para digital. Inicialmente se estabelece uma mensagem alfanumérica que posteriormente é representada no formato ASC II e passado para binário *Non Return to Zero* – NRZ (Não Retorna a Zero) polar. Neste sinal gerado é aplicada a técnica de modulação *Direct-Sequence Binary Phase-Shift Keying* – DS/BPSK (Modulação de Deslocamento de Fase Binária/Sequência Direta), onde o sinal de saída é chaveado em duas fases de acordo com a representação da mensagem binária, e o método por Espalhamento Espectral é feito a partir da multiplicação do sinal por números randômicos, que permite a proteção do sinal no momento da transmissão. Na etapa de reconhecimento do sinal no receptor, a onda recebida passa por um filtro passa-faixa e posteriormente é feita a demodulação *Binary Phase-Shift Keying* – BPSK (Modulação de Deslocamento de Fase Binária), para assim se decodificar a informação e convertê-la para o formato alfanumérico. Tendo como objetivo a utilização de recursos de baixo custo, quando comparado com o equivalente comercial existente no mercado, facilitando assim o acesso dos acadêmicos de engenharia à tecnologia.

PALAVRAS-CHAVE: BPSK. Espalhamento Espectral. Codificação.

TECHNICAL MODULATION FOR ACOUSTIC TELEMETRY

ABSTRACT

This work presents a communication link in an acoustic telemetry system, which is a long-distance transmission method by sound waves. This communication is made from the numerical computation by *Digital Signal Processing* – DSP (*Digital Signal Processing*) to process the audio signal. In the process, the analog signal generated is converted to digital. Initially, an alphanumeric message is established and subsequently represented in ASC II format and transformed into *Non Return to Zero* binary – polar NRZ. In this signal generated, a *Direct-Sequence Binary Phase-Shift Keying* modulation technique – DS/BPSK is applied, where the output signal is switched in two steps according to the representation of the binary message, and the Spread Spectrum method is done through multiplying the signal by random numbers, which allows signal protection at the time of transmission. At the signal recognition in the receiver step, the received wave passes through a band pass filter and further *Binary Phase-Shift Keying* - BPSK demodulation to thereby decode the information and convert it to the alphanumeric format. Aiming utilization of low cost resources when compared to existing commercial equivalent in the market, it will facilitate the access for engineering students to the technology.

KEYWORDS: BPSK. Spread Spectrum. Encoding.

1. INTRODUÇÃO

Levando em consideração o caso da Petrobrás (OSÓRIO *et al*, 1997), em que a comunicação entre plataformas petroquímicas no mar, é por intermédio de cabos elétricos. Porém, este método apresenta algumas desvantagens, como a deterioração dos cabos, problemas mecânicos decorrentes com o tempo, o que requer constantes substituições. Com o objetivo de aprimorar a comunicação

¹ Eng. de Telecomunicações. Prof. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI/Cascavel - PR. E-mail: daniele.fbauer@gmail.com

mencionada, este trabalho teve como primazia o desenvolvimento de um canal de comunicação caracterizada pela não utilização de condutores metálicos ou mesmo ópticos.

O mesmo se caracteriza por um sistema de comunicação onde ondas sonoras devidamente moduladas, e demoduladas, através da técnica não trivial para esta aplicação, conhecida como *Fast Fourier Transform* – FFT (Transformada Rápida de Fourier), onde ocorre a passagem do domínio do tempo para o domínio da frequência, juntamente com a técnica de modulação é desenvolvido uma sequência lógica de comandos, à partir do *Digital Signal Processing* – DSP (Processamento Digital de Sinal). A problemática do trabalho é reduzir o custo dos equipamentos de telemetria e substituir o método de transmissão, adequando o mesmo a tecnologia sem fio. Customizando o projeto para a aquisição acadêmica, uma vez que demanda um investimento alto, comparado ao retorno financeiro de sua aplicação acadêmica. Focando no elevado preço da aquisição, convertido em reais de aproximadamente R\$ 47.000,00 (com o dólar cotado em R\$ 4,10 na data de fev/2016), se propôs desenvolver um protótipo de um kit (conjunto de elementos para uma mesma finalidade) de comunicação, com o custo aproximado de R\$3.000,00.

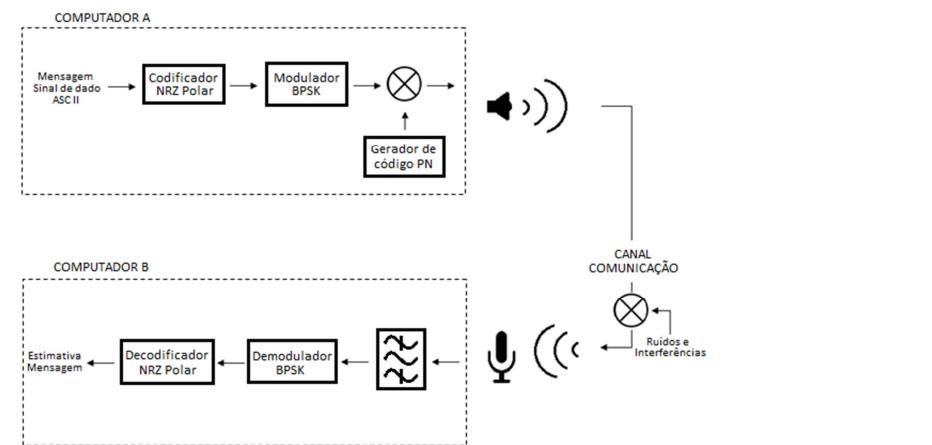
Tendo como base o trabalho de Wright (2012), pela Universidade Estadual do Paraná, o mesmo enfatiza a técnica de modulação *Quadrature Phase-Shift Keying* – QPSK (Modulação de Deslocamento de Fase em Quadratura), em que seguindo os parâmetros, apresentou ruído. Wright (2012) avalia o desempenho da modulação QPSK utilizando o *Software* privado para computação numérica Matlab®, para permitir a comunicação entre dois computadores. Partindo dos resultados apresentados por Wright (2012), optou-se por desenvolver um *kit* de plataforma livre, aplicando a técnica *Direct-Sequence Binary Phase-Shift Keying* – DS/BPSK (Modulação de Deslocamento de Fase Binária/Sequência Direta), por apresentar menor taxa de erro na transmissão. Analisando os resultados obtidos em dois meios distintos, a saber: a água e o ar.

Este trabalho criou um protótipo e analisou o desenvolvimento da técnica de modulação por espalhamento espectral, equipamentos de preços mais acessíveis para os acadêmicos e a viabilidade de *software* livre Scilab®, com a elaboração de uma sequência lógica de comandos para transmissão de um sinal acústico, e outra sequência de comandos para a demodulação na recepção do sinal gerado. Para se chegar a um sinal seguro e o mais fiel possível do original, implementou-se no algoritmo métodos de codificação, utilizando dois computadores com microfones e alto falantes, onde se otimizou tais ferramentas para obter o *kit* almejado.

2. METODOLOGIA

A sequência do sistema proposto responde aos requisitos apresentados na Figura 1. O projeto consiste na elaboração de um algoritmo para a transmissão, executado pelo computador A, e outro algoritmo de recepção para o computador B, com a finalidade de se transmitir uma mensagem alfanumérica.

Figura 1 - *Layout* do projeto de enlace DS/BPSK



Fonte – O autor

Como o sinal de dados enviado é uma mensagem de texto, é necessária sua representação binária com a finalidade do DSP. Para isso, ocorre a conversão para binário dos valores equivalentes a letra. Neste sistema fixou-se a variável “A” para a sequência dos comandos, sua representação em nível lógico é encontrado na Tabela 1, que ilustra um percentual da tabela ASCII. Concluindo assim a etapa para o formato NRZ polar, onde se tem a identificação da letra “A” através de diferentes níveis de tensão de 1’s e 0’s.

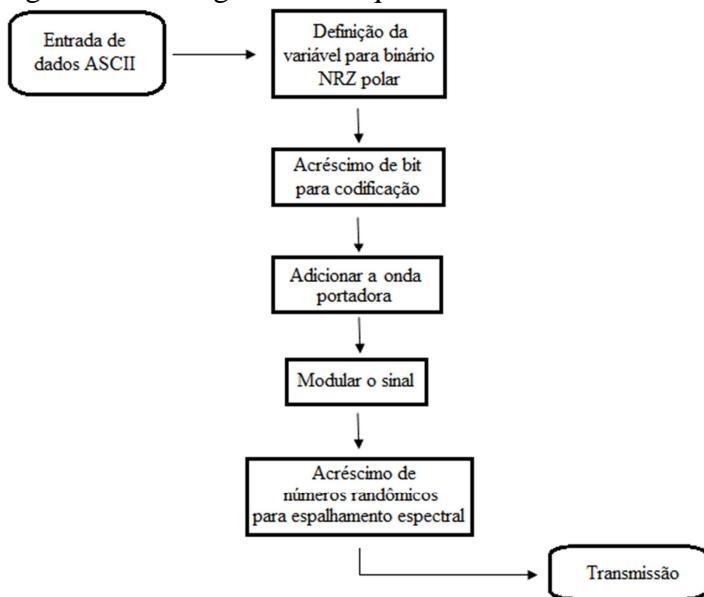
Tabela 1 - Representação da letra “A” em decimal e em binário de acordo com a tabela ASC II

ASCII	Dec.	Binário
A	65	01000001

Fonte – O Autor

Para executar a tarefa do envio de um sinal por DS/BPSK, segue o conjunto de passos para o algoritmo, ilustrado no Figura 2. Na etapa de recepção na demodulação, ocorre o processo inverso apresentado na transmissão.

Figura 2 – Fluxograma da sequência de comandos do algoritmo de codificação



Fonte – O autor

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 ALGORITMO PARA FORMA BINÁRIA

Com o intuito de transmitir a mensagem é necessária transformá-la em uma corrente elétrica variável no tempo. O formato do sinal de mensagem passa para a forma alfanumérica, onde ocorre a conversão de símbolos (mensagem) para bits. Como segue o algoritmo apresentado nessa seção.

Na linha L1 (abreviação para linha e o respectivo número da sequência) do algoritmo 1 na Figura 3 é declarado a variável a ser enviada. Em L2 é executada a tarefa de conversão para ASCII em decimal, e posteriormente na L3 ocorre a conversão para binário estipulado em 8 bits – sendo 01000001 para variável “A”, como ilustra a Tabela 1. Tal variável foi fixada como exemplo para os algoritmos.

Figura 3 - Algoritmo 1 em que a mensagem alfanumérica é passada para representação em binário

LINHA	INSTRUÇÃO
L1	<code>x = 'A';</code>
L2	<code>d = ascii(x);</code>
L3	<code>b = dec2bin(d,8);</code>

Fonte – O autor

3.2 ALGORITMO PARA CODIFICAÇÃO

A codificação é uma implementação simples, onde é inserida uma sequência de bits designada. Na L4 do algoritmo 2 da Figura 4, é aplicado o método de codificação por acréscimo de bits. Nesta etapa foi escolhido 3 bits de forma aleatória, para identificar o início e o término da mensagem, para tal foi usado o comando *strcat*. Assim na demodulação, a mensagem recebida será identificada estando entre os bits de início e final estipulados dentro do comando *strcat*. Obtendo uma correta identificação da mensagem, combatendo o efeito do ruído.

Neste caso, foi estipulado 001 como bits de início e 011 como bits finais, mas poderia ser qualquer outra combinação binária. Resultando em 001010000010011 para a mensagem “A”.

Figura 4 - Algoritmo 2 para codificação por acréscimo de bits.

LINHA	INSTRUÇÃO
L4	<code>e = strcat(['001' , b , '011']);</code>

Fonte – O autor

3.3 ALGORITMO PARA A PORTADORA

No algoritmo 3 da Figura 5, na L5 e na L6, é estipulado o tempo de cada bit e a taxa de amostragem respectivamente, seguindo a Teoria de Nyquist. Na linha L7 o comando *length* faz a contagem do número de elementos de cada amostra, identificando o comprimento do elemento total. Esses comandos são necessários para preparação da informação na análise por frequência.

Figura 5 - Algoritmo 3 para estipulação de padrões

LINHA	INSTRUÇÃO
L5	<code>Ts = 0.05;</code>
L6	<code>Fs = 8e3;</code>
L7	<code>Nb = length(d);</code>

Fonte – O autor

No algoritmo 4 apresentado na Figura 6, em L8 é estipulado o tempo com um incremento de $1/F_s$. Por último é gerado a onda portadora descrita pela função seno na linha L9.

Figura 6 - Algoritmo 4 designando a onda portadora

LINHA	INSTRUÇÃO
L8	$t = 0 : 1/Fs : (Nb*Ts - 1/Fs);$
L9	$s = \sin(2*\pi*1000*t);$

Fonte – O autor

3.4 ALGORITMO PARA DEMODULAÇÃO DO SINAL

O próximo passo é modular o sinal pelo método de fase com variação de 180°. A sequência de comandos para a modulação é mostrado no algoritmo 5 da Figura 7. Onde em L10 é criada uma matriz nula, que irá receber o valor do laço *for*. Na linha L11 é iniciado o laço *for* das linhas L12 e L13, para cada elemento de Nb atribuído anteriormente no algoritmo 4. O laço *for* percorre a matriz e identifica a quantidade de bits para cada taxa de amostragem a partir do comando *evstr*. Na L14 é realizada a modulação em PSK conforme as equações 2.2 e 2.3 apresentada anteriormente. No comando desenvolvido para a modulação a constante K das equações é substituída por (2m-1), onde m recebe o valor de 0 ou 1, variando de acordo com a matriz de modulação gerada no laço *for*, chegando assim a $\cos 2\pi ft$ para m = 1 ou $-\cos 2\pi ft$ para m = 0.

Para facilitar na operação, em L15 do algoritmo 5 ocorre uma subtração de números decimais, resultando na representação dos binários da mensagem codificada enviada.

Figura 7 - Algoritmo 5 em que é feita a modulação do sinal NRZ polar para PSK

LINHA	INSTRUÇÃO
L10	$m = [];$
L11	$for k = 1:Nb$
L12	$m = [m ones(1:(Ts*Fs))*evstr(part(e,k))];$
L13	$end;$
L14	$sPSK=(2*m-1).*cos(2*\pi*1000*t);$
L15	$mb = ascii(e)-ascii('0');$

Fonte – O autor

A simulação é executada, e como segue na linha L16 do algoritmo 6 na Figura 8, tem-se o comando *playsnd* que é um instalador, tocador de som. Este comando proporciona a reprodução do áudio .wav (OSÓRIO *et al.* (1997). Sendo o receptor o responsável por gravar o áudio em um arquivo designado, uma vez que o algoritmo não executa em tempo real.

Figura 8 - Algoritmo 6 para reprodução do áudio .wav a ser enviado

LINHA	INSTRUÇÃO
L16	playsnd (sPSK,Fs);

Fonte – O autor

3.5 ALGORITMO PARA ESPALHAMENTO ESPECTRAL

Para enviar o sinal por espalhamento espectral multiplicou-se a mensagem modulada por um ruído pseudo-aleatório, como ilustra o algoritmo 7 da Figura 9. Nesta etapa o comando *rand* é responsável pela variação do ruído. Quando *rand* for maior, a taxa de números randômicos aumenta, caso seja menor, o ruído diminuirá.

Figura 9 - Algoritmo 7 multiplicação por PN para espalhamento espectral

LINHA	INSTRUÇÃO
L17	sPSK2 = sPSK + 0,6*rand(sPSK,'normal');

Fonte – O autor

3.6 ALGORITMO PARA TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER – FFT

Com o comando das linhas L18 até a linha L20 é possível evidenciar a frequência predominante do sinal gerado com a FFT, como segue no algoritmo 8 da Figura 10.

Figura 10 - Algoritmo 8 com a FFT

LINHA	INSTRUÇÃO
L18	N = length (sPSK);
L19	h = (1/N)*fft(sPSK);
L20	d = ((0:(N-1))*Fs)/N;

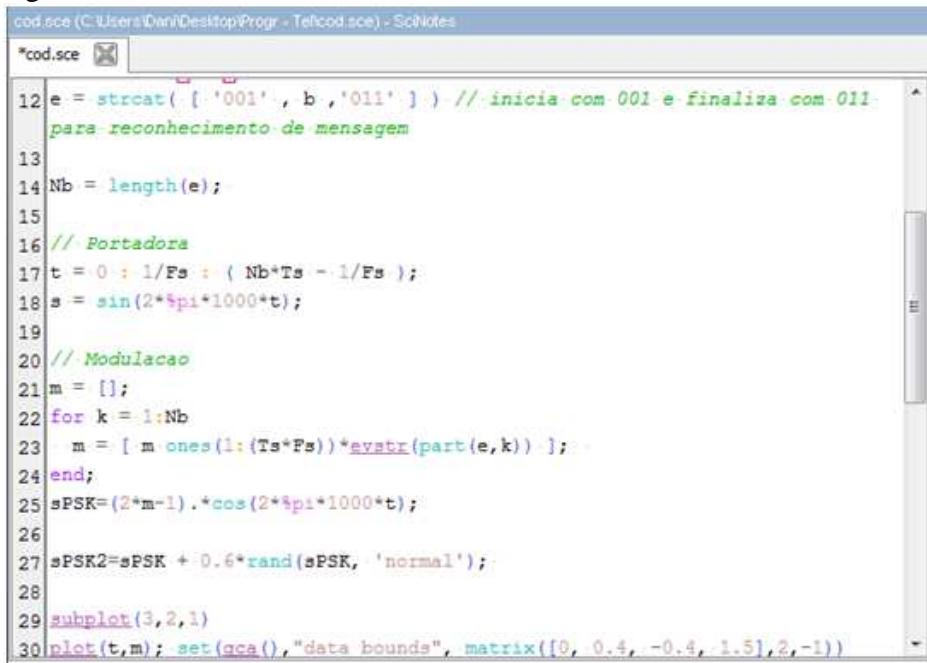
Fonte – O autor

Neste processo evidenciam-se os pontos de maior frequência do sinal e a partir deles foi estipulado a faixa de filtro para a demodulação.

3.7 INTERFACE DE SIMULAÇÃO

Uma breve apresentação ilustrativa da interface utilizada para as simulações. O algoritmo desenvolvido pode ser executado em qualquer plataforma, desde que possua o *Software Scilab®*. Na Figura 11 é demonstrado o editor para a construção do algoritmo.

Figura 11 – Editor de Comandos



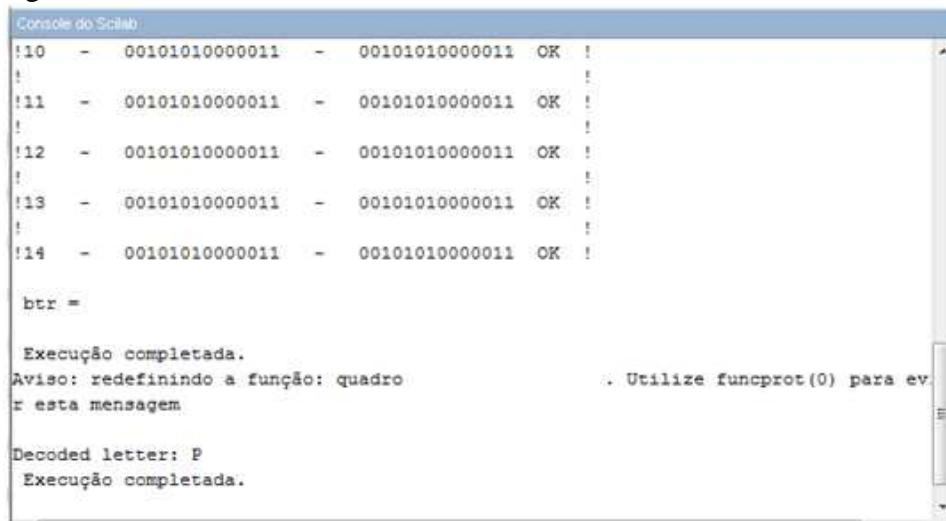
```
cod.sce (C:\Users\Dani\Desktop\Progr - Tel\cod.sce) - SciNotes
*cod.sce

12 e = strcat( ['001' , b , '011' ] ) // inicia com 001 e finaliza com 011
  para reconhecimento de mensagem
13
14 Nb = length(e);
15
16 // Portadora
17 t = 0 : 1/Fs : ( Nb*Ts - 1/Fs );
18 s = sin(2*%pi*1000*t);
19
20 // Modulação
21 m = [];
22 for k = 1:Nb
23   m = [ m ones(1:(Ts*Fs))*evstr(part(e,k)) ];
24 end;
25 sPSK=(2*m-1).*cos(2*%pi*1000*t);
26
27 sPSK2=sPSK + 0.6*rand(sPSK, 'normal');
28
29 subplot(3,2,1)
30 plot(t,m); set(gca(),"data_bounds", matrix([0, 0.4, -0.4, 1.5],2,-1))
```

Fonte – O autor

Na Figura 12, é apresentado o console, que exibe os resultados dos comandos.

Figura 12 – Console do Scilab®



```
Console do Scilab
!10  -  00101010000011  -  00101010000011  OK  !
!
!11  -  00101010000011  -  00101010000011  OK  !
!
!12  -  00101010000011  -  00101010000011  OK  !
!
!13  -  00101010000011  -  00101010000011  OK  !
!
!14  -  00101010000011  -  00101010000011  OK  !
btr =
Execução completada.
Aviso: redefinindo a função: quadro
        . Utilize funcprot(0) para ev
r esta mensagem
Decoded letter: P
Execução completada.
```

Fonte – O autor

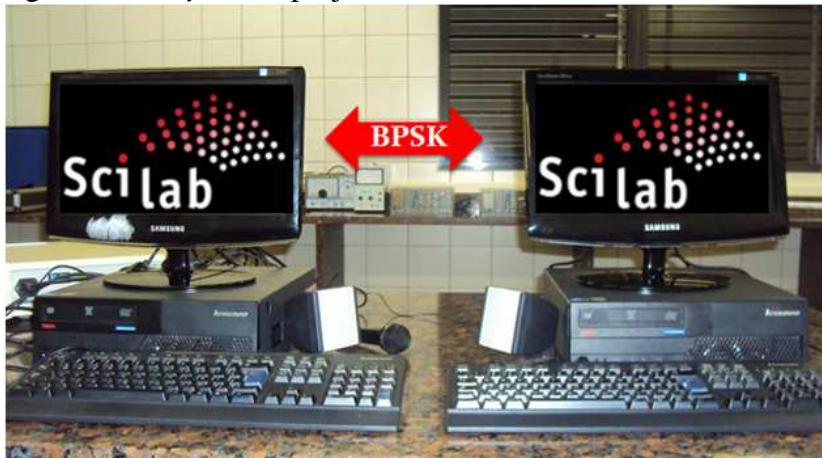
3.8 BANCADA DE TESTES PARA O ENLACE DE COMUNICAÇÃO

Na bancada os testes foram realizados utilizando dois computadores, o microfone embutido no notebook modelo Acer Aspire One 722, um microfone dinâmico Philips modelo SBC MD 195, e uma caixa de som Powerpack SPK-FS606 com sistema 2.1, de potência 1000W e com faixa de frequência de 35 Hz ~ 20KHz.

No segundo canal testado, utilizou-se mais um tanque de ensaio com dimensões 30 cm na direção do eixo y, 60 cm no eixo x e 130 cm no eixo z, preenchido com água, e nele mergulhado o microfone e a caixa de som, isolados com polipropileno com espessura de 18 μm .

Na Figura 13, foram realizados testes com os componentes ilustrados. Tais testes foram totalmente descartados, devido a amplitude e potência da caixa de som utilizada, em que a onda gerada mesmo sendo amplificada pelo algoritmo, não possibilitou uma reconstituição do sinal. Dessa forma, deu-se continuidade aos demais testes com o aparelho Powerpack SPK-FS606, em que obteve-se melhores resultados.

Figura 13 – *Layout* do projeto de enlace DS/BPSK



Fonte – O autor

3.9 ALGORITMO DE DEMODULAÇÃO

A demodulação consiste no processo inverso da modulação até agora realizado. Nesta etapa iniciou-se o programa com o algoritmo 9 da Figura 14, onde é realizado o chamamento do áudio recebido por ser um arquivo gravado. O comando *wavread* é um localizador de diretório, em que, após localizado é carregado. Posteriormente é feito uma varredura do arquivo com o comando

length que tem a função de identificar o total de elementos nele presente para posteriormente serem trabalhados.

Figura 14 - Algoritmo 9 com o chamamento do áudio e identificação dos elementos constituintes

LINHA	INSTRUÇÃO
L21	<code>[s Fs] = wavread('C:\Progr-Tel\sinal.wav');</code>
L22	<code>N = length(s);</code>

Fonte – O autor

Para se identificar a mensagem, utilizou-se o método de filtragem por frequência como segue no algoritmo 10 da Figura 15. Para tal é necessário aplicar a FFT estipulado na L23 e L24, e com os resultados obtidos fazer uma análise com um Filtro passa-faixa na L25, que irá estipular se o sinal está ou não dentro da faixa de frequência estabelecidos e rejeitando o que estiver fora. Para haver a restauração do sinal é efetuada a Transformada Inversa de Fourier na L26.

Figura 15 - Algoritmo 10 para a FFT e filtro passa-faixa

LINHA	INSTRUÇÃO
L23	<code>S = (1/N)*fft(s);</code>
L24	<code>f = [0 : (N-1)]*Fs/N;</code>
L25	<code>Y = S.*((1000 < f) & (f < 8000));</code>
L26	<code>y = real(ifft(Y)*N);</code>

Fonte – O autor

Ao separar a faixa de áudio útil, se estabeleceu parâmetros como segue no algoritmo 11 da Figura 16. Tendo o tempo de cada bit em L27 e o comprimento de elementos pela taxa de amostragem, gerando o sinal modulado “m” em L28. Na L29 é declarado “c” com valor 1 e na L30 estipula cada elemento do sinal de acordo com a modulação.

Figura 16 - Algoritmo 11 para estipulação de padrões

LINHA	INSTRUÇÃO
L27	<code>Ts = 0.05;</code>
L28	<code>Nb = N/(Ts*Fs);</code>
L29	<code>c = 1;</code>
L30	<code>b = N/Nb;</code>

Fonte – O autor

No algoritmo 12 da Figura 17, na L31 é criada uma matriz vazia para receber o valor do laço *for*. Na L32 é estipulado os elementos a serem percorridos. Na L33, “z” percorre cada trecho do áudio, estipulando seu intervalo em L29 e L30. De L34 até L39 é referenciado o sinal em sua amplitude e estipulando assim sua representação binária atribuída a “B”.

Figura 17 - Algoritmo 12 para a demodulação do sinal BPSK

LINHA INSTRUÇÃO

L31	B = [];
L32	for m = 1:Nb
L33	z = s(c:b);
L34	q = cos(((2*%pi)*((c:b)-1))*1000)/Fs);
L35	i = -cos(((2*%pi)*((c:b)-1))*1000)/Fs);
L36	if sum(z .*q)>sum(z .*i) then
L37	B = [B 1];
L38	else
L39	B = [B 0];
L40	end;
L41	b = b + N/Nb;
L42	c = c + N/Nb;
L43	end;

Fonte – O autor

O algoritmo 13 da Figura 18 na L44 traz a concatenação de caracteres da matriz gerada em B, declarado como “x”.

Figura 18 - Algoritmo 13 para concatenação de caracteres

LINHA INSTRUÇÃO

L44	x = (strcat(string(B)));
-----	--------------------------

Fonte – O autor

O algoritmo 14 da Figura 19 executa a função Quadro, nessa etapa é identificada a posição da mensagem na linha 45 e 47 em que é feita a decodificação a partir da condição booleana das linhas 46 e 49, verifica se a mensagem recebida está nos padrões estipulados na codificação, se a condição for verdadeira os dados são convertidos para a forma alfanumérica na linha 48.

Figura 19 - Algoritmo 14 onde executa a função quadro para verificar mensagem e retirar mensagem recebida

LINHA INSTRUÇÃO

L45	function [saída, h]=quadro(Q)
L46	h = ";saída = %f;
L47	if (part (Q, 1:3) == '001') & (part (Q, 12:14) == '011')
L48	h = ascii(bin2dec(strcat(string(part(x, 4:11)))))
L49	saída = %t;
L50	end
L51	endfunction

Fonte – O autor

O algoritmo 15 da Figura 20 apresenta na L52 a mensagem encontrada ao demodular o sinal, onde é montada a matriz com os bits presentes entre a quarta e décima primeira posição, imprimindo ele em tela conforme L53.

Figura 20 - Algoritmo 15 apresentando em tela a mensagem decodificada

LINHA	INSTRUÇÃO
L52	[saída,h] = quadro(x);
L53	mprintf('Decoded letter: '+h);

Fonte – O autor

3.10 VERIFICAÇÃO DE ERRO DE BIT

Para fazer a verificação dos bits encontrados, o algoritmo 16 da Figura 21 estipula uma variável que recebe a quantidade de repetição dos testes em 14 vezes, uma vez que, a partir dessa faixa a sequência de erros começa a repetir.

Figura 21 - Algoritmo 16 para estipulação de padrões

LINHA	INSTRUÇÃO
L54	NT = 14;

Fonte – O autor

É feito uma solicitação para que o programa execute internamente o algoritmo de modulação e demodulação, e a partir dele atribuir valores as variáveis, como é apresentado no algoritmo 17 da Figura 22 na L55. Nas linhas seguintes é feita a verificação de igualdade de bits, e a porcentagem de erro na matriz, apresentando como “Ok” se não houver falhas, e “Error” caso um bit recebido esteja diferente do enviado, podendo ter mais de um bit diferente, aumentando assim margem de falha. Na L61 é feita a verificação de paridade com a somatória de “0” e “1”. Na L62 “ra” apresenta a quantidade de testes já concluídos, os bits enviados e os respectivos recebidos e a porcentagem de erro da transmissão na comparação destes bits.

Figura 22 - Algoritmo 17 para teste de erro de bit

LINHA	INSTRUÇÃO
L55	for ni = 1 : NT
L56	
L57	exec('C:\Users\Progr - Tel\cod.sce');
L58	exec('C:\Users\Progr - Tel\analise.sce');
L59	Bt = mb;
L60	Br = B;
L61	be = be + sum(1*(~(Bt == Br)));
L62	ra = [ra ; ni be (100*be)/ni];
L63	if and(Bt==Br)
L64	status = 'OK'
L65	else
L67	status = 'Error'
L68	end
L69	end

Fonte – O autor

4. ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao se transmitir pelos canais sugeridos, a água e o ar, os resultados não atingiram 20% de certeza nos testes. Segue na Tabela 2 na Tabela 3 e na Tabela 4 os ambientes e a margem percentual de sucesso.

Tabela 2 – Percentual de acertos em cada teste com o algoritmo simplificado

Testes do Algoritmo com Modelos Matemáticos			
	100 % *	99-95 %	94-85 %
Meio Ar	1 **	-	2
Meio Água	-	-	-
Meio Ideal	10	-	-

Fonte – O autor

Notas: * Margem de acerto correspondente à cada 10 tentativas de transmissão.

** Número de testes correspondentes a porcentagem de acerto

Tabela 3 – Percentual de acertos em cada teste do algoritmo implementado com codificação

Testes do Algoritmo com Modelos Matemáticos e Codificação			
	100 % *	99-95 %	94-85 %
Meio Ar	1 **	3	2
Meio Água	-	-	-
Meio Ideal	10	-	-

Fonte – O autor

Notas: * Margem de acerto correspondente à cada 10 tentativas de transmissão.

** Número de testes correspondentes a porcentagem de acerto

Tabela 4 – Percentual de acertos em cada teste aplicando a técnica de espalhamento espectral

Testes do Algoritmo Aplicando as Técnicas de DSSS ***			
	100 % *	99-95 %	94-85 %
Meio Ar	2**	2	2
Meio Água	-	-	-
Meio Ideal	10	-	-

Fonte – O autor

Notas: * Margem de acerto correspondente à cada 10 tentativas de transmissão.

** Número de testes correspondentes a porcentagem de acerto.

*** Algoritmo com modelo matemático, codificação e sendo aplicado a técnica de espalhamento espectral por sequência direta.

Acompanhando as informações discriminadas na tabela, nota-se que no decorrer do aprimoramento do algoritmo os resultados foram melhorando gradativamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos foram alcançados, porém nem todos de forma satisfatória. Com o intuito de comunicar dois computadores por intermédio da telemetria acústica (comunicação à distância pelo som), os *hardwares* propostos apresentaram um desempenho inapropriado para a situações água e ar, uma vez que no quesito *software*, obteve-se bom desempenho na transmissão em um ambiente ideal. Ao simular o algoritmo em um ambiente com perturbações ele faz o reconhecimento da mensagem, desde que a margem de erro esteja até os 25%, portanto, ao verificar os gráficos gerados e observar o desempenho dos comandos computacionais, nota-se que no sinal houve alteração na amplitude, decorrente no momento da transmissão da perda de potência e energia relacionadas com o ambiente e o *hardware* utilizado.

Mesmo com a aplicação de um algoritmo mais complexo, implementado com a técnica de modulação DS/BPSK, não houve êxito para se efetuar a comunicação devido as interferências, caracterizada muitas vezes como ruído, e pela perca de característica da onda, decorrente dos equipamentos, uma vez que o algoritmo decodificador da mensagem, considera a amplitude de reconhecimento de nível um e constante, dessa forma sendo necessário equipamentos mais robustos que respondem aos parâmetros de sensibilidade e calibração para a emissão e captura do áudio, ou uma implementação no algoritmo para proteger as características, fase e amplitude. Logo, nota-se que as ondas mecânicas, além de ser um método não trivial, exigem cautela na manipulação, devido sua vulnerabilidade aos fatores externos e internos que acabam interferindo no sistema de

transmissão. Dessa forma fugindo da proposta pelo fato de demandar maior investimento financeiro, ou implementação do *software* para compatibilizar com os equipamentos utilizados.

Podendo também aperfeiçoar o algoritmo para ficar mais imune aos equipamentos e sinais indesejados, como o método de *Phase Locked Loop* – PLL (Anel de Bloqueio de Fase) melhorando o tratamento do sinal, estimulando assim a utilização da tecnologia, com *Hardware* de menor custo. O que seria um novo teste a se fazer, dando continuidade a este apresentado.

REFERÊNCIAS

BENTES, L. Telemetria Acústica. Workshops – Centro de Ciências do Mar. Universidade de Algarve (UALg), Portugal, 2008.

BEZERRA, R. Transmissão Digital e Analógica. Material Didático – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEFET), Bahia, 2008.

CARVALHO, R. Princípios de Comunicações. 3. ed. Gráfica: Túlio Samorini, 2003.

EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA / UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA –UFBa. Números Binários. Material Didático. Disponível em <<http://teccienca.ufba.br/numeros-binarios>> acesso em: 10 jan. 2014.

EISENCRAFT, M. Comunicações Digitais II: Técnicas de Espalhamento Espectral – Introdução e Sequências de Pseudo-ruído. Material Didático – Engenharia de Telecomunicações. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2008.

HAYKIN, S. Sistemas de Comunicação Analógica e Digital. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

HAYKIN, S.; MOHER M. Introdução aos Sistemas de Comunicação. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HAYKIN, S. Sinais e Sistemas: Analógicos e Digitais. Porto Alegre: Bookman, 2001a.

HAYKIN S.; MOHER M. Sistemas de Comunicação. 5^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2011b.

MACHADO, J. Métodos de Calibração de Hidrofones. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica ©SBEB.** Rio de Janeiro, n. 3, 23^a ed., p. 277-292, 11 dez. 2007.

MICHAEL, R. Dr. Fundamentos em Sinais e Sistemas. São Paulo: McGraw Hill, 2009.

MIGUENS A. Navegação: A Ciência e a Arte – Navegação Eletrônica e em Condições Especiais: Noções de Ondas Eletromagnéticas e Acústicas. Manual de Navegação – Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Vol. III, 2000.

MIYOSHI, E. **Projetos de Sistemas de Rádio.** 3. ed. São Paulo: Érica, 2002.

OSÓRIO P.; SZCZUPAK J.; NÓBREGA M.; YAMAOKA A.; PEREIRA P.; ALVES R. **Um Sistema Processador de Sinais para Comunicação Acústico-Submarina.** Artigo (Graduação) – Engenharia Elétrica. Departamento de Engenharia Elétrica (DEER), Rio de Janeiro, 1997.

SCILAB. **Help Scilab 5.3.3.** Disponível em <http://help.scilab.org/docs/5.3.3/en_US/> acesso em: 02 jul. de 2013.

SKOOG, D. **Princípios de Análise Instrumental.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

WELLS P. **Biomedical Ultrasonics.** Material Didático. Disponível em <<http://catalogue.nla.gov.au/Record/2374983>> acesso em 26 mar. de 2014.

WRIGHT B. **Modem Acústico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2012.