



Relatório da Experiência **Sistema de Sonar**

Carlos Henrique Mantovani Caliman

Gabriel Corteletti Prezotti Palassi

Bancada: B7

Data: 10/10/2023

Turma 02 – Prof. Wilian França

1. Objetivos

Esta experiência tem por objetivo iniciar o desenvolvimento de um circuito que realiza a varredura e a detecção de objetos próximos com a utilização de um sensor ultrassônico de distância e de um servomotor, com saída serial para um dispositivo de apresentação. A implementação e testes do Sistema de Sonar serão desenvolvidas para a placa de desenvolvimento FPGA DE0-CV, usando a infraestrutura disponível na bancada do Laboratório Digital.

2. Descrição do Projeto

Sistemas digitais conhecidos como radar, lidar ou sonar podem ser caracterizados com um sistema que tem como função principal a detecção de objetos a distância. Esta detecção pode ser realizada através de ondas eletromagnéticas que são emitidas pelo radar, refletidas nos objetos distantes e recebidas por sensores. A detecção destes objetos permite a localização e a medida de sua distância. Sistemas veiculares autônomos em desenvolvimento por diversas empresas e grupos de pesquisa podem usar outros tipos de sistemas de detecção. Uma das alternativas é o lidar (light detection and ranging). Neste sistema, a distância a objetos é verificada com uso de um laser. Dependendo do sinal eletromagnético usado, um sistema de detecção de objetos pode ser nomeado de forma diferente. Por exemplo, no caso dos submarinos, usam-se ondas acústicas para propagação na água, e seu sistema é chamado sonar (sound navigation and ranging). Dependendo da frequência acústica usada temos sistemas infra sônicos (baixas frequências) ou sistemas ultrassônicos (altas frequências). Nesta experiência,

Experiência – Sistema de Sonar

usaremos o sensor ultrassônico de distância HC-SR04, que trabalha com pulsos ultrassônicos de 40KHz.

O projeto desta experiência visa desenvolver um circuito digital que permite rastrear objetos através da medida de distância aos objetos. A interface básica de sinais do circuito deve seguir os sinais apresentados na figura 1. O processo de varredura e medida de distância aos objetos é executado com auxílio de um atuador e de um sensor específico.

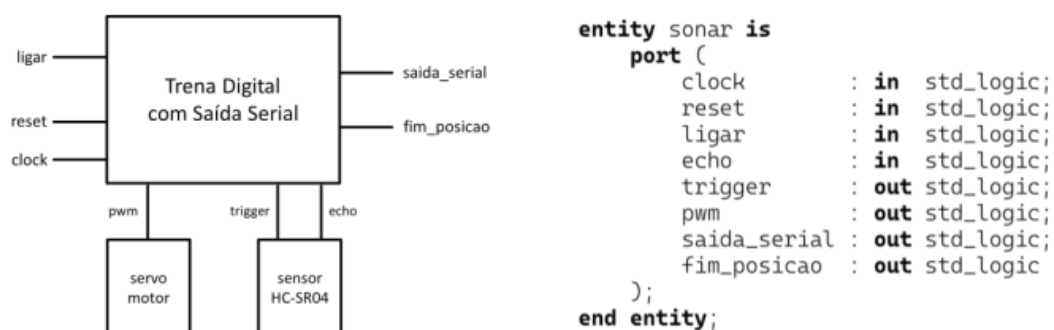


Figura 1 - Interface básica do sistema de Sonar

O atuador escolhido é um servomotor responsável por posicionar o sensor de distância para a varredura e localização de objetos. A montagem física destes componentes deve permitir uma variação angular dentro dos limites especificados para o servomotor. A figura 2 ilustra uma possível montagem física.

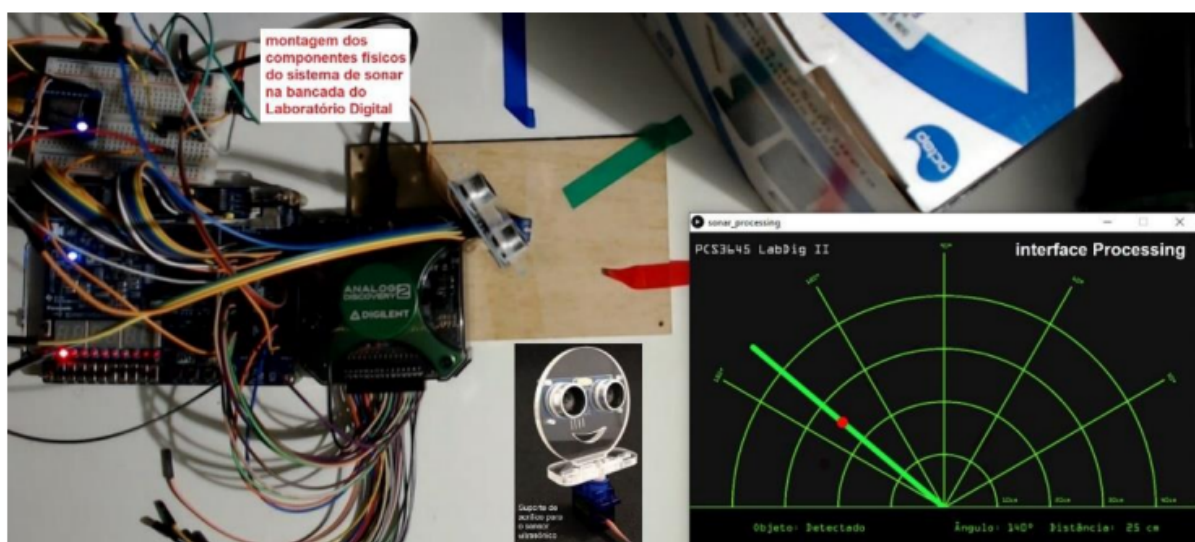


Figura 2 - Montagem do sistema de sonar na bancada do Laboratório Digital

A figura acima também apresenta os principais elementos do projeto e sua interação durante seu funcionamento. O sensor HC-SR04 é acoplado ao servomotor que permite sua rotação em relação ao seu eixo. A cada posição angular estabelecida, a distância

ao objeto mais próximo deve ser medida. Em seguida, um bloco de informação composto por posição angular e distância deve ser enviado pela interface serial, que posteriormente será representado graficamente na tela do computador.

3. Atividades Pré-Laboratório

O funcionamento do sistema de sonar deve seguir a seguinte descrição:

O circuito do Sistema de Sonar deve somente iniciar sua operação com o acionamento do sinal LIGAR. Há qualquer momento, o desacionamento do sinal LIGAR deve interromper o funcionamento do sistema. O circuito faz interface com os componentes externos ao circuito através dos sinais TRIGGER, ECHO e PWM. No modo de localização, o sistema deve continuamente realizar o ciclo de rastreamento de objetos, com a medição de distância, o envio serial dos dados e o reposicionamento do conjunto servomotor e sensor a uma **taxa de 1 medida a cada 2 segundos**. Ao final de uma etapa de medição, envio serial e reposicionamento, o circuito deve gerar um pulso na saída FIM_POSICAO. O sinal de saída do circuito SAIDA_SERIAL é um sinal RS-232C que deve ser conectado a um dispositivo de comunicação serial e a informação enviada é composta por dois valores: o ângulo de posicionamento do servomotor e a distância ao objeto nesta posição. Esta saída deve ser transmitida por um sinal RS-232C na configuração 7O1 a 115200 *bauds* em formato "*ângulo,distância#*", usando caracteres ASCII. Cada informação (ângulo e distância) deve ser composta por 3 dígitos BCD em código ASCII, separados por um caractere ',' (vírgula) e terminado por um caractere '#' (*hashtag*), totalizando 8 dados ASCII enviados. Por exemplo, uma saída indicando a detecção de um objeto na posição angular 120° a 17 cm de distância deve ser composta pela sequência de caracteres ASCII "**120,017#**".

Figura 3 - Descrição do funcionamento do Sistema de Sonar

Inicialmente, foi executada a refatoração do código fonte dos circuitos projetados nas experiências passadas:

O circuito de controle do servomotor (controle_servo.vhd) foi modificado para gerar o sinal PWM de saída para 8 posições angulares com as seguintes larguras de pulso.

posicao	largura do pulso (ms)	ciclos de clock	ângulo
000	0,7	35.000	20°
001	0,914	45.700	40°
010	1,129	56.450	60°
011	1,343	67.150	80°
100	1,557	77.850	100°
101	1,771	88.550	120°
110	1,986	99.300	140°
111	2,2	110.000	160°

Figura 4 - Posições do servomotor

Os circuitos de transmissão serial assíncrona (tx_serial_7O1.vhd) e de recepção serial assíncrona (rx_serial_7O1.vhd) com o modo de transmissão 7O1, com dados de 7 bits, a uma taxa de 115200 bauds foram refatorados para serem usados como componentes internos.

A funcionalidade do circuito interno da interface com o sensor ultrassônico de distância HC-SR04 (interface_hcsr04.vhd) não precisou ser modificada para esta experiência.

A figura 5 apresenta um esboço do pseudocódigo do Sistema de Sonar.

```

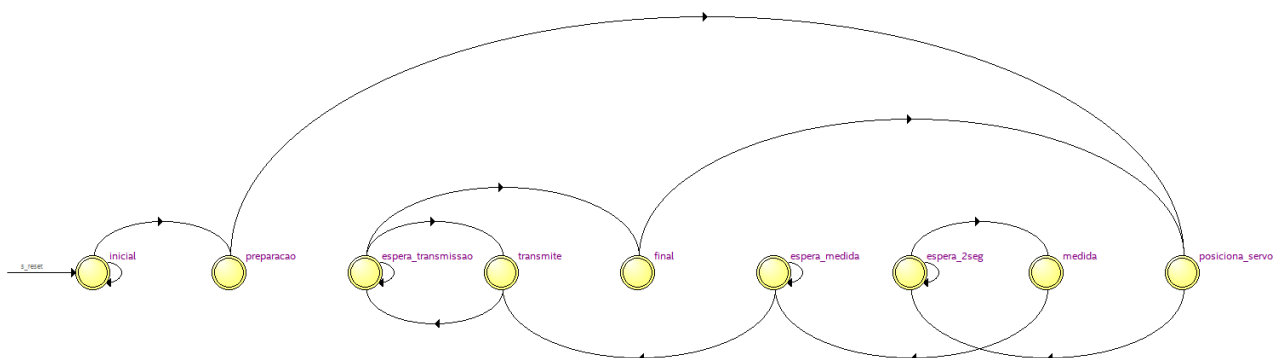
pseudocódigo: Sistema de Sonar
entradas: ligar, echo
saídas: trigger, pwm, saida_serial, fim_posicao
1. loop infinito
2.   enquanto ligar=0 espera
3.   inicie componentes internos
4.   posicionamento inicial do servomotor
5.   faça
6.     aguardar 2 segundos
7.     medir distância ao objeto
8.     transmitir dados do sonar
9.     mudar servomotor para próxima posição
10.  enquanto ligar=1
11. fim loop
    
```

Figura 5 - Esboço do pseudocódigo do sistema de sonar

4. Planejamento da Aula Prática

O Sistema de Sonar opera quando o sinal "LIGAR" é acionado e é desativado ao desligar esse sinal. Ele se conecta a componentes externos usando os sinais "TRIGGER," "ECHO," e "PWM." Durante a localização, o sistema rastreia objetos, mede distâncias e envia dados em formato "ângulo,distância#" via RS-232C a 115200 bauds, usando caracteres ASCII. Cada conjunto de informações (ângulo e distância) tem três dígitos BCD em código ASCII, separados por vírgula e finalizados por um hashtag.

Desenvolveu-se o projeto do circuito do Sistema de Sonar, conforme especificação apresentada acima.



A figura acima exibe uma visualização da máquina de estados implementada, que é uma representação gráfica das diferentes etapas ou estados que o sistema pode assumir, juntamente com as transições entre esses estados, seguindo descrição supracitada.

Figura 6 - State Machine Viewer

Experiência – Sistema de Sonar

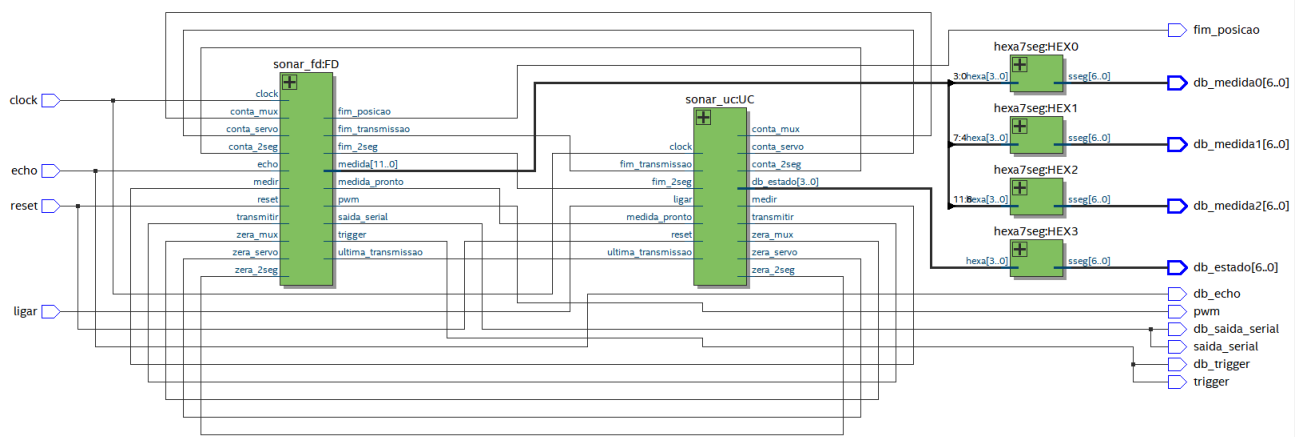


Figura 7 - RTL Viewer do Circuito Geral

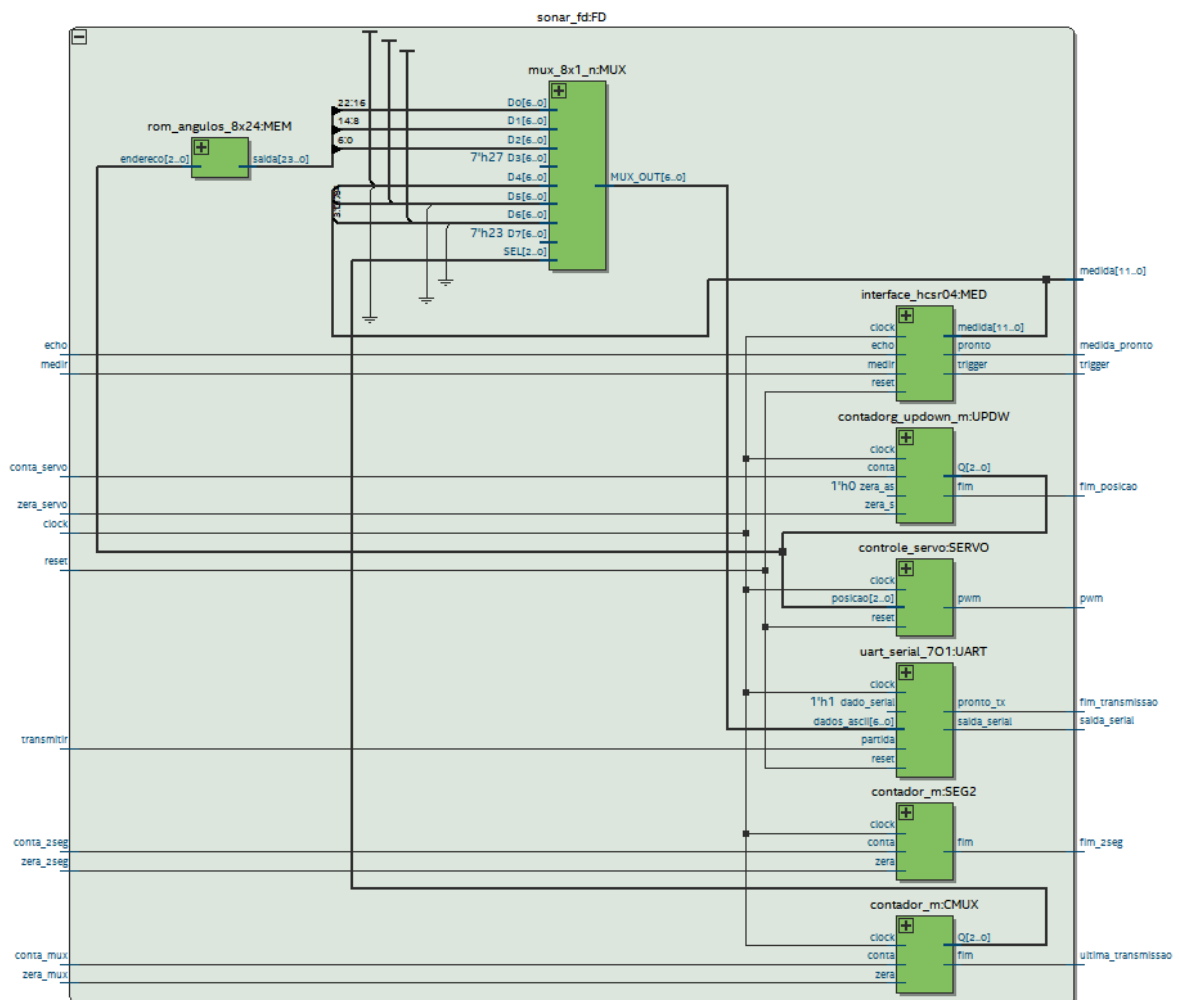


Figura 8 - RTL Viewer do Fluxo de Dados Circuito Geral

Experiência – Sistema de Sonar

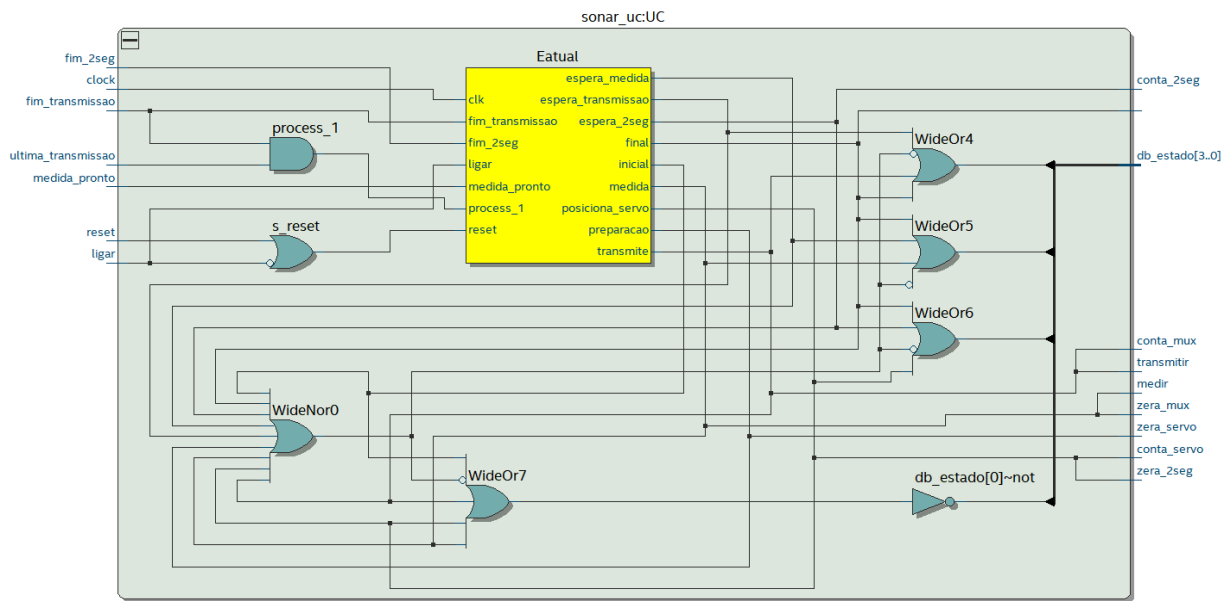


Figura 9 - RTL Viewer da Unidade de Controle do Circuito Geral

As figuras acima fornecem diferentes visualizações em nível RTL do circuito geral implementado descrito. O *RTL Viewer* é uma ferramenta que permite analisar o design do circuito em termos de registros e transferências de dados.

Para atestar o comportamento funcional do circuito desenvolvido utilizou-se do software ModelSim e do *testbench* fornecido:

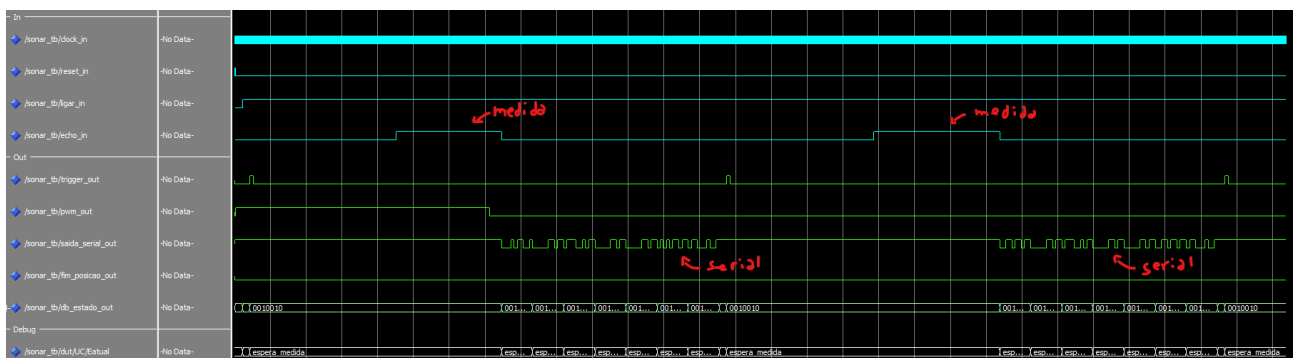


Figura 10 - Simulação ModelSim do *testbench*

Atestado o funcionamento teórico do circuito implementado, se montará o circuito conforme pinagem descrita abaixo e criou-se um plano de teste para a verificação do funcionamento prático quando em laboratório:

senal	pino DE0-CV	pino da FPGA
clock	CLOCK_50	M9
reset	chave SW0	
ligar	chave SW1	
trigger	GPIO_1_D1	
echo	GPIO_1_D3	
pwm	GPIO_0_D35	
saida_serial	GPIO_0_D1	
fim_posicao	led LEDR0	

Figura 11 - Pinagem

Tabela 1 - Plano de Testes

Item de Teste	Procedimento	Resultado Esperado
Início e Parada do Sistema	Acionar e desativar o sinal "LIGAR"	Sistema inicia e para
Comunicação com Componentes Externos	Verificar sinais "TRIGGER," "ECHO," e "PWM"	Funcionamento correto e interação adequada
Saída Serial	Conectar "SAIDA_SERIAL" ao computador e verificar os dados	Dados transmitidos no formato correto em ASCII e valores corretos

5. Atividades Experimentais

Realizou-se em laboratório, a montagem do circuito, seguindo a verificação dos sinais conforme as experiências anteriores.

Conectou-se o trigger ao sensor supersônico e a resposta echo diretamente ao analog discovery, validando o sensor e obtendo-se a resposta apresentada abaixo.

Experiência – Sistema de Sonar

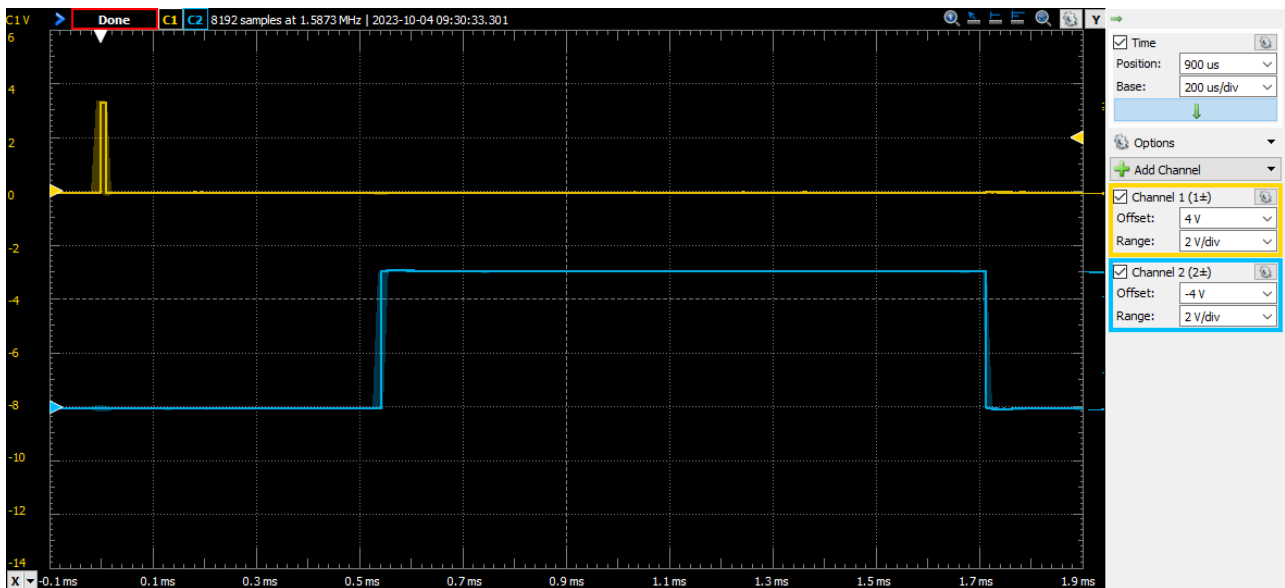


Figura 12 - Teste do echo ligado diretamente

Na figura, é possível notar o sinal de trigger enviado ao sensor, em amarelo, e a resposta echo em azul. Fica evidente também que o sinal gerado pela FPGA é de 3,3V, enquanto a resposta do sensor está em 5V.

Seguiu-se com a montagem, adicionando o conversor de tensão e, então, testou-se se a tensão do pulso recebido foi corretamente adaptada, o que se provou correto como mostrado.

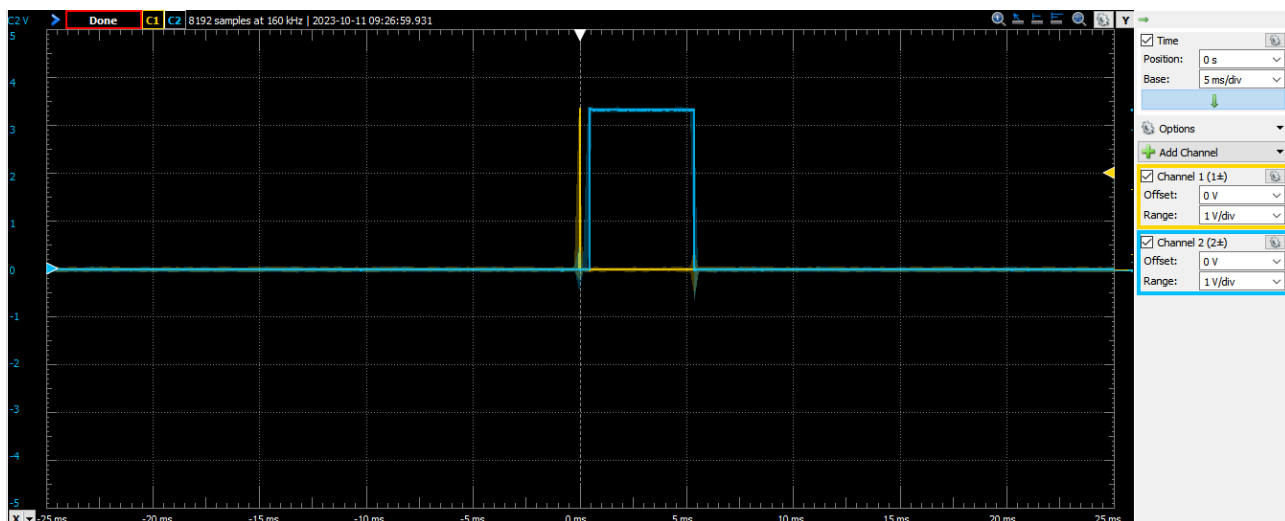


Figura 13 - Teste do echo convertido

Realizou-se, então, a depuração da saída serial com as ferramentas scope e *protocol* do WaveForms, conforme demonstram as figuras abaixo.

Experiência – Sistema de Sonar

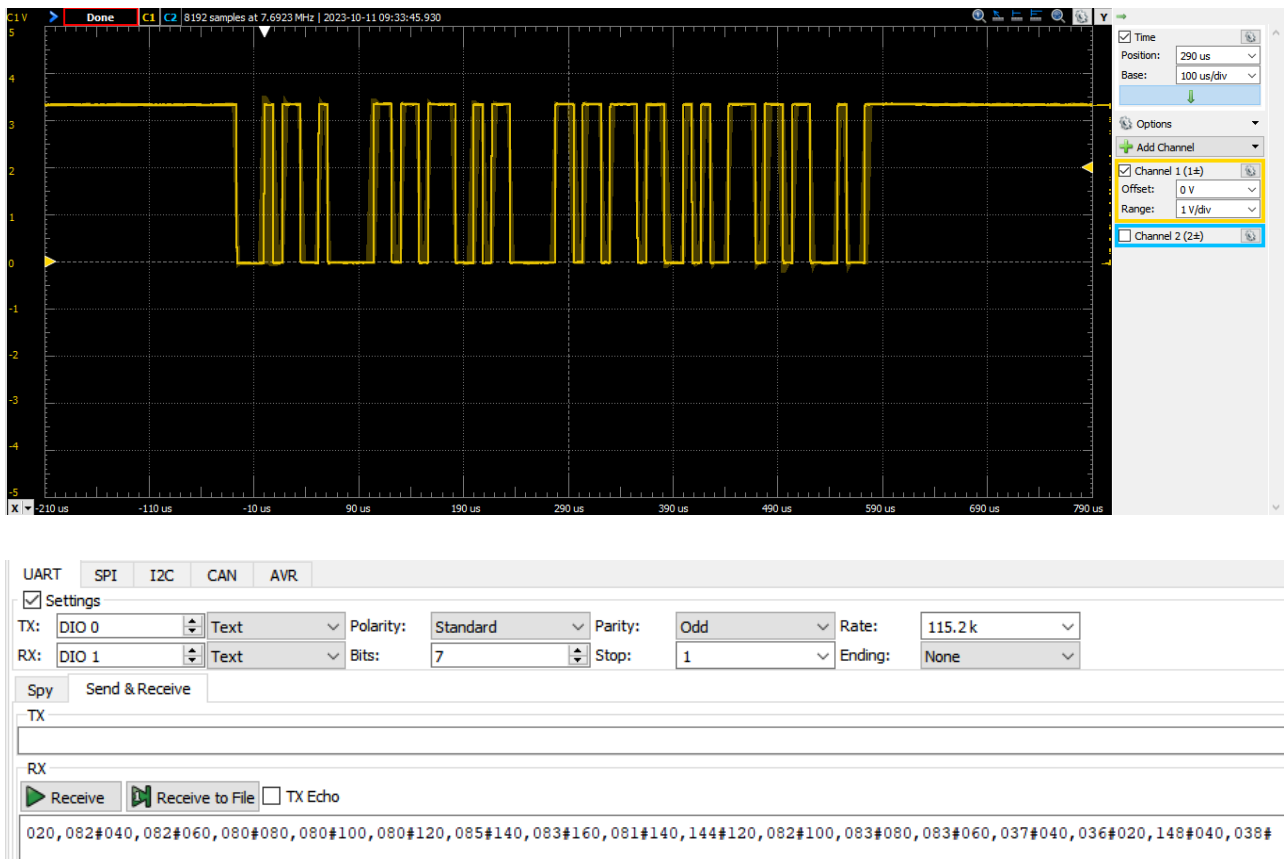
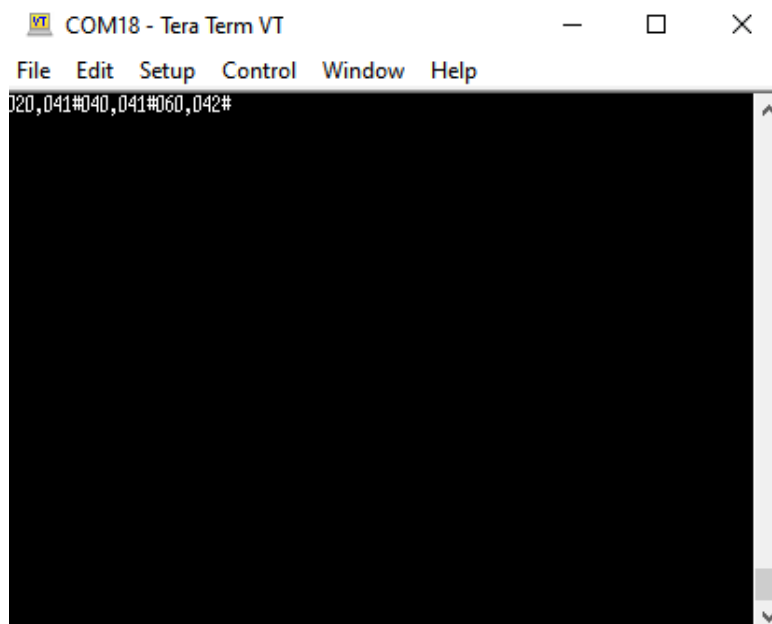


Figura 14 - Saída serial do circuito (Scope e Protocol)

Testou-se, então, a conexão em loop do transmissor e receptor USB, seguido do atestamento do funcionamento da transmissão serial FPGA-PC utilizando o software TeraTerm (terminal serial), e, após conectado o servo-motor, finalizou-se o teste funcional com o Sketch do Processing fornecido - finalizando assim tanto os testes funcionais quanto o plano de testes.



Experiência – Sistema de Sonar

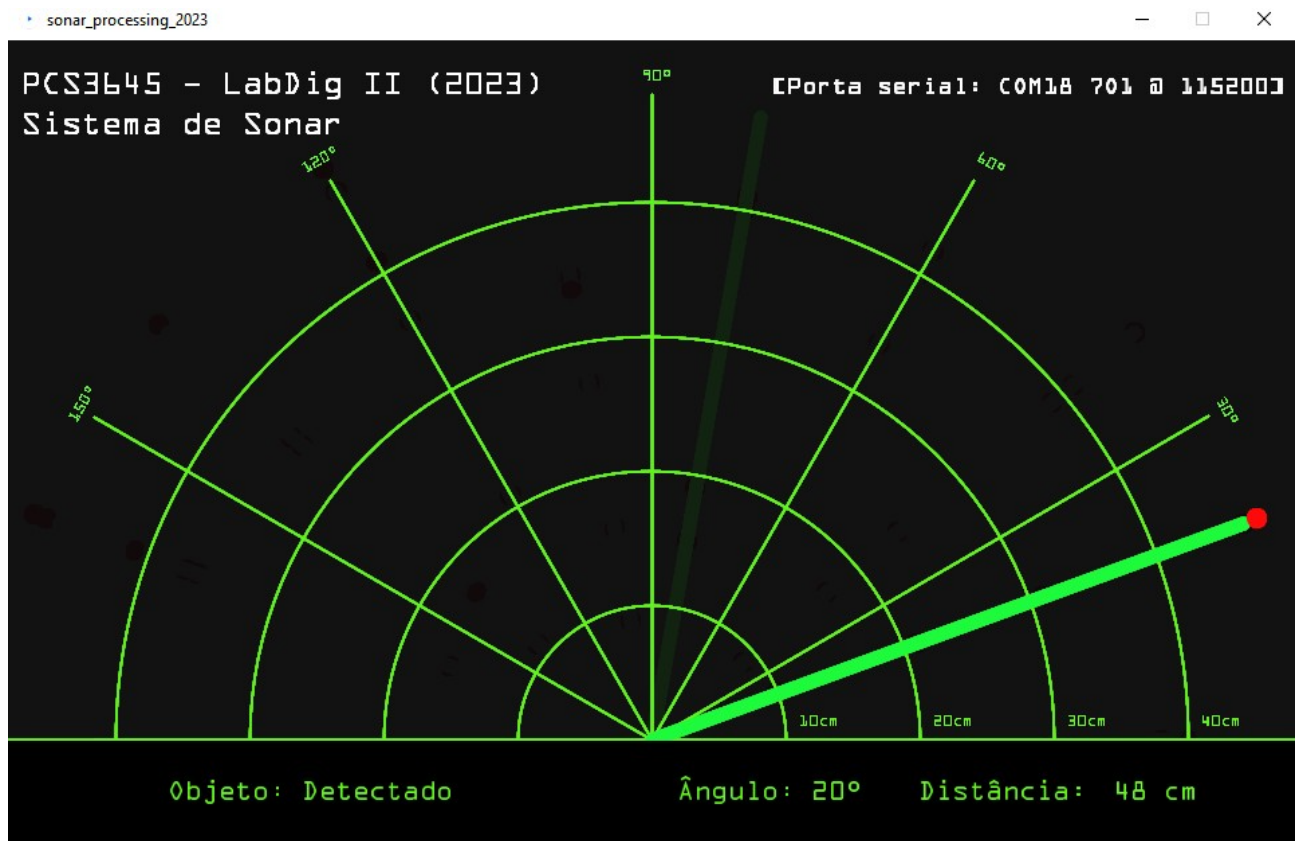


Figura 15 - TeraTerm e Processing