



SISTEMA EDUCATIVO DE DETECÇÃO E TELEMETRIA POR ONDAS DE PRESSÃO DE AR COM FREQUÊNCIA ULTRASSÔNICA

EDUCATIONAL SYSTEM FOR DETECTION AND TELEMETRY BY AIR PRESSURE WAVES WITH ULTRASONIC FREQUENCY

Liliana Yolanda Ancalla DAVILA
Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT)
E-mail: lydavila@uft.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4008-2050>

Alexsandro Silvestre da ROCHA
Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT)
E-mail: alexsandro.rocha@ufnt.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9469-6082>

Regina Lélis de SOUSA
Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT)
E-mail: regina.sousa@ufnt.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7145-5147>

Érica Cupertino GOMES
Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT)
E-mail: ericagomes@uft.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5534-0887>

Ana Cláudia Carvalho SOUSA
Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT)
E-mail: ana_claudia_94@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4627-7678>

Nilo Mauricio Sotomayor CHOQUE
Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT)
E-mail: nmsch@mail.uft.edu.br
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8952-1907>

RESUMO

Detalha-se a concepção, construção e teste de um produto educacional constituído de um sistema experimental móvel e de baixa potência, de detecção e telemetria por ondas de pressão de ar ultrassônicas. O equipamento possui um dispositivo transceptor que emite ondas de pressão de ar com frequência ultrassônica em um plano azimutal e paralelamente detecta as mesmas ondas quando retroespalhadas por algum objeto

Liliana Yolanda Ancalla DAVILA; Alexsandro Silvestre da ROCHA; Regina Lélis de SOUSA; Érica Cupertino GOMES; Ana Cláudia Carvalho SOUSA; Nilo Mauricio Sotomayor CHOQUE. SISTEMA EDUCATIVO DE DETECÇÃO E TELEMETRIA POR ONDAS DE PRESSÃO DE AR COM FREQUÊNCIA ULTRASSÔNICA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2024. FLUXO CONTÍNUO – FEVEREIRO-MARÇO. Ed. 49. Vol. 1. Págs. 182-206. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculdadefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdadefacit.edu.br.

material no seu alcance. O dispositivo educacional pode ser considerado uma aproximação, em pequena escala, de um SONAR acrônimo da frase no inglês: *Sound Navegation and Ranging*. A construção do produto foi possível devido ao avanço da microeletrônica, que disponibiliza atualmente, módulos eletrônicos transceptores para ondas ultrassônicas, em um único circuito impresso juntamente com a disponibilidade de plataformas de prototipagem eletrônica, com base em microcontroladores de acesso aberto (como o Arduíno), além de módulos sensores, dispositivos eletrônicos e placas *shields*, todas com padrão de forma compatível. Foi empregada a Plataforma de Prototipagem Eletrônica Arduíno, de acesso aberto, para a automação e controle do sistema experimental. Para o tratamento dos dados digitais e elaboração do código de visualização gráfica da telemetria e detecção, foi empregado o Ambiente de Desenvolvimento Integrado Processing que também é de acesso aberto. Apresenta-se o conjunto como uma inovação das tecnologias digitais da informação e comunicação concretizada em equipamentos didáticos para auxiliar as aulas experimentais de física no nível médio e na graduação.

Palavras-chave: Sonar. Ondas longitudinais. Arduíno. Telemetria. Detecção.

ABSTRACT

The design, construction and testing of an educational product consisting of a mobile and low-power experimental system for detection and telemetry by ultrasonic air pressure waves is detailed. The equipment has a transceiver device that emits air pressure waves with ultrasonic frequency in an azimuthal plane and in parallel detects the same waves when backscattered by some material object within its range of detection. The educational device can be considered a small-scale approximation of a SONAR acronym for the English phrase: Sound Navigation and Ranging. The construction of the product was possible due to the advancement of microelectronics, which currently provides electronic transceiver modules for ultrasonic waves, on a single printed circuit along with the availability of electronic prototyping platforms, based on open access microcontrollers (such as Arduino), in addition to sensor modules, electronic devices and shields boards, all with compatible form factor standard. The open access Arduino Electronic Prototyping Platform was used for the

Liliana Yolanda Ancalla DAVILA; Aleksandro Silvestre da ROCHA; Regina Lélis de SOUSA; Érica Cupertino GOMES; Ana Cláudia Carvalho SOUSA; Nilo Mauricio Sotomayor CHOQUE. SISTEMA EDUCATIVO DE DETECÇÃO E TELEMETRIA POR ONDAS DE PRESSÃO DE AR COM FREQUÊNCIA ULTRASSÔNICA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2024. FLUXO CONTÍNUO - FEVEREIRO-MARÇO. Ed. 49. Vol. 1. Págs. 182-206. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

automation and control of the experimental system. For the processing of digital data and elaboration of the code for the graphic visualization of telemetry and detection, the Integrated Processing Development Environment was used, which is also open access. The set is presented as an innovation of digital information and communication technologies implemented in didactic equipment to help experimental physics classes at high school and undergraduate level.

Keywords: Sonar. Longitudinal waves. Arduino. Telemetry. Detection

INTRODUÇÃO

De forma muito geral, a Física é uma ciência que estuda a origem e composição fundamental de tudo que existe, juntamente as suas interações, empregando esse conhecimento para a descrição da mecânica e a fenomenologia de sistemas complexos e macroscópicos. A base desse estudo é o método científico, com destaque para a experimentação como uma parte muito importante do processo (Ataide e Silva, 2011; Young e Freedman, 2014; Etkina, 2002; Wieman, 2015).

A experimentação refere-se à reprodução de determinado fenômeno físico em condições controladas em um laboratório para facilitar a aquisição de dados das variáveis envolvidas, para subsequente análise. A experimentação desempenha vários papéis na ciência, sendo um dos mais importantes, testar teorias e fornecer a base para o conhecimento científico. Do ponto de vista da educação, a experimentação no ensino de ciências desempenha um papel crucial na motivação dos alunos, na consolidação dos conhecimentos apreendidos nas aulas teóricas (Hodson, 1988; Kellen, 2010) e também é uma importante ferramenta para diminuir dificuldades e barreiras que possam surgir nas discussões de conceitos em sala de aula (Araújo e Abib, 2003). Particularmente, no ensino de física, a experimentação é parte importante do processo de ensino aprendizagem (Séré *et al*, 2003; Batista *et al*, 2009), entretanto, no Brasil existe atualmente uma grande dificuldade para os estabelecimentos de ensino fundamental, médio e superior terem acesso à infraestrutura laboratorial robusta e adequada. Muitas escolas públicas sequer têm acesso a laboratórios didáticos (Silva *et al*, 2009).

Por ventura, a globalização comercial e o acelerado desenvolvimento tecnológico na área da microeletrônica tem colocado à disposição sistemas e módulos eletrônicos contendo microcontroladores, microprocessadores, controladores lógicos programáveis, uma grande variedade de sensores, transdutores e atuadores a preços muito acessíveis. Como complemento a esta disponibilidade de sistemas eletrônicos, tem surgido as plataformas de prototipagem eletrônica, de acesso aberto, com base em placas de circuito impresso contendo microcontroladores, microprocessadores ou controladores lógicos programáveis, compatíveis com os sistemas e módulos eletrônicos antes mencionados.

Estas plataformas de prototipagem eletrônica contam com Ambientes de Desenvolvimento Integrados de software, os IDE (do inglês *Integrated Development Environment*), as quais permitem a programação de micro controladores, microprocessadores e controladores lógicos programáveis para aplicações específicas por meio de linguagens computacionais de alto nível, algo que não estava disponível para um público mais amplo, tais como educadores e alunos (Barrett, 2010; Richardson e Wallace 2013; Controllino, 2019). O surgimento destas plataformas de *hardware/software* tem propiciado o desenvolvimento de diversas *shields*, que são placas de circuitos eletrônicos com componentes específicos que ampliam as capacidades do *hardware*, das plataformas de prototipagem eletrônica, possibilitando um multi-acoplamento a elas devido ao padrão de forma compatível do seu desenho.

Esse conjunto de avanços tecnológicos denomina-se Tecnologias de Comunicação e da Informação (TDICs) (Unesco, 2021; Harriet e Hogenbirk, 2001), pois são ferramentas que permitem processamento, emissão, transmissão e recepção de informação digital. Esta atual disponibilidade de meios tecnológicos, passíveis de compreensão por educadores e alunos, encontra um grande potencial de aplicação no desenvolvimento de diversos tipos de experimentos didáticos para auxiliar em aulas de física e ciências, além de equipar museus e feiras de ciências itinerantes.

Experimentos didáticos, em geral, precisam de coleta de dados numéricos das variáveis envolvidas, da visualização destes dados de forma gráfica e de eventual tratamento estatístico. Dependendo do experimento, o número de medições pode ser muito grande, dilatando a experiência e promovendo a introdução de diversos tipos de erros. Nestes tipos de experimentos são empregados sistemas de aquisição de dados,

contendo conversores analógico-digitais, apoiados por atuadores e servomecanismos coordenados por um aplicativo de software de controle automático da aquisição de dados. Atualmente as TDICs disponibilizam as ferramentas para a construção de todos esses meios tecnológicos mencionados, com acesso aberto e custos muito reduzidos.

Neste trabalho é apresentado um sistema experimental móvel e de baixa potência, de detecção e telemetria por ondas ultrassônicas para uso didático. Em suma, o equipamento consiste de um módulo eletrônico transceptor de ondas de pressão de ar com frequência ultrassônica que gira periodicamente em 360° em sentido horário e anti-horário, e em plano azimutal.

O transceptor está ligado a uma placa de circuito impresso contendo um microcontrolador que analisa o sinal de eco e, dependendo da detecção de ondas retroespalhadas, pode revelar algum ente, presente no seu entorno, por meio de sinais visuais e sonoros, bem como aferir a distância do alvo, o ângulo de localização e apresentar os dados de forma gráfica. Em essência, o produto educacional pode ser considerado uma aproximação, em pequena escala, de um SONAR (do inglês *Sound Navigation and Ranging* ou “Navegação e Determinação da Distância pelo Som”), podendo ser usado em aulas experimentais de ondas mecânicas longitudinais em Física ondulatória.

O SONAR é uma técnica que utiliza as propriedades de propagação de ondas de pressão de um fluido para propósitos de navegação, comunicação, detecção ou mapeamento de objetos sobre ou sob a superfície da água, tais como navios ou submarinos entre muitos outros (Blondel, 2009). Dois tipos de tecnologia compartilham o nome de “SONAR”: o SONAR passivo que basicamente escuta o som produzido por embarcações e o SONAR ativo que emite pulsos de som e ouve os ecos. O protótipo cujo desenvolvimento e implementação está se discutindo é o tipo ativo. O SONAR e o RADAR (acrônimo de *Radio Detection and Ranging*) operam de forma similar, mas os radares utilizam ondas eletromagnéticas no processo de detecção de objetos (Le Chevalier, 2002).

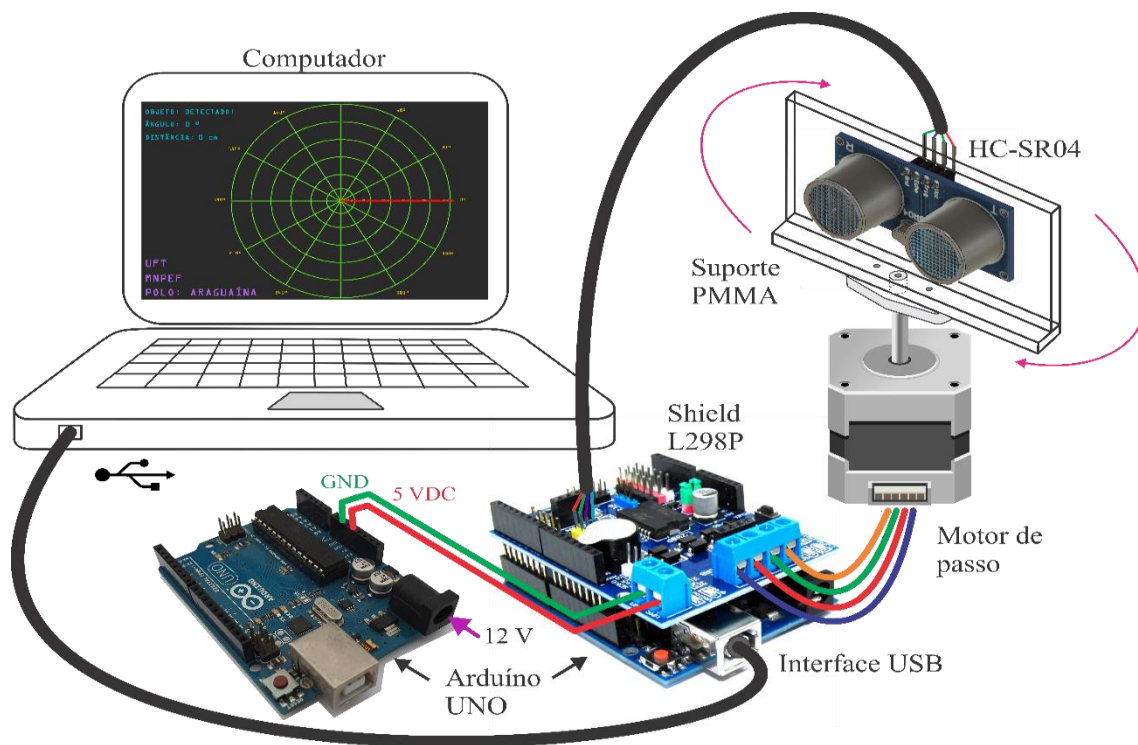
MATERIAIS E MÉTODOS

A construção do sistema de telemetria e detecção por ondas de pressão de ar para uso didático demandou diversos aparatos eletrônicos e foram empregados os seguintes materiais: Um dispositivo eletrônico consistente de um módulo transceptor ultrassônico modelo HC-SR04; Duas placas microcontroladoras Arduíno UNO revisão 3; Uma placa *shield* fabricada pela empresa FunduMoto-Keyes contendo o chip L298P com base em dois *drivers* eletrônicos de ponte H; Um motor de passo bipolar padrão NEMA 17 modelo 42HBR024Y-24B com 200 passos, 3,0-20,0 VDC e torque de 2,7 kg/cm (este é um motor de passo do tipo híbrido); Um suporte construído em acrílico para fixação do dispositivo transceptor; Um adaptador plástico para propiciar o acoplamento do suporte de acrílico com o eixo do motor de passo; Um microcomputador; Um sistema de som para microcomputador; O ambiente integrado de desenvolvimento da plataforma Arduino (IDE) versão 1.8.10; Um cabo de interface serial universal serial bus USB; Um diodo emissor de luz com emissão entre 568-587 nm, 2,6 VDC; Uma fonte de alimentação externa de 12,0 VDC, 1,5 ADC.

Além dos materiais citados acima, foram empregados a linguagem de programação de código aberto e ambiente de desenvolvimento integrado Processing v. 3.5.4 e um arquivo digital contendo o “*ping*”(pulso de sonar) de um submarino em formato mp3.

Todos os materiais e programas indicados estão disponíveis no Brasil ou podem também ser comprados através de mercados globalizados. O preço dos produtos é acessível a um público muito amplo o qual inclui educadores e alunos. O conceito do sistema experimental é mostrado de forma simplificada no esquema da Figura 1, ilustrando os principais componentes empregados e as respectivas conexões físicas entre eles.

Figura 1. Aqui é apresentado o sistema de detecção e telemetria por ondas de pressão de ar ultrassônicas. O HC-SR04 movimenta-se em plano azimutal por um motor de passo bipolar e ambos controlados pelo *shield* L298P e por uma placa Arduíno UNO. Um aplicativo em Processing possibilita a visualização gráfica azimutal em um computador conectado à placa UNO por meio da interface serial, do processo de telemetria e detecção de forma gráfica. A alimentação do *shield* é realizada por uma segunda placa UNO.



Fonte: Autores (2023).

O dispositivo principal do produto educacional é o módulo transceptor eletrônico HC-SR04 (Elec-Freaks, 2021), que é composto de um conjunto de dois transdutores baseados em materiais piezoelétricos de cristais cerâmicos: um sistema emissor e um sistema receptor de ondas de pressão de ar. No emissor, o material vibra em resposta à aplicação de um sinal de tensão elétrica e no receptor a vibração presente no entorno do material piezoelétrico induz a geração de um sinal de tensão elétrica, no cristal, em resposta à variação da pressão do meio.

O sistema emissor gera ondas de pressão de ar com frequência ultrassônica de forma frontal em um ângulo planar com abertura de 30 graus. As ondas que são eventualmente refletidas sobre um alvo material são detectadas pelo sistema receptor situado próximo ao emissor. Sem movimentação, o transceptor pode funcionar de forma unidirecional detectando apenas objetos que se localizam a frente até uma distância máxima de 4,0 m, e em uma região delimitada por um cone com abertura angular planar de 30 graus.

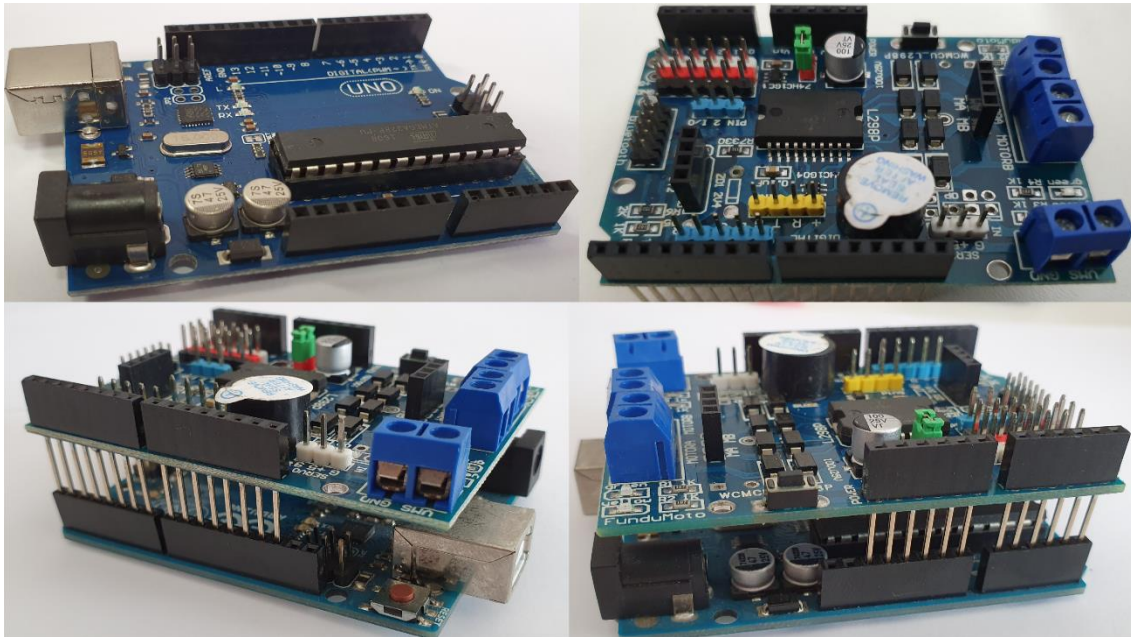
Uma forma de estender as capacidades de detecção do HC-SR04 é movimentá-lo em um plano azimutal e de forma periódica, com intuito de realizar uma varredura de 360 graus. Pode-se ainda adicionar um segundo transceptor com movimentação no

hemisfério polar superior, entre outras possibilidades. No presente trabalho empregou-se apenas a movimentação no plano azimutal.

Devido ao cabeamento de conexão entre o transceptor e o microcontrolador, a rotação do HC-SR04 não pode ser contínua em um único sentido, assim uma solução possível é a movimentação em 360 graus em um sentido seguida da movimentação em 360 graus no sentido contrário, sendo estas duas sequências de rotações aplicadas repetidamente. Para efetivar a movimentação do sistema de sensoriamento foi empregado um motor de passo bipolar padrão NEMA 17 de 200 passos que está diretamente conectado ao *shield* L298P o qual realiza o controle do fornecimento de tensão elétrica e movimentação.

O módulo transceptor também está diretamente acoplado ao *shield* que por sua vez está fisicamente e eletricamente ligado à placa UNO, como mostrado na Figura 2. Na placa UNO foi gravado um código, na linguagem da IDE do Arduíno, que controla simultaneamente a alimentação elétrica, tanto do HC-SR04 quanto do motor de passo. Ademais, o código controla a emissão/recepção dos pulsos de ondas de pressão de ar, assim como realiza o cálculo da posição angular do transceptor e a distância a um eventual alvo localizado. Em adição, este código controla também um sistema de alerta visual e sonoro de detecção composto por um *buzzer* e um diodo emissor de luz. O *buzzer* sonoro faz parte do *shield* L298P.

Figura 2. Aqui, apresenta-se na parte superior esquerda a placa Arduino Uno, na parte superior direita, a placa *shield* FunduMoto-Keyes L298P. Na parte inferior mostra-se o acoplamento (em dois ângulos) das placas *shield* (em cima) e Arduíno UNO (em baixo). Devido a padronização de forma entre as placas, as portas de entrada-saída analógicas e digitais da placa UNO possuem os mesmos terminais disponíveis no *shield*.



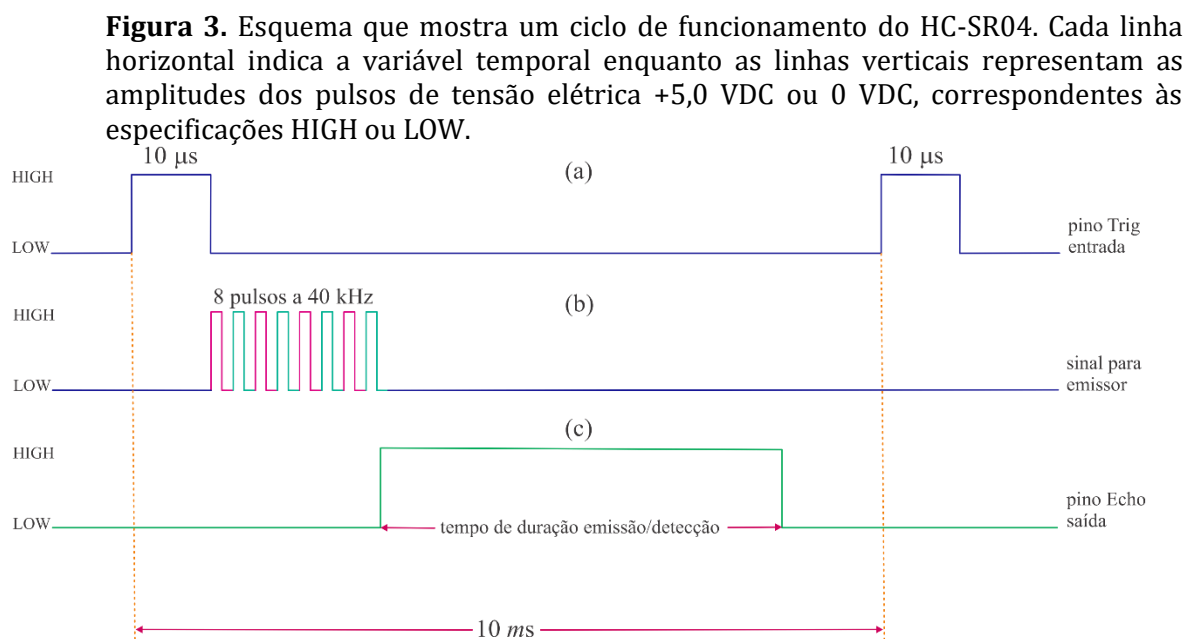
Fonte: Autores (2023).

Finalmente, o microcomputador está conectado com a placa Arduino, por meio da interface serial USB, que permite tanto intercâmbio de informação digital quanto alimentação elétrica. No microcomputador há um aplicativo de software desenvolvido em Processing que mostra, de forma gráfica, o plano azimutal em formato circular, com um raio vetor móvel que indica a posição angular atual do dispositivo transceptor. Quando um objeto, presente no ângulo de varredura do sensor é detectado, o aplicativo mostra linhas coloridas na região de localização do alvo além da posição angular do HC-SR04 em cada instante de tempo bem como à distância de um eventual objeto detectado à fonte geradora de ondas ultrassônicas.

Embora o sistema de telemetria e detecção do tipo ativo, emita ondas ultrassônicas, foram adicionados alguns efeitos complementares com propósito de manter a atenção dos alunos e despertar a curiosidade pela origem dos fenômenos. O primeiro deles é a introdução de uma sub-rotina ao código Processing que simula a emissão periódica de um “ping” sonoro de submarino, com auxílio de um arquivo em formato mp3. Os outros são a geração de um sinal luminoso por meio de um diodo emissor de luz ou LED (acrônimo para *light-emitting diode*), e de um sinal sonoro, por meio de um *buzzer*, quando um objeto é detectado.

O transceptor HC-SR04 possui quatro terminais de conexão: Vcc (entrada de +5.0 VDC); Trig (pino de entrada de pulso de disparo), Echo (pino de saída de pulso de

eco, sendo proporcional à distância) e GND (referência 0 VDC). Todos os pulsos de tensão elétrica são gerados por tecnologia TTL (lógica transistor-transistor). Os quatro terminais são ligados ao *shield*, que possui um conector especial de quatro pinos identificados para o dispositivo transceptor. Para ativar o funcionamento do HC-SR04 é necessário enviar, pelo terminal Trig, um pulso de tensão digital HIGH (+5,0 VDC), com uma duração de 10 μ s (ver figura 3(a)). Quando o módulo transceptor recebe este sinal, seu circuito interno gera um conjunto de oito pulsos de tensão elétrica HIGH com uma frequência de 40 kHz (figura 3(b)) e o envia ao dispositivo transdutor emissor, fazendo vibrar o cristal piezoelétrico e produzindo assim as ondas de pressão de ar que irão se propagar afastando-se da fonte com a velocidade do som. No momento de finalização dos pulsos, o pino de saída de Echo gera um sinal de tensão elétrica digital HIGH e permanece neste estado até que uma onda retroespalhada por um alvo seja detectada pelo transdutor receptor (ver figura 3(c)). Neste instante, o pino de saída Echo passa ao estado LOW. Se nenhum alvo é detectado em um intervalo de 36,0 ms, o pino Echo passa automaticamente para o estado LOW (ver figura 3(d)). A sequência de funcionamento é mostrada graficamente na Figura 3



Fonte: Autores (2023).

O tempo de duração do sinal HIGH do pino Echo é igual ao tempo de duração da viagem de ida e volta de uma onda de pressão de ar eventualmente retroespalhada. Assim, a distância da fonte de ondas ao alvo pode ser calculada pela expressão seguinte:

$$d = (\text{duração do sinal HIGH no pino Echo} \times \text{velocidade do som}) / 2.$$

Antes de ser enviado um novo sinal HIGH ao pino Trig, há um intervalo de tempo de 10 ms. O HC-SR04 está conectado aos terminais + (+5,0 VDC), R (Echo-D8), T (Trig-D7), e G (GROUND) do *shield* FunduMoto-Keyes L298P. Os terminais R e T estão diretamente conectados às portas digitais 8 e 9 da placa Arduino UNO.

O módulo FunduMoto-Keyes L298P (Handson Technology, 2021), é um *shield* de motor que possui padrão de forma compatível com a plataforma Arduino, particularmente com a placa UNO. O *shield* possui vários recursos baseados no *chip* de *driver* L298P (Stmicroelectronics, 2021), composto de dois circuitos de ponte H. O chip L298P contém dois canais de acionamento de ponte H completos que fornecem controle total de velocidade e direção. Os 2 canais de acionamento do motor DC podem operar com tensões de 4,8 VDC a 24,0 VDC e correntes de até 2,0 ADC de pico por canal.

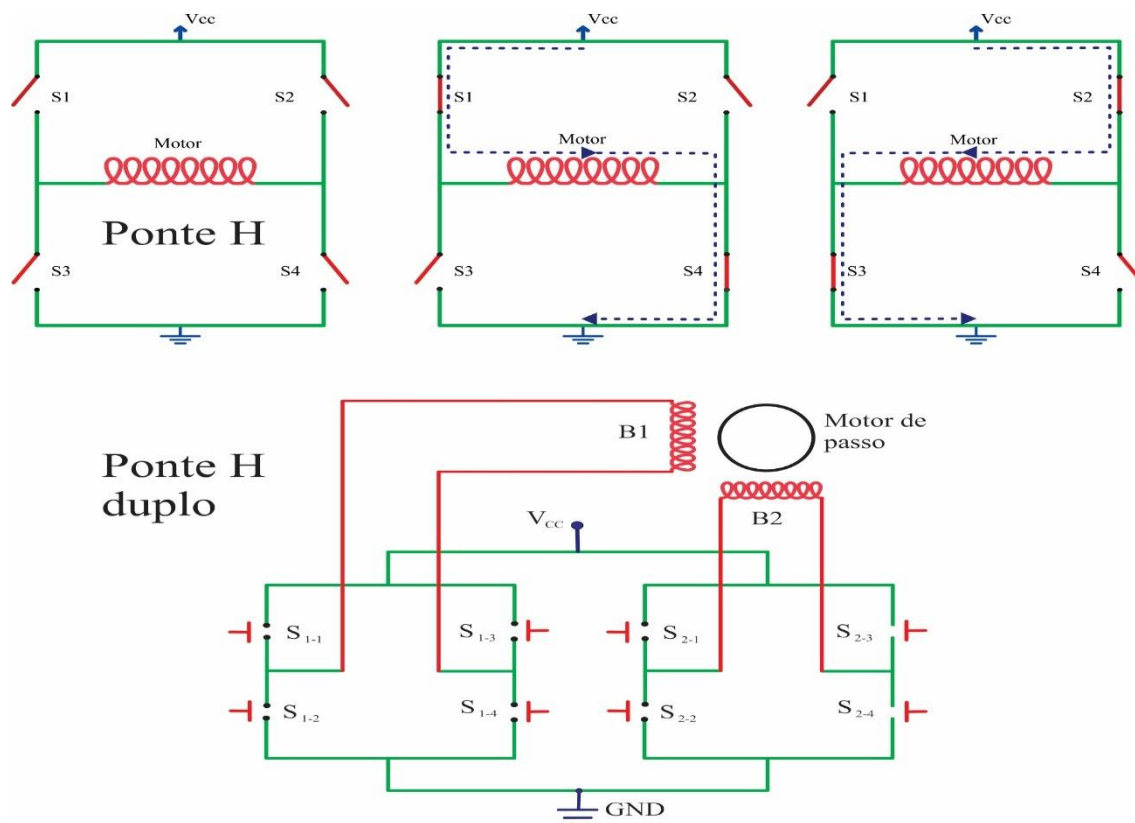
O motor de passo está conectado ao *shield*. Os dois pares de canais são ligados aos terminais MOTOR-A e MOTOR-B. Foi usado um ohmímetro para identificação das bobinas de cada um dos motores por meio da medida de continuidade. Uma ponte H é um circuito eletrônico que muda a polaridade da tensão aplicada a uma carga, e o termo é derivado da representação gráfica típica de um circuito desse tipo, mostrado na Figura 4(a). Uma ponte H é construída com quatro interruptores: quando os interruptores S1 e S4 estão fechados (e S2 e S3 estão abertos), uma tensão positiva será aplicada no motor contra terra, e uma corrente fluirá no sentido indicado. Ao abrir os interruptores S1 e S4 e simultaneamente fechar os interruptores S2 e S3, essa tensão é revertida, com a corrente fluindo na direção indicada, permitindo a operação reversa do motor.

Para controlar um motor de passo bipolar do tipo híbrido é necessário controlar quatro pares de bobinas aplicando-se tensão de polaridade oposta a dois pares de bobinas por vez. Então é preciso dois circuitos de ponte H. Estes circuitos são implementados em *chips* eletrônicos denominados *drivers* tais como o L293D ou o

L298P. O funcionamento do sistema ponte H duplo é ilustrado na parte inferior da Figura 4. O *shield* Fundumoto-Keyes possui o *chip* L298P que é um circuito monolítico integrado em um encapsulamento do tipo Power SO20, constituindo um *driver* de ponte H dupla completo, de alta-tensão e alta corrente, projetado para aceitar os níveis lógicos padrão TTL. São fornecidas duas entradas de habilitação para ativar ou desativar o dispositivo independentemente dos sinais de entrada. Os emissores dos transistores inferiores de cada ponte estão conectados e o terminal externo correspondente pode ser usado para a conexão de um resistor externo sensível. Possui uma fonte de tensão adicional de forma que a parte lógica dos circuitos digitais trabalhe a baixa voltagem.

O *driver* do motor L298P usado no *shield* FunduMoto utiliza as portas digitais 10, 11, 12 e 13 da placa Arduíno (estas portas identificadas no *datasheet* do *shield* pelos rótulos D10, D11, D12 e D13) para controle do motor. Aqueles denominados 10 e 11 são pinos de modulação por largura de pulso (PMW) e se conectam aos pinos EN do *chip* para fornecer controle de velocidade, modulando a entrada de habilitação. D10 controla a velocidade do MOTOR-A e o D11 controla a velocidade do MOTOR-B. Os pinos 12 e 13 são conectados às entradas IN para fornecer controle de direção. E, por fim, o pino 12 controla a direção do MOTOR-A e enquanto o pino 13 comanda a direção do MOTOR-B.

Figura 4. Esquema ilustrativo do funcionamento de um circuito de ponte H simples e de um circuito de ponte H duplo para controle de um motor de passo bipolar.



Fonte: Autores (2023).

Fisicamente, o HC-SR04 está fixado a um suporte de acrílico, como mostrado na Figura 5. O suporte está disponível comercialmente e possui na parte inferior um conjunto de furos de largura variável para fixação por meio de parafusos. Para conectar o suporte de acrílico ao motor de passo é empregado um acoplamento específico de material plástico, como mostrado na parte inferior esquerda da Figura 5. Este dispositivo é disponível comercialmente e pode ser adquirido junto com diversos tipos de servo-motores. Foram empregados dois parafusos autobrocantes para fixação do suporte de acrílico ao acoplamento de material plástico. O HC-SR04 é preso ao suporte polimérico por pressão. No lado direito da Figura 5 evidencia-se a estrutura final do conjunto móvel.

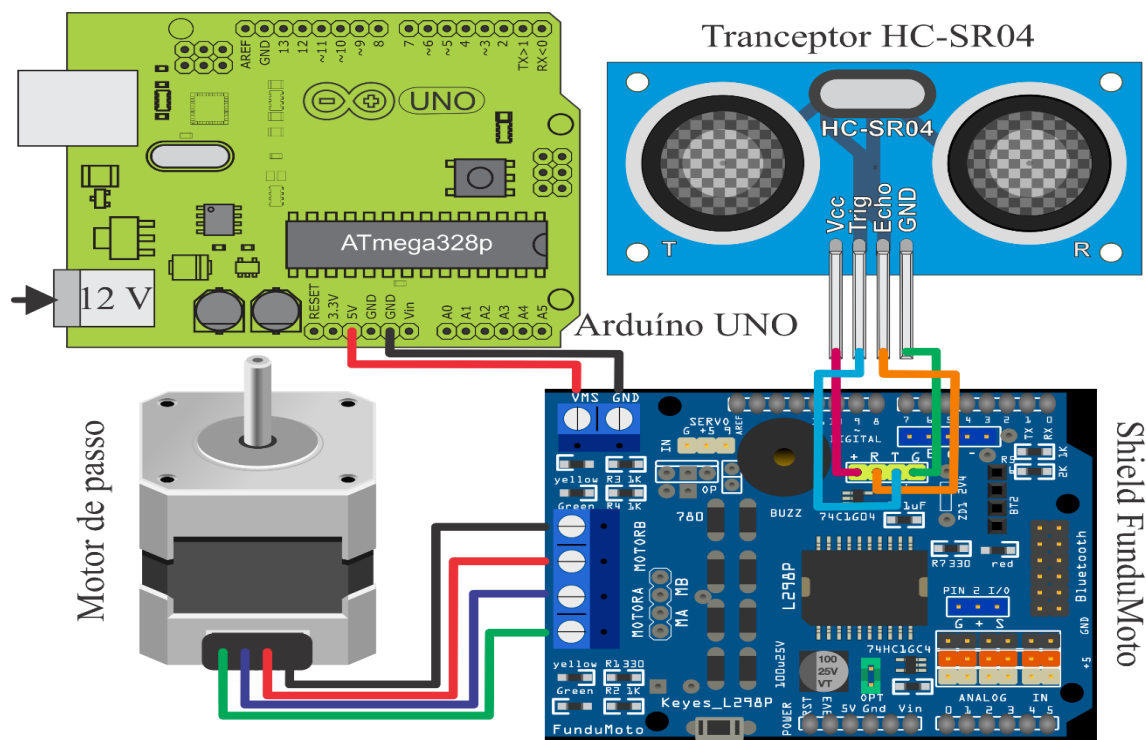
Figura 5. Na parte superior esquerda mostra-se uma fotografia do suporte de acrílico com o HC-SR04 afixado a ela. Na parte inferior esquerda apresenta-se um esquema do acoplamento plástico que é parafusado ao suporte polimérico. E, no lado direito é possível visualizar uma fotografia do conjunto móvel motor de passo-transceptor.



Fonte: Autores (2023).

O esquema explícito de conexões elétricas de todos os componentes do sistema de detecção e telemetria por ondas de pressão de ar ultrassônicas é mostrado na Figura 6. O HC-SR04 e o motor de passo estão conectados ao *shield* o qual, por sua vez, está acoplado a uma placa Arduino na qual está gravado o código computacional cujas funcionalidades foram descritas anteriormente. Uma segunda placa UNO fornece a alimentação elétrica para funcionamento do motor e está conectada a uma fonte de alimentação externa que aprovisiona tensão de 12,0 VDC. A placa Arduino acoplada ao *shield* está conectada ao computador por meio de um cabo USB.

Figura 6. Esquema explícito das conexões elétricas dos componentes do sistema de detecção e telemetria por ondas de pressão de ar ultrassônicas. Neste diagrama bidimensional deve-se considerar a presença de uma placa Arduino UNO (não visível), embaixo da placa *shield* FunduMoto.



Fonte: Autores (2023).

Em sequência, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através da construção e desenvolvimento do sistema HC-SR04.

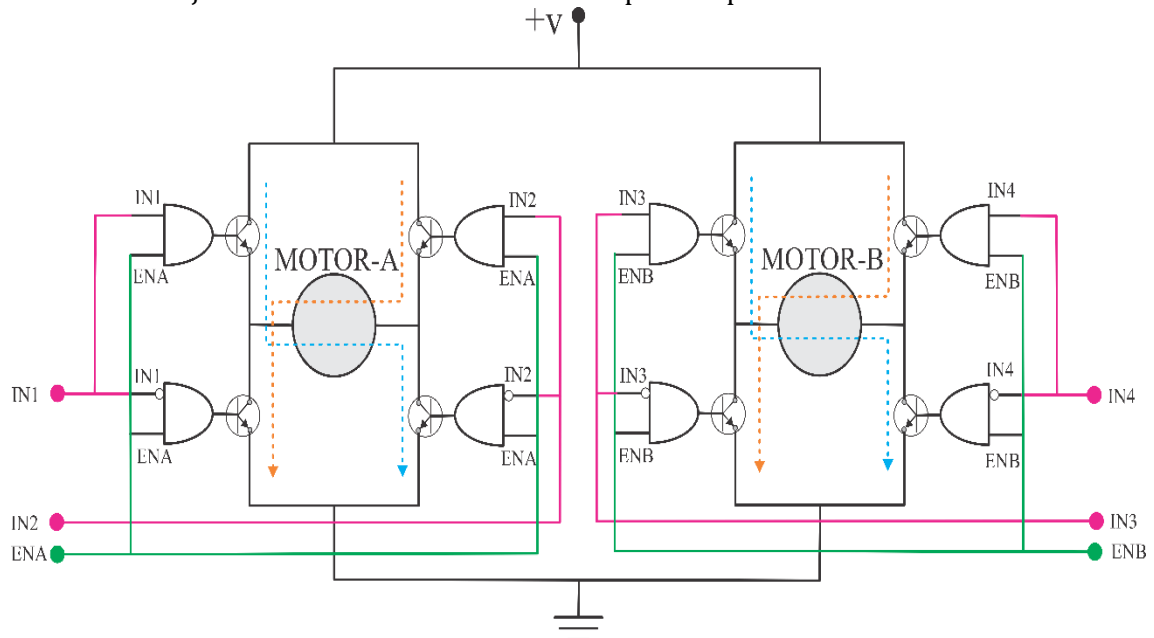
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a montagem física dos componentes do sistema é necessária a gravação do código, em linguagem da IDE do Arduino, para controle e aquisição de dados tanto do transceptor quanto do motor de passo. Este código envia ao aplicativo de software os dados de posição angular do motor e a distância do eventual alvo localizado possibilitando a apresentação gráfica da informação em um *display*, em tempo real. Como indicado, o motor NEMA 17 executa 200 passos de 1,8 graus cada. Este passo é relativamente grande e por este motivo foi empregada a técnica de diminuição de passo denominada de *half-stepping*. Com isto o motor avança metade de um passo por vez. Assim, em invés de percorrer 200 passos em uma rotação (360 graus), ele avança 400 passos (0,9 graus por passo). Isto permite uma maior precisão na detecção de objetos. Sendo necessário, podem-se programar avanços menores a meio passo.

O algoritmo de meio passo está fundamentado no esquema de funcionamento do *chip* L298P mostrado na figura 7. O diagrama apresenta duas pontes H, as quais

alimentam dois conjuntos de bobinas de um único motor de passo bipolar: a primeira bobina é denominada MOTOR-A e a segunda MOTOR-B. Esta notação é necessária pois o *chip* pode alimentar simultaneamente dois motores de corrente contínua. Quatro portas lógicas digitais controlam o acionamento e a direção da corrente em cada bobina. Os terminais ENA (*enable A*) e ENB (*enable B*) habilitam ou desabilitam cada uma das bobinas em acordo com os valores digitais LOW ou HIGH. Os terminais IN1 e IN2, juntamente ao ENA, permitem selecionar a direção da corrente na bobina MOTOR-A enquanto os terminais IN3 e IN4, em conjunto com o ENB selecionam a direção da corrente na bobina MOTOR-B.

Figura 7. Esquema do funcionamento do *chip* L298P que possui duas unidades de ponte H. O dispositivo pode controlar dois motores de corrente contínua ou alimentar dois conjuntos de bobinas de um motor de passo bipolar.

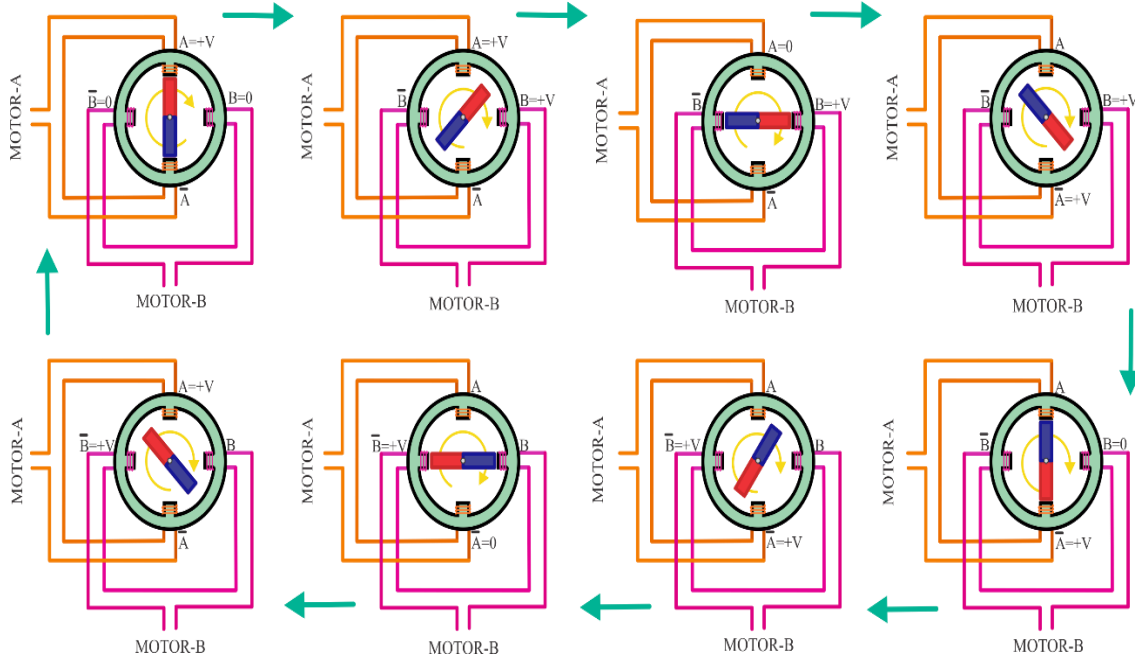


Fonte: Autores (2023).

Como um exemplo do controle da rotação da bobina MOTOR-A, considere-se que ENA está na situação HIGH, assim sendo, a bobina está habilitada. Uma tensão HIGH em IN1 e LOW em IN2 permitirão a passagem de corrente como indicado pela linha tracejada em azul (Figura 7). Se IN1 é LOW e IN2 é HIGH, a direção da corrente será aquela indicada pela linha tracejada em laranja (Figura 7). As portas digitais acionam os transistores permitindo ou impedindo a passagem da corrente através deles.

Para a rotação de um motor bipolar em um passo por vez na direção horária, por exemplo, seguiu-se o esquema simplificado mostrado na figura 8. Iniciando-se na parte superior esquerda da figura, aplica-se tensão $+V$ em A, a parte superior da bobina fica com uma polaridade magnética enquanto que a parte inferior da mesma bobina, denotada \bar{A} , adquire a polaridade magnética invertida. Na sequência, aplica-se tensão $+V$ também em B e o rotor gira de meio passo sendo que neste caso A e B ficam com a mesma polaridade magnética. A seguir, $A=0$ e o motor gira mais meio passo. Para completar uma rotação de 360 graus são realizadas oito mudanças de polaridade das bobinas em sequência. Para rotação anti-horária é realizada a sequência lógica também na direção anti-horária.

Figura 8. Esquema de rotação de meio passo para um motor de relutância variável. A mesma sequência de aplicação alternada de tensão para movimentação em sentido horário ou anti-horário, é aplicada para o caso do motor de passo bipolar híbrido.



Fonte: Autores (2023).

No caso do motor híbrido NEMA 17 são dois pares de bobinas com polaridades invertidas e controladas pela saída MOTOR-A e dois pares de bobinas com polaridades invertidas pela saída MOTOR-B (Jaes Company, 2021). No *shield* FunduMoto, as portas de entrada/saída digitais D12 e D13 permitem o controle da direção das bobinas MOTOR-A e MOTOR-B, respectivamente e, de forma simplificada, controlam os terminais IN1, IN2, IN3, IN4 do *chip* L298P.

No código Arduíno, para controle do motor de passo cuja parte inicial pode ser visualizada na figura 9, as duas portas são definidas como saída. Assim, uma tensão elétrica HIGH possibilitará a seleção da polaridade das fases de uma das bobinas produzindo uma rotação anti-horária do motor de passo. A aplicação de uma tensão LOW permitirá a inversão da polaridade das fases da mesma bobina possibilitando a rotação horária do motor. As portas digitais D10 e D11 (ENA e ENB), também definidas como de saída de sinal, permitem o controle da habilitação/inabilitação das bobinas MOTOR-A e MOTOR-B, respectivamente. No *shield* FunduMoto, uma tensão LOW habilita uma bobina, enquanto que uma tensão HIGH desabilita a mesma bobina. As portas digitais D3 e D5 do *shield*, também definidas como de saída de sinal, permitem o controle do envio de sinais de tensão elétrica com modulação de largura de pulso (PMW acrônimo para *pulse modulation width*) às bobinas MOTOR-A e MOTOR-B, mutuamente.

No caso de uma rotação anti-horária, habilita-se o MOTOR-A e inabilita-se o MOTOR-B, isto é, D10=LOW, D11=HIGH. Em seguida, é escolhida a direção anti-horária colocando D12=HIGH e não é necessário indicar o valor de D13 porque o MOTOR-B está desabilitado. Feita esta seleção é enviado um sinal de tensão VDC com PMW por meio da porta D3 que fará circular uma corrente pela bobina MOTOR-A fazendo girar o motor NEMA 17, em meio passo e no sentido anti-horário. Para continuar o avanço do motor no sentido anti-horário habilita-se também o MOTOR-B, isto é: D10=LOW, D11=LOW. Em sequência, mantém-se a atribuição D12=HIGH e escolhe-se D13=LOW em decorrência da polaridade desta porta, nesse instante, está invertida. Feita a seleção é enviado um sinal de tensão VDC com PMW por meio das portas D3 e D5 que farão circular corrente pelas bobinas MOTOR-A e MOTOR-B, fazendo girar o motor NEMA 17, em meio passo e no sentido anti-horário. As sequências de rotações anti-horária e horárias pode ser continuada seguindo o esquema mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Sequências de tensões digitais aplicadas nas portas digitais das placas *shield* e Arduíno para as rotações anti-horária e horária do motor de passo bipolar.

| ROTAÇÃO ANTI-HORÁRIA | | | | ROTAÇÃO HORÁRIA | | | |
|----------------------|------|---------|---------|-----------------|------|---------|--------|
| D10 | D11 | D12 (A) | D13 (B) | D10 | D11 | D12 (A) | D13(B) |
| LOW | HIGH | HIGH | ----- | LOW | HIGH | HIGH | ----- |
| LOW | LOW | HIGH | LOW | LOW | LOW | HIGH | HIGH |

| | | | | | | | |
|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| HIGH | LOW | ----- | LOW | HIGH | LOW | ----- | HIGH |
| LOW | HIGH | LOW | ----- | LOW | LOW | LOW | HIGH |
| LOW | LOW | LOW | HIGH | LOW | HIGH | LOW | ----- |
| HIGH | LOW | ----- | HIGH | HIGH | LOW | ----- | LOW |
| LOW | LOW | HIGH | HIGH | LOW | LOW | HIGH | LOW |

Fonte: Autores 2023

A Figura 9 mostra a parte inicial do código Arduino que controla a movimentação do motor de passo bipolar por meio do *shield* FunduMoto.

Figura 9. Início do código Arduino que controla o motor de passo.

```

DUAL-BRIDGE-HALF-STEP-COMPLETO-ALL-FINALIZADO
/*CODIGO MEDIO PASO PARA MOTOR DE PASSO BIPOLAR NEMA 17; LABMADE NMSOTOMAYOR 11 JUNE 2021*/
/*ENA, ENB: LOW ENABLE; HIGH DISABLE; EDITADO EM 11 JUNHO AS 11:20HORAS VERSÃO 1.0FF*/
int const BUZZER = 4; // PINO DIGITAL 4 SAÍDA BUZZER
const int LED = 6; // PINO DIGITAL 5 SAÍDA LED
int delaylength = 75; // TEMPO ENTRE PASSOS
int stepnumber = 0; // NUMERO DE PASSO
void setup() // INICIO SETUP
{
  pinMode (3, OUTPUT); // POR MEIO DESTA PINO ENVIA-SE SINAL PWM AOS TERMINAIS DO MOTOR-A
  pinMode (5, OUTPUT); // POR MEIO DESTA PINO ENVIA-SE SINAL PWM AOS TERMINAIS DO MOTOR-B
  pinMode (12, OUTPUT); // CONTROLE DE DIRECAO DE MOTOR A, IN1=HIGH: ANTI-HORARIO e IN1=LOW: HORARIO
  pinMode (13, OUTPUT); // CONTROLE DE DIRECAO DE MOTOR B, IN3=HIGH: ANTI-HORARIO e IN3=LOW: HORARIO
  pinMode (10, OUTPUT); // HABILITA-SE/DESABILITA-SE MOTOR-A (ENA=LOW/HIGH HABILITA/DESABILITA)
  pinMode (11, OUTPUT); // HABILITA-SE/DESABILITA-SE MOTOR-B (ENB=LOW/HIGH HABILITA/DESABILITA)
  Serial.begin(9600); // INICIA-SE COMUNICACAO SERIAL. A SEGUIR BUZZER E LED INDICAM INICIO DO PROCESSO
  pinMode(BUZZER, OUTPUT); // DEFINE-SE PINO DO BUZZER COMO SAIDA
  digitalWrite(BUZZER,HIGH); // ENVIA-SE SINAL HIGH AO BUZZER
  delay(500); // MANTEM-SE O SINAL POR 500 mS
  digitalWrite(BUZZER,LOW); // DESLIGA-SE O BUZZER
  delay(1000); // AGUARDE 1 S
  pinMode(LED, OUTPUT); // DEFINE-SE PINO LED COMO SAIDA
  digitalWrite(LED, HIGH); // ENVIA-SE SINAL HIGH AO LED
  delay(1000); // DURACAO 1 s
  digitalWrite(LED, LOW); // ENVIA-SE SINAL LOW AO LED
  delay(1000); // AGUARDE 1 S.
}
void loop() // FIM SETUP // INICIO LOOP
{
  for (int i = 0; i <= 49; i++)
  {
    // SEQUENCIA DE ROTACAO 360 GRAUS EM DIREÇÃO ANTI-HORARIA
    //PASSO 1 *****/
    digitalWrite(10, LOW); // ENA = LOW MOTOR-A HABILITADO
    digitalWrite(11, HIGH); // ENB = HIGH MOTOR-B DESABILITADO
    digitalWrite(12, HIGH); // IN1 = HIGH DIREÇÃO ANTI-HORÁRIA
    analogWrite(3, 100); // ENVIA-SE PWM A MOTOR-A
    delay(delaylength);
    stepnumber = stepnumber + 1;
    //PASSO2 PASSO INTERMEDIARIO *****/
    digitalWrite(10, LOW); // ENABLE MOTOR-A
    digitalWrite(11, LOW); // ENABLE MOTOR-B
    digitalWrite(12, HIGH); // IN1 = HIGH DIREÇÃO ANTI-HORÁRIA
    analogWrite(3, 100); // MOVE MOTOR-A
    digitalWrite(13, LOW); // IN3 = LOW DIREÇÃO ANTI-HORÁRIA POLARIDADE REVERSA
    analogWrite(5, 100); // MOVE MOTOR-B
    delay(delaylength);
    stepnumber = stepnumber + 1;
  }
}

```

Fonte: Autores (2023).

A modificação do código mostrado na Figura 9 para incluir o controle do transceptor HC-SR04 pode ser visualizada na Figura 10. São introduzidas novas variáveis como: duration, distance, ângulo, iangulo, idistance (definidas nas linhas 10 a 15 do respectivo código), além da sub-rotina Dist() listada no final do código. Estas variáveis permitem a realização das contagens da posição angular e da distância ao

alvo em cada passo de avanço do motor. As linhas do código 85 a 367 não são mostradas em decorrência da impossibilidade de visualização na figura 10, mas descrevem os avanços de meio passo para rotação anti-horária e horária do motor bipolar descritas na tabela 1 e Figura 9.

Figura 10. Mostra-se o início e a parte final do código Arduino modificado para incluir o controle do módulo transceptor HC-SR04.

```

DUAL-BRIDGE-HALF-STEP-COMPLETO-ALL-FIN
4  /*****
5  int const BUZZER = 4;
6  const int LED = 6;
7  const uint8_t trig_pin = 7;
8  const uint8_t echo_pin = 8;
9  int delaylength = 75;
10 unsigned long duration;
11 unsigned long distance;
12 float angulo = 0;
13 int stepnumber = 0;
14 int iangulo;
15 int idistance;
16 void setup()
17 {
18   pinMode (3, OUTPUT);
19   pinMode (5, OUTPUT);
20   pinMode (12, OUTPUT);
21   pinMode (13, OUTPUT);
22   pinMode (10, OUTPUT);
23   pinMode (11, OUTPUT);
24   pinMode(trig_pin, OUTPUT);
25   pinMode(echo_pin, INPUT);
26   digitalWrite(trig_pin, LOW);
27   Serial.begin(9600);
28   pinMode(BUZZER, OUTPUT);
29   digitalWrite(BUZZER,HIGH);
30   delay(500);
31   digitalWrite(BUZZER,LOW);
32   delay(1000);
33   pinMode(Led, OUTPUT);
34   digitalWrite(LED, HIGH);
35   delay(1000);
36   digitalWrite(LED, LOW);
37   delay(1000);
38 }
39 void loop()
40 {
41   for (int i = 0; i <= 49; i++)
42   {
43     if(distance <= 40ul)
44     {
45       tone(BUZZER,850,500);
46       digitalWrite(LED, HIGH);
47     }
48     else
49     {
50       digitalWrite(LED, LOW);
51     }
52     // ROTACAO ANTIHORARIA
53     //PASSO 1 *****
54     digitalWrite(10, LOW);
55     digitalWrite(11, HIGH);
56     digitalWrite(12, HIGH);
57     analogWrite(3, 100);
58     delay(delaylength);
59     stepnumber = stepnumber + 1;
60     angulo = stepnumber*0.9;
61     iangulo = (int)angulo;
62     distance = Dist();
63     idistance = (int)distance;
64     Serial.print(iangulo);
65     Serial.print(",");
66     Serial.print(idistance);
67     Serial.print(",");
68     //PASSO2 *****
69     digitalWrite(10, LOW);
70     digitalWrite(11, LOW);
71     digitalWrite(12, HIGH);
72     analogWrite(3, 100);
73     digitalWrite(13, LOW);
74     analogWrite(5, 100);
75     delay(delaylength);
76     stepnumber = stepnumber + 1;
77     angulo = stepnumber*0.9;
78     iangulo = (int)angulo;
79     distance = Dist();
80     idistance = (int)distance;
81     Serial.print(iangulo);
82     Serial.print(",");
83     Serial.print(idistance);
84     Serial.print(",");
368   Serial.print(iangulo);
369   Serial.print(",");
370   Serial.print(idistance);
371   Serial.print(",");
372   //PASSO8
373   digitalWrite(10, LOW);
374   digitalWrite(11, LOW);
375   digitalWrite(12, HIGH);
376   analogWrite(3, 100);
377   digitalWrite(13, LOW);
378   analogWrite(5, 100);
379   delay(delaylength);
380   stepnumber = stepnumber - 1;
381   angulo = stepnumber*0.9;
382   iangulo = (int)angulo;
383   distance = Dist();
384   idistance = (int)distance;
385   Serial.print(iangulo);
386   Serial.print(",");
387   Serial.print(idistance);
388   Serial.print(",");
389   }
390   digitalWrite(10, HIGH);
391   digitalWrite(11, HIGH);
392   delay(250);
393   stepnumber = 0;
394 } //FIM LOOP FUNCTION
395 /*****
396 /***** FIM PROGRAMA PRINCIPAL *****/
397 unsigned long Dist()
398 {
399   digitalWrite(trig_pin, LOW);
400   delayMicroseconds(2);
401   // Sets the trigPin on HIGH state for 10 micro seconds
402   digitalWrite(trig_pin, HIGH);
403   delayMicroseconds(10);
404   digitalWrite(trig_pin, LOW);
405   duration = pulseIn(echo_pin, HIGH); // READ ECHO
406   distance= (duration*0.034)/2.0;
407   return distance;
408 } //fim function Dist

```

Fonte: Autores (2023).

O código Arduino mostrado na figura 10 controla tanto o motor de passo bipolar quanto o módulo transceptor e os valores calculados e enviados pela porta serial podem ser visualizados e verificados, em tempo real, com auxílio das ferramentas Monitor Serial e Plotter Serial do IDE do Arduino. Os dados de posição angular e distância ao alvo são enviados por meio da porta serial a um microcomputador contendo um aplicativo em Processing cujo propósito é apresentar esses dados de forma gráfica em um display e em tempo real. O código é uma extensão e adaptação de um programa fonte base desenvolvido no website: *howtomechatronics* (Dejan, 2021)

para um servomotor operando em 150 graus. O software foi estendido e adaptado, para o sistema descrito na seção Materiais e métodos incluindo-se: rotação periódica de motor de passo bipolar híbrido com *half-stepping* em 360 graus; alerta sonoro através de um *buzzer*, alerta luminoso através de um LED RGB e efeito sonoro periódico de “*ping*” de um submarino gravado em um arquivo em formato MP3.

O software emprega as livrarias *ddf.minim* para a abertura, leitura e recarga de um arquivo de áudio (*sonar-ping.mp3*) de forma periódica a cada 20 graus. Este é um efeito não correlacionado com o envio dos pulsos de pressão ultrassônicos enviados pelo HC-SR04 e tem por objetivo simular o efeito de um sonar ativo criado eletronicamente e empregado em submarinos antigos.

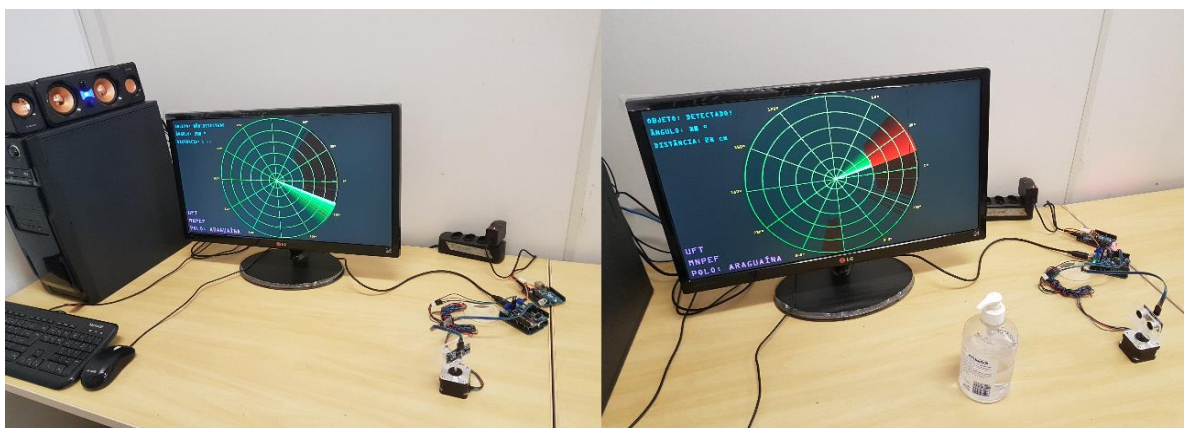
O código é programado para gerar uma área retangular de cor preta que ocupa a dimensão total do *display*, além de mostrar um sistema de coordenadas polares com círculos concêntricos (em cor verde), com um raio vetor giratório partindo do centro do sistema de coordenadas e com um comprimento de 60,0 cm intersectando o círculo de maior raio. O raio vetor deverá girar em sincronia com o transceptor movimentado pelo motor de passo e deixando um traço de um pequeno conjunto de linhas radiais desbotadas pela região onde passou (*fading*). O sistema de coordenadas polares possui uma escala de comprimentos com origem no centro, indicando 60,0 cm de comprimento na intersecção do raio vetor com o círculo de maior raio. Esta distância é empregada como alcance efetivo do HC-SR04, mesmo que o alcance real seja de 4,0 m. Isto significa que, por questões didáticas, objetos que se encontrem a uma distância menor de 60,0 cm do transceptor serão detectados, sendo que esse valor pode ser alterado no código, possibilitando atingir o valor máximo de 4.0 m.

Quando o código é iniciado, estabelece-se a comunicação serial com a placa Arduíno a uma velocidade de transmissão *Baud Rate* de 9600 bps. Em seguida, o motor de passo inicia o giro em sentido anti-horário e o raio vetor sinaliza o ângulo de rotação em tempo real por meio de uma linha em cor verde. O motor de passo faz girar o módulo transceptor 360 graus iniciando pelo sentido anti-horário e em sequência move-se no sentido horário, repetindo-se o movimento de forma periódica até ser enviada uma ordem de parada. Se um objeto está localizado no âmbito de alcance do transceptor, ele emitirá um sinal sonoro por meio de *buzzer* e simultaneamente um sinal luminoso por meio do LED. Observar-se-á a mudança para a cor vermelha do raio

vetor que compõe o sistema de coordenadas polares apenas na região de projeção bidimensional de localização do objeto (ver figura 11). Estas linhas vermelhas possuem um tempo de desbotamento maior para permitir a confirmação da identificação do alvo localizado.

Como é possível perceber pelas imagens apresentadas na figura 11, as linhas vermelhas deixadas pela rotação do raio vetor sinalizam uma região espacial bidimensional cuja posição está indicada pelo eixo horizontal e o ângulo pela posição do raio vetor. De forma concomitante há indicadores textuais no display que foram programados para indicar a posição do alvo em relação ao sensor e o ângulo azimutal no qual se encontra.

Figura 11. Fotografias que mostram o sistema educativo de detecção e telemetria por ondas de pressão de ar com frequência ultrassônica descrito no presente trabalho. Um objeto está colocado no âmbito de alcance do transceptor deixando uma área vermelha, com desbotamento gradual no sistema de coordenadas polares.



Fonte: Autores (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi construído e testado um sistema educativo e de baixa potência de detecção e telemetria por ondas de pressão de ar com frequência ultrassônica. O controle da aquisição de dados do sistema e a apresentação gráfica dos dados da detecção foram implementados por meio de um aplicativo no ambiente de desenvolvimento Processing. O controle preciso do motor de passo e do módulo transceptor HC-SR04 foi realizado por meio de um código construído no ambiente de desenvolvimento integrado da plataforma Arduino e efetivado com o emprego de uma placa modelo UNO revisão 3 com o auxílio de um shield FunduMoto-Keyes contendo o chip L298P.

Após testes, conclui-se que o sistema detecta com eficiência objetos materiais em um plano azimutal com raio de alcance de 60,0 cm e apresenta os dados da detecção de forma gráfica em um *display*, além de gerar alertas visuais e sonoros de forma concomitante. O produto educacional foi construído e fundamentado na metodologia “faça você mesmo” empregando-se, para a estrutura física, materiais e módulos eletrônicos com padrão de forma compatível e de baixo custo, disponíveis a qualquer usuário do Brasil.

Mediante o exposto neste trabalho, o sistema experimental pode ser replicado por professores de Física em conjunto com os seus alunos, uma vez que o detalhamento de produção foi descrito neste manuscrito e os códigos de software são disponibilizados de forma aberta (Sotomayor, 2021), permitindo assim que o produto educacional completo seja introduzido como uma ferramenta, principalmente de caráter demonstrativo, para equipar laboratórios didáticos em nível de ensino médio e superior com intuito de motivar, apoiar e consolidar o ensino-aprendizagem dos fenômenos ondulatórios na Física Mecânica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Nacional de Eletrônica Orgânica INEO, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES e ao programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física MNPEF pelo suporte ao desenvolvimento do trabalho apresentado.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, M. S. T., ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176 – 194, 2003.

ATAIDE, M. C. E. S.; SILVA, B. V. C. As metodologias de ensino de ciência: contribuições da experimentação e da história e filosofia da ciência. **HOLOS** (IFRN), v. 27, n. 4, p. 171, 2011.

BARRETT, S. **Arduino Microcontroller Processing for Everyone**: Part I. Morgan & Claypool U.S.A., 2010.

Liliana Yolanda Ancalla DAVILA; Aleksandro Silvestre da ROCHA; Regina Lélis de SOUSA; Érica Cupertino GOMES; Ana Cláudia Carvalho SOUSA; Nilo Mauricio Sotomayor CHOQUE. SISTEMA EDUCATIVO DE DETECÇÃO E TELEMETRIA POR ONDAS DE PRESSÃO DE AR COM FREQUÊNCIA ULTRASSÔNICA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2024. FLUXO CONTÍNUO – FEVEREIRO-MARÇO. Ed. 49. Vol. 1. Págs. 182-206. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

BATISTA M. C., FUSINATO P. A., BLINI R. B. Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences* v. 31, p. 1, 2009.

BLONDEL, P. **The Handbook of Sidescan Sonar**. Springer-Praxis 2009.

CONTROLLINO. **Instruction Manual**. 2019. Disponível em: <https://www.controllino.com/wp-content/uploads/2019/02/CONTROLLINO-Instruction-Manual-V1.5-2018-12-14.pdf>. Acesso em: julho 2021.

DEJAN, N. **Arduino Radar Project**. 2021. Disponível em: <https://howtomechatronics.com/projects/arduino-radar-project/>. Acesso em julho 2021.

ELEC-FREAKS. Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. **Datasheet**. 2021. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>. Acesso em: julho 2021.

ETKINA, E. Role of Experiments in Physics Instruction: A Process Approach. **The Physics Teacher** 40, 351, 2002.

HANDSON TECHNOLOGY. L298P 2A dual h-bridge motor shield for Arduino. **Datasheet**. 2021. Disponível em: <http://www.handsontec.com/dataspecs/arduino-shield/L298P%20Motor%20Shield.pdf>. Acesso em: julho 2021.

HARRIET T e HOGENBIRK P. **Information and Communication Technologies in Education**. IFIP Advances in Information and Communication Technology 58, Springer US 2001.

HODSON, D. **Experiments in science and science teaching**. Educational Philosophy and Theory v. 20, p. 2 1988.

JAES COMPANY. **How do Stepper Motors work? (Part 2) Hybrid Stepper Motor**. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=1_AJkEFk7Zk. Acesso em: julho de 2021.

KELLEN, G. **A experimentação no ensino de ciências: possibilidades e limites na busca de uma aprendizagem significativa**. Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília, Instituto de Física, Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, 2010.

LE CHEVALIER, F. **Principles of Radar and Sonar Signal Processing**. Artech House 2002.

RICHARDSON M. e WALLACE S. **Getting Started with Raspberry Pi**. 1st edition, Ed. O'Reilly, 2013.

Liliana Yolanda Ancalla DAVILA; Aleksandro Silvestre da ROCHA; Regina Lélis de SOUSA; Érica Cupertino GOMES; Ana Cláudia Carvalho SOUSA; Nilo Mauricio Sotomayor CHOQUE. SISTEMA EDUCATIVO DE DETECÇÃO E TELEMETRIA POR ONDAS DE PRESSÃO DE AR COM FREQUÊNCIA ULTRASSÔNICA. *JNT Facit Business and Technology Journal*. QUALIS B1. 2024. FLUXO CONTÍNUO - FEVEREIRO-MARÇO. Ed. 49. Vol. 1. Págs. 182-206. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculadefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculadefacit.edu.br.

SÉRE M-G, COELHO S. M., NUNES A. D. O papel da experimentação no ensino da Física. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 20, p. 1, 2003.

SILVA, D. G., NOBRE, F. A. S. e DANTAS, C. R. Formação dos Professores e Laboratórios Didáticos de Física na Região do Cariri-Ceará. **Cadernos de Cultura e Ciência**, v. 1, n. 1, 2009.

SOTOMAYOR, N. M. **Basic automation for physics teaching**. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/channel/UCGJV8Ejpih_cirBfrNX5QNw. Acesso em: julho de 2021.

STMICROELECTRONICS. L298P. **Datasheet**. 2021. Disponível em: <https://br.mouser.com/datasheet/2/389/l298-1849437.pdf>. Acesso em: julho 2021.

UNESCO Learning Portal. **Information and communication technology (ICT) in education**. 2021. Disponível em: <https://learningportal.iiep.unesco.org/en/issue-briefs/improve-learning/curriculum-and-materials/information-and-communication-technology-ict>. Acesso em: julho 2021.

YOUNG, H. D. e FREEDMAN, R. A. Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics Technology Update. 13th ed. **Pearson Education** 2014. ISBN 978-1-292-02063-1.

WIEMAN, C. Measuring the impact of an instructional laboratory on the learning of introductory physics. **American Journal of Physics** v. 83, p. 972, 2015.