

QUAL A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA UMIDADE RELATIVA EM MEDIDAS DE COMPRIMENTO DE MANGUEIRAS? UMA ABORDAGEM COM O ARDUINO E A REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

HOW TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY INFLUENCE ON THE LENGTH MEASUREMENTS OF HOSES? AN APPROACH WITH ARDUINO AND SIMPLE LINEAR REGRESSION

LEONARDO MOTA¹, THAÍS AMARAL FREITAS¹, JOÃO PEDRO DOS SANTOS GOMES¹, DANIEL DA SILVA SANTOS¹, MARCELO GOMES DA SILVA¹, GUILHERME RODRIGUES LIMA², MILENA FILADELPHO COUTINHO³

¹Laboratório de Ciências Físicas, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes–RJ, Brasil.

²Departamento de Química e Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre–ES, Brasil.

³Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes–RJ, Brasil.

Resumo

A placa Arduino foi utilizada em combinação com os sensores HC-SR04 e DHT11 para medir o comprimento de duas diferentes mangueiras de borracha através do guiamento de ondas ultrassônicas. Os experimentos consistiram em aferir os comprimentos levando em consideração a correção e a não correção da temperatura (T) e da umidade relativa (U.R.) do ambiente. Os dados foram comparados com aqueles obtidos com uma trena de fita comercial (TFC), cujos valores de referência medidos foram $L_{1,ref} = (103,6 \pm 0,5)$ cm e $L_{2,ref} = (206,5 \pm 0,5)$ cm. Os resultados mostraram que ao introduzir a correção, os valores se aproximavam daqueles computados com a TFC. Comprimentos iguais a $L_1 = (97,5 \pm 0,6)$ cm e $L_2 = (195,7 \pm 0,7)$ cm foram determinados para o cenário não-corrigido. Já para o cenário onde a correção foi implementada, as leituras médias foram $L_1(T,U.R.) = (101,7 \pm 0,9)$ cm e $L_2(T,U.R.) = (204,6 \pm 0,7)$ cm. Em âmbito geral, podemos notar que tais resultados foram mais próximos aos de referência, indicando diferenças de 1,8% e 0,92%, respectivamente. Por outro lado, os valores não compensados estiveram em torno de 5% aquém dos medidos com a TFC. Os testes estatísticos corroboraram os resultados experimentais sugerindo que a regressão linear simples (RLS) não se apresentou adequada para as medidas não corrigidas. No entanto, ao serem levadas em consideração T e U.R. nas análises estatísticas, a RLS teve seus pressupostos atendidos e, assim, foi mostrado que esses preditores

foram responsáveis por explicar, em média, 21,4% e 23,9% das observações nos comprimentos de $L_1(T,U.R.)$ e $L_2(T,U.R.)$, respectivamente. Portanto, a partir de um sistema de fácil montagem e de relativo baixo custo, a influência da T e da U.R. na determinação de comprimentos de mangueiras foi investigada. Outrossim, uma equação que corresponde ao comprimento de cada amostra foi proposta após o tratamento estatístico dos dados com o auxílio do software gratuito Jamovi. A próxima etapa é fazer com que educandos do Ensino Médio de uma escola pública do Estado do Rio de Janeiro realizem este experimento e que, mediados pelos docentes, trabalhem conceitos de Física e Matemática de maneira contextualizada.

Palavras-chave: ATmega328. DHT11. Educação. HC-SR04. Jamovi.

Abstract

The Arduino board was used in conjunction with HC-SR04 and DHT11 sensors to measure the length of two different rubber hoses through ultrasonic waves guidance. The experiments involved assessing lengths while considering the correction and non-correction of ambient temperature (T) and relative humidity (R.H.). The data were compared with those obtained from a commercial tape measure (CTM), with reference measured values of $L_{1,ref} = (103.6 \pm 0.5)$ cm and $L_{2,ref} = (206.5 \pm 0.5)$ cm. The results showed that introducing the correction brought the values closer to those computed with the CTM. Lengths equal to $L_1 = (97.5 \pm 0.6)$ cm and $L_2 = (195.7 \pm 0.7)$ cm were determined for the non-corrected scenario. For the scenario where the correction was implemented, the average readings were $L_1(T,R.U.) = (101.7 \pm 0.9)$ cm and $L_2(T,R.U.) = (204.6 \pm 0.7)$ cm. Overall, it was observed that these results were closer to the reference values, indicating differences of 1.8% and 0.92%, respectively. On the other hand, uncompensated values were around 5% lower than those measured with the standard CTM. Statistical tests supported the experimental results, suggesting that simple linear regression (SLR) was not suitable for non-corrected measurements. However, when T and R.H. were considered in the statistical analyses, SLR met its assumptions, and it was shown that these predictors were responsible for explaining, on average, 21.4% and 23.9% of the observations in the lengths of $L_1(T,R.H.)$ and $L_2(T,R.H.)$, respectively. Therefore, using a relatively low-cost and easily assembled system, the influence of T and R.H. on hose length determination was investigated. Additionally, an equation corresponding to the length of each sample was proposed after statistical data treatment with the help of the free software Jamovi. The next step is to have high school students from a public school in the state of Rio de Janeiro perform this experiment and, guided by teachers, work on Physics and Mathematics concepts in a contextualized manner.

Keywords: ATmega328. DHT11. Education. HC-SR04. Jamovi.

I. INTRODUÇÃO

Na última década, um expressivo aumento de trabalhos que têm adotado o Arduino como ferramenta no processo de ensino-aprendizagem tem sido observado no Brasil. Na Física, esse panorama não é diferente, apesar de números modestos. Como forma de contextualizar esse cenário, uma busca pela palavra-chave Arduino foi realizada em três periódicos brasileiros de Física no dia 29 de janeiro de 2024, a saber, Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) a Revista Brasileira de Ensino em Ciência e Tecnologia (RBECT) e a Revista do Professor de Física (RPF). A escolha dos periódicos se deu pela afinidade com o viés e público-alvo desse trabalho, i.e., o ensino e o professor de Física. A pesquisa foi igualmente feita na base de dados *Web of Science* para a mesma janela temporal de dez anos, a fim de traçarmos um paralelo com o quadro internacional. Com o intuito de estreitar os resultados, trazendo-os para a temática de interesse, somente as publicações relacionadas aos filtros *Education* e *Educational Research* foram computadas. O número de publicações por ano e o seu cumulativo temporal estão dispostos na Figuras 1(a) e (b). As tendências quantitativas para ambos os cenários (nacional e internacional) indicavam aumento no número de publicações até os anos de 2019 (internacional) e 2020 (nacional). A partir de então, elas experimentaram declínios. Sugerimos que tais quedas claramente observadas na Figura 1(a) podem estar associadas ao advento da pandemia da COVID-19 que, dentre tantas consequências, impediu que escolas e universidades funcionassem em sua plenitude (GUSSO et al., 2020). Na Figura 1(b) temos o cumulativo dessas produções tanto em âmbito internacional (241) quanto nacional (85).

O uso do Arduino como vetor motivador e potencializador no processo de ensino-aprendizagem tem sido encontrado sob os mais diversos contextos no ensino de Física, e.g., dilatação do ar (STUCHI; PAZ, 2021), queda livre (BALDO et al., 2016; SILVA et al., 2016), determinação da constante de Planck (OLIVEIRA et al., 2020), calorímetro de relaxação (ROCHA; GUADAGNINI; LUCHESE, 2017) e calorimetria (SILVA; MELO; FREITAS, 2023), fenômeno das marés (SOARES; AMORIM, 2020) e armazenamento de energia em capacitores (SCHIAVON et al., 2022). O Arduino permite o seu interfaceamento com computadores e até *smartphones* via *bluetooth*, o que confere aos protótipos a vantagem de terem seus dados monitorados em tempo real (ROCHA; GUADAGNINI, 2013). Adicionalmente, a plataforma possibilita a visualização das informações coletadas através de tabelas e gráficos. Por essas e outras vantagens trazidas pela literatura (MOREIRA et al., 2018), o Arduino abre caminho para os educandos dedicarem mais tempo ao tratamento, análise e interpretação dos seus resultados. Apesar disso, trabalhos que explorem estatisticamente dados obtidos a partir de diferentes sensores combinados com o Arduino voltados para o ensino de Física são escassos na literatura.

Com o propósito de preencher essa lacuna, o trabalho lança luz sobre a análise por regressão linear simples (RLS). Trata-se de uma técnica econométrica bivariada de dados que busca, via testes estatísticos, identificar como o preditor (variável independentes) se conecta, na tentativa de explicar a única resposta (desfecho ou variável dependente) (CHEIN, 2019). Dada a sua versatilidade enquanto método analítico estatístico, a RLS tem sido trabalhada nos mais diversos seguimentos do conhecimento (CASTRO-PACHECO et al., 2024; CHAYÑA et al., 2023; RAMOS; SILVEIRA; MAIA, 2022; MEDEIROS; BIANCHI, 2009). Tendo em vista

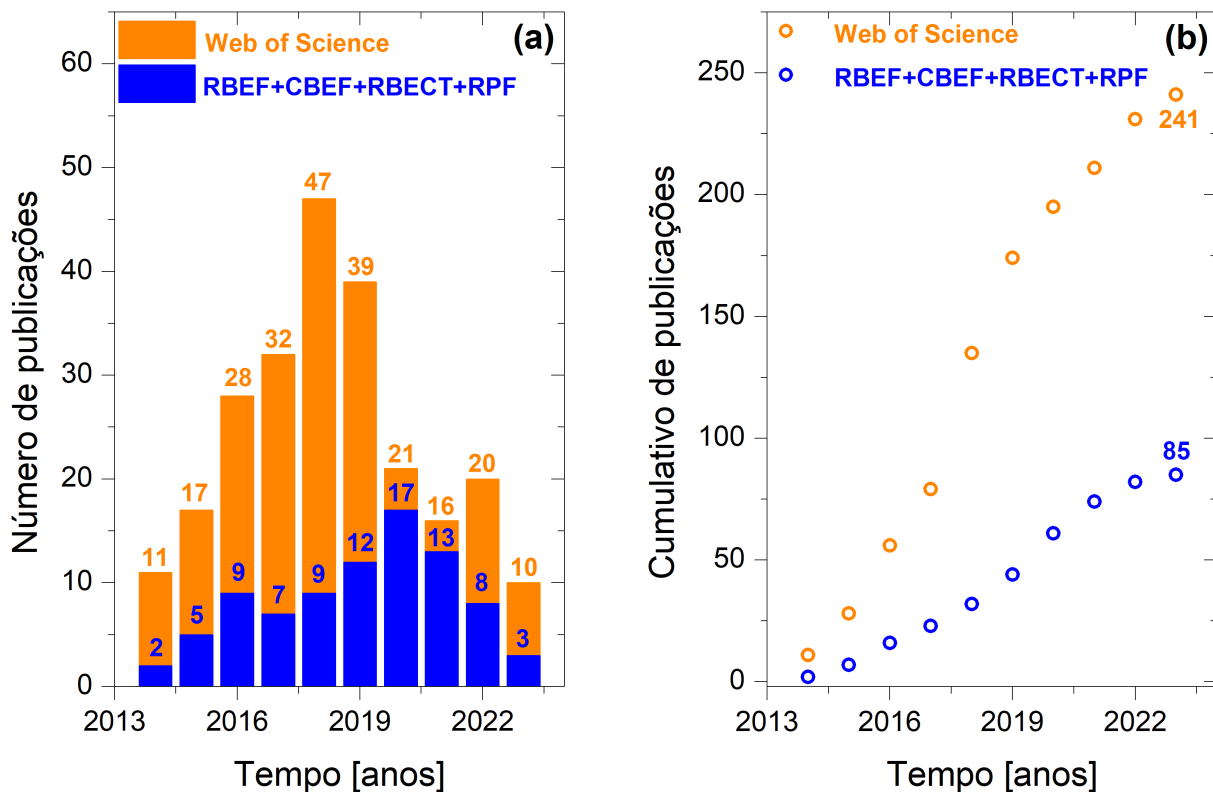


Figura 1: Número de publicações nos últimos 10 anos (a) e o cumulativo dessas publicações (b) em função do tempo. Símbolos azuis representam os dados coletados dos periódicos nacionais e os laranjas correspondem aos dados da Web of Science. Fonte: os autores.

o supracitado, este trabalho apresenta uma proposta didática de trena digital ultrassônica baseada na plataforma Arduino combinada aos sensores HC-SR04 e DHT11, a fim de medir o comprimento de duas diferentes mangueiras de borracha em dois cenários, a saber, com e sem a compensação de temperatura e umidade relativa do ambiente. Outrossim, a RLS foi aplicada como método estatístico para corroborar os resultados experimentais, além de fornecer subsídios analíticos visando a interpretação numérica dos modelos matemáticos alcançados.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

II.1. TRENA DIGITAL ULTRASSÔNICA

Na construção deste projeto de uma trena digital ultrassônica (TDU, Figura 2) para aferir comprimentos de objetos, levando em consideração medidas de temperatura (T) e umidade relativa (U.R.) do ambiente, utilizamos a plataforma Arduino, uma *proto board*, sensores de distância (HC-SR04), T e U.R. (DHT11), duas mangueiras de borracha de diferentes comprimentos, além de fios (*jumpers*) e um resistor de 10 k Ω . A placa microcontroladora

empregada neste trabalho foi a Uno R3 que tem como base o microchip ATmega328. Ela é uma interface de código aberto, o que permite ser programada no próprio ambiente de desenvolvimento integrado (do inglês *Integrated Development Environment*, IDE) do Arduino (SANTOS et al., 2021). Uma vez escrita a rotina no computador (geralmente em linguagem C++), ela é transferida para o microchip via cabo USB. O circuito a ser interfaceado é conectado ao microcontrolador. O Uno R3 então passa a comandar todo o funcionamento dos dispositivos acoplados a ele, e faz com que operem em conformidade com a rotina. Detalhes adicionais e informações técnicas a respeito dessa plataforma são facilmente encontrados na literatura (PATEL; CHAUDHARI, 2023; HARYANTO; YULIANEU, 2023).

Assim como fazem os morcegos, o sensor ultrassônico HC-SR04 utiliza sonar para determinar a distância que o separa de um objeto. O princípio de funcionamento do HC-SR04 consiste na emissão de 8 pulsos ultrassônicos de 40 kHz e na leitura do sinal de retorno (DWORAKOWSKI et al., 2016). A distância entre o sensor e o objeto que refletiu o sinal é calculada com base na velocidade do som vezes o tempo entre o envio e a leitura de retorno. O sensor é composto de três partes principais: o transmissor ultrassônico que emite as ondas ultrassônicas que serão refletidas pelos obstáculos, um receptor que identifica o eco do sinal emitido pelo transmissor e um circuito que controla o conjunto transmissor-receptor, calcula o tempo entre a emissão e recepção do sinal. O HC-SR04 é capaz de medir distâncias entre 0,02 m e 4,00 m (GABRIEL; KURIA, 2020).

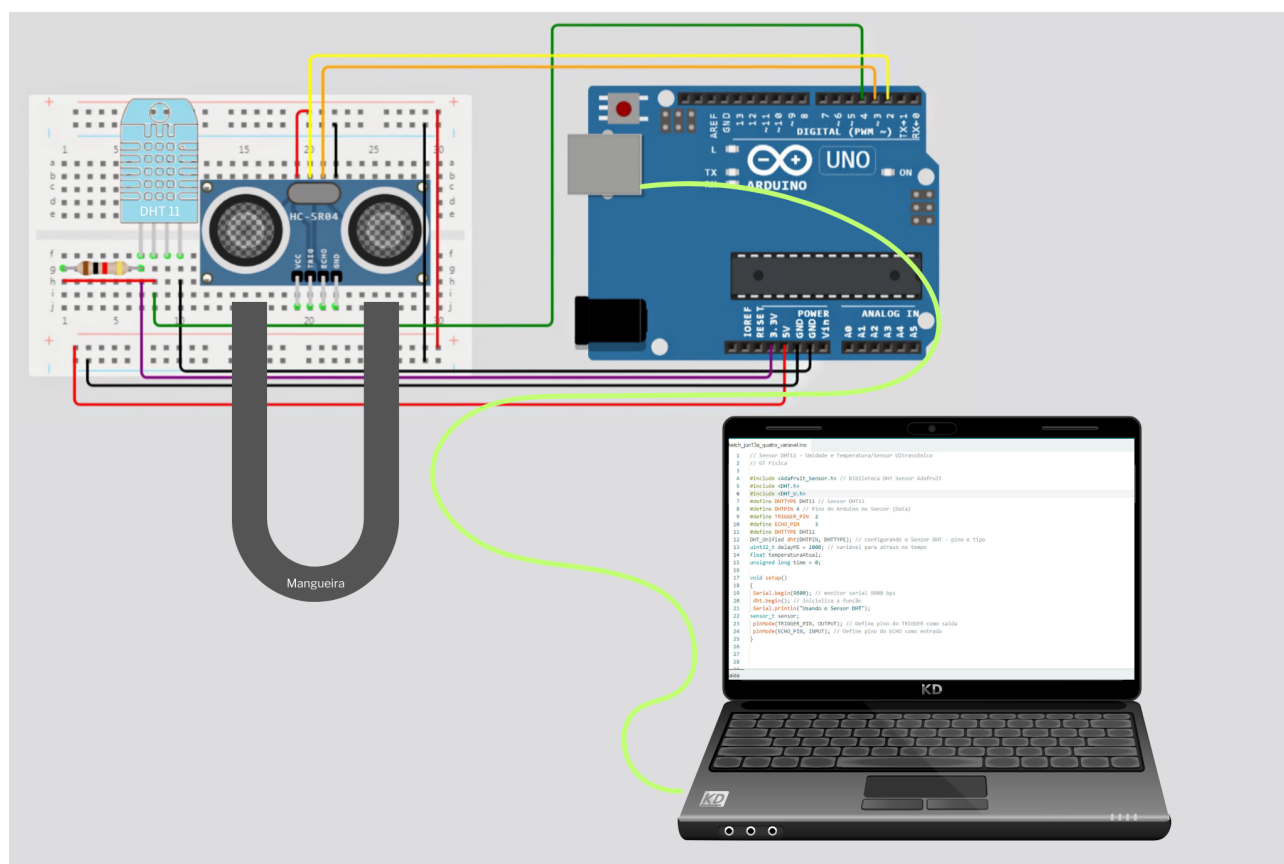


Figura 2: Projeto completo da trena digital ultrassônica com os principais componentes da montagem experimental. Fonte: os autores.

O DHT11 é um sensor de T e U.R. que permite fazer leituras de -20°C a 60°C , com precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, e de 5% a 95%, com precisão de $\pm 5\%$. A tensão (VDC) de trabalho do dispositivo é $3,3 \leq \text{VDC} \leq 5,5$ e corrente de operação igual a 1,000 mA. A corrente em modo espera para em 0,060 mA e a taxa de amostragem do sensor é da ordem de 0,5 Hz (TAFFERNER et al., 2023). T é aferida com o auxílio de um termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*), ou seja, um resistor sensível a variações de temperatura. Por outro lado, o módulo de U.R. é capacitivo (HR202), isto é, a presença de umidade faz com que a capacitância desse módulo experimente variações (STUCHI et al., 2019).

Ao acoplar o transmissor e o receptor ultrassônico às extremidades da mangueira, as ondas acústicas emitidas são guiadas no seu interior até atingirem o receptor. Desta forma, o dispositivo HC-SR04 determina o tempo de trânsito da onda acústica (t_t). Portanto, o comprimento da mangueira pode ser determinado através da expressão:

$$L = \left(v_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} \right) t_t, \quad (1)$$

onde $v_0 = 331,45 \text{ m/s}$ representa a velocidade do som no ar na temperatura $T_0 = 273,15^{\circ}\text{C}$. O termo entre parênteses representa a velocidade do som no ar, v , corrigida pela temperatura (KRUMMENAUER; DARROZ, 2020).

II.2. REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

A fim de verificar as possíveis influências de T e U.R. em medidas de comprimento de mangueiras, serão construídos e analisados modelos de regressão linear simples (RLS) a partir dos dados experimentais de acordo com a Equação 2:

$$L_i(T, \text{U.R.}) = a + b \cdot T_i(\text{P.O.}) + \epsilon_i. \quad (2)$$

Aqui, $L_i(T, \text{U.R.})$ representa o valor do desfecho (variável dependente) na observação i , a é o intercepto (coeficiente linear), b é o coeficiente angular ou parâmetro da regressão, $T_i(\text{P.O.})$ é a temperatura do ponto de orvalho da i -ésima observação (variável independente) e ϵ_i é o erro aleatório da i -ésima observável. Em um cenário em que $\text{U.R.} > 50\%$, a $T_i(\text{P.O.})$ pode ser estimada com uma precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ pela seguinte expressão (LAWRENCE, 2005):

$$T_i(\text{P.O.}) \approx T_i - \frac{100 - \text{U.R.}_i}{5}. \quad (3)$$

Na Equação 3, T_i e U.R._i são a temperatura e a umidade relativa da i -ésima observação, que, por sua vez, guardam relação direta com $T_i(\text{P.O.})$. Vale ressaltar que uma U.R. abaixo de 50% não inviabiliza a aproximação utilizada, contudo a precisão na estimativa de $T_i(\text{P.O.})$ passa a ser reduzida. Todos os testes e análises estatísticos foram realizados com o software Jamovi em sua versão 2.3.24. Para maiores informações, recomendamos a leitura do trabalho de (NAVARRO; FOXCROFT, 2022).

A RLS não é adequada para qualquer estudo que se deseja conduzir. Na verdade, existem alguns pressupostos que precisam ser atendidos, sem os quais ela não pode ser praticada (POOLE; O'FARRELL, 1971; ALLEN, 1939; SCHMIDT; FINAN, 2018). Quando

usamos a RLS para construir um modelo, assumimos as seguintes suposições (MARILL, 2004; OSBORNE; WATERS, 2002):

1. Linearidade: deve existir alguma relação linear entre a variável independente e a variável dependente. Isso significa que a mudança na variável dependente é proporcional à mudança na variável independente;
2. Independência: as observações no conjunto de dados são independentes entre si. Cada conjunto de dados não deve ser influenciado por ou relacionado a qualquer outro conjunto de dados;
3. Homoscedasticidade: a variância dos erros (resíduos) é constante em todos os níveis da variável independente. Em outras palavras, à medida que os olhos se movem lateralmente ao longo do eixo das abscissas, a variação média dos pontos em relação à linha de regressão permanece praticamente a mesma.
4. Normalidade: a variação dos dados em torno da reta de regressão segue uma distribuição normal. Isso significa que ao examinar os dados em qualquer valor de abscissa, eles formarão uma curva cujo formato se assemelha a um sino em torno do valor da linha de regressão naquele ponto.

Para a maioria dessas suposições, se elas forem violadas, isso não significa necessariamente que não podemos usar um método de RLS, apenas precisamos reconhecer algumas limitações, adequar a interpretação ou transformar variáveis para torná-las mais apropriadas para o modelo. Ao garantir que essas suposições sejam razoavelmente atendidas, o modelo de regressão linear pode fornecer *insights* precisos e significativos sobre as relações entre as variáveis, e fazer previsões confiáveis com base em novos dados (ZOU; TUNCALI; SILVERMAN, 2003; EBERLY, 2007).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

III.1. MEDIDAS DE COMPRIMENTO COM A TRENA DIGITAL ULTRASSÔNICA

A Figura 3 mostra os resultados de um teste inicial, usando uma mangueira curta, cujo comprimento de referência $L_{ref} = (63,7 \pm 0,5)$ cm, foi medido com a TFC. Foram realizadas medidas com a TDU em função da T (Figura 3(a)) e da U.R. (Figura 3(b)). Os círculos azuis e os triângulos laranjas representam os dados corrigidos e não corrigidos, respectivamente. As barras verticais indicam o desvio padrão, e cada ponto reflete a média de cinco leituras. É possível observar que os dados não corrigidos se distanciam consideravelmente em relação ao valor médio medido com a TFC (linha ponto-tracejada rosa), enquanto aqueles cuja correção foi aplicada se aproximam substancialmente do valor médio de referência, ou seja, $(63,7 \pm 0,5)$ cm. A fim de corroborar tal afirmação, foram calculadas a média das médias para ambos os cenários, e em seguida foram computadas as diferenças percentuais correspondentes. Valores iguais a $(60,3 \pm 0,6)$ cm e $(63,1 \pm 0,8)$ cm foram obtidos. Assim, diferenças percentuais de 5,3% e 0,94% foram determinadas para as condições não corrigida

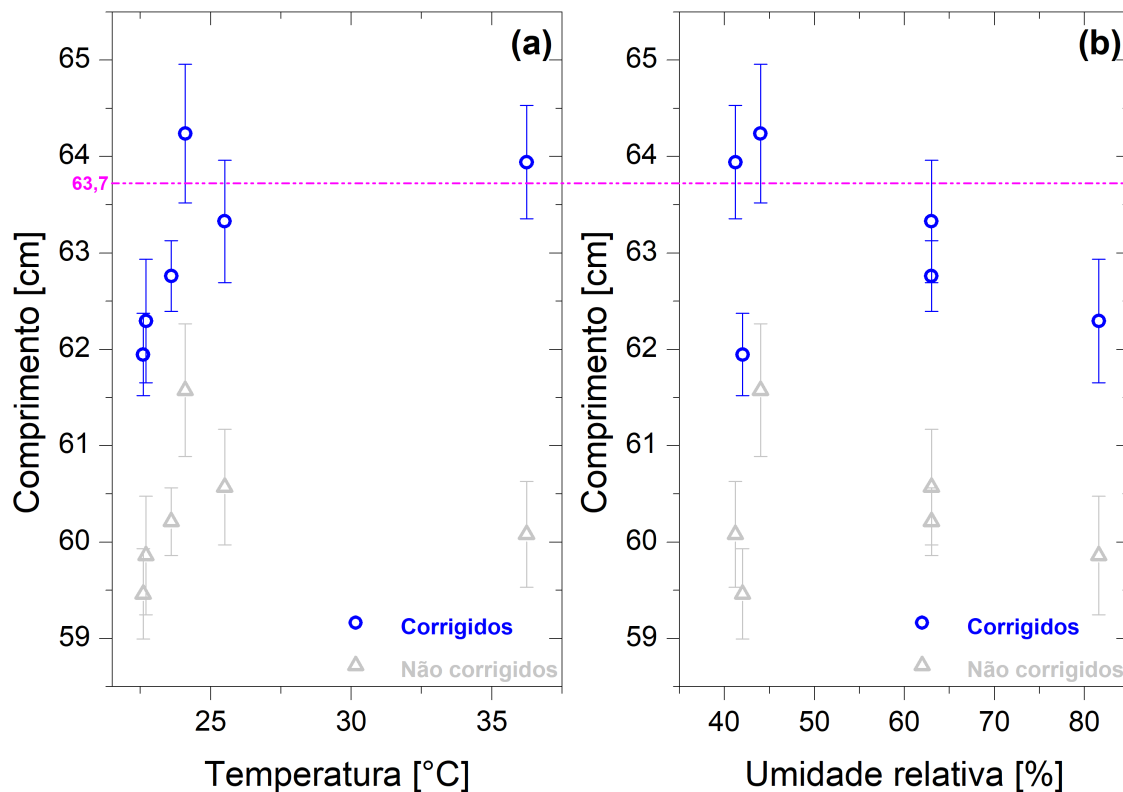


Figura 3: Comprimento da mangueira medido com a trena digital em função da temperatura (a) e da umidade relativa (b). Círculos azuis representam os dados corrigidos e os triângulos cinzas os não corrigidos. A linha ponto-tracejada rosa representa o comprimento medido com a trena de fita comercial. Fonte: os autores.

e corrigida, respectivamente. Os resultados dos outros dois conjuntos de medidas, ou seja, aqueles pertinentes às outras duas mangueiras ($L_{1ref} = 103,6$ cm e $L_{2ref} = 206,5$) estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Comprimentos da mangueira $L_{1ref} = (103,6 \pm 0,5)$ cm medidos com a TDU com e sem correção. Nas duas últimas colunas estão dispostas as informações de T e U.R. usadas na compensação.

$L_1(T,U.R.)$ [cm]	L_1 [cm]	Temperatura [°C] ¹	U.R. [%] ²
$100,6 \pm 0,7$	$96,6 \pm 0,7$	23	42
100 ± 2	98 ± 1	23	82
$102,0 \pm 0,5$	$97,8 \pm 0,5$	25	63
$102,3 \pm 0,4$	$98,1 \pm 0,4$	24	44
$102,1 \pm 0,5$	$97,6 \pm 0,5$	26	63
$103,2 \pm 0,3$	$97,0 \pm 0,3$	36	42

¹De acordo com o fabricante, o desvio padrão para as medidas de temperatura com o DHT é de $\pm 2^\circ\text{C}$.

²De acordo com o fabricante, o desvio padrão para as medidas de umidade relativa com o DHT é de $\pm 5\%$.

Tabela 2: Comprimentos da mangueira $L_{2ref} = (206,5 \pm 0,5)$ cm medidos com a TDU com e sem correção. Nas duas últimas colunas estão dispostas as informações de T e U.R. usadas na compensação.

$L_2(T,U.R.)$ [cm]	L_2 [cm]	Temperatura [$^{\circ}$ C] ¹	U.R. [%] ²
$203,2 \pm 0,1$	$195,3 \pm 0,1$	23	42
204 ± 1	196 ± 1	23	82
$203,8 \pm 0,7$	$195,5 \pm 0,6$	24	63
$205,5 \pm 0,5$	$197,0 \pm 0,5$	24	44
205 ± 1	196 ± 1	26	63
$207,0 \pm 0,7$	$194,6 \pm 0,6$	36	42

Ao analisarmos as informações nelas contidas, vemos que as medidas dos comprimentos das mangueiras cujas correções de temperatura (T) e umidade relativa (U.R.) não foram inseridas na função, os valores estão mais distantes dos valores de referência ($103,6 \pm 0,5$ cm e $206,5 \pm 0,5$ cm) comparados aos corrigidos. Procedendo com a mesma análise feita anteriormente, os comprimentos calculados para a média das médias resultaram em $97,5 \pm 0,6$ cm (não corrigido) e $101,7 \pm 0,9$ cm (corrigido) e $195,7 \pm 0,7$ cm (não corrigido) e $204,6 \pm 0,7$ cm (corrigido). A partir desses dados e usando os valores de referência medidos com a TFC, as diferenças percentuais alcançadas levando em conta a não correção e a correção foram 5,9% e 1,8% para a mangueira de 103,6 cm, e 5,2% e 0,92% para a de 206,5 cm. Portanto, os resultados para as diferentes mangueiras mostraram a importância de implementar a correção de T e U.R. quando medidas de comprimentos forem realizadas com a TDU usando a plataforma Arduino combinada aos sensores HC-SR04 e DHT11. A seguir, são discutidos os resultados a partir das análises por RLS e confrontados com aqueles trazidos nesta seção.

III.2. ANÁLISES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

De posse das informações alcançadas com a TDU para os dois cenários abordados, o outro estudo conduzido foi justamente para investigar a influência da T e da U.R. nos comportamentos observados nas Figuras 3 (a) e (b) e nas Tabelas 1 e 2. Para isso, fizemos uso da RLS. Ela permite compreender o perfil de um desfecho (variável dependente) a partir da contribuição de um único preditor (variável independente). Dentro da análise por RLS, alguns parâmetros calculados a partir de testes estatísticos merecem um olhar prévio. O primeiro é p-valor do teste F de ajustamento global do modelo (análise de variância ao nível de 5% de probabilidade). Nesse teste, saberemos se o preditor pode explicar o desfecho. Em outras palavras, se $p < 0,05$, então está garantido que a variável independente pode explicar o perfil da variável dependente. O parâmetro seguinte é o $R^2_{ajustado}$. Ele fornece, percentualmente, o quanto a variável independente explica o comportamento da variável dependente. Vale mencionar que o seu valor tende a melhorar, ou seja, se aproximar de +1 (correlação direta) ou -1 (correlação inversa), à medida que mais variáveis são inseridas no modelo – o que caracteriza a regressão linear múltipla (UYANIK; GÜLER, 2013). No entanto, isso pode também comprometer o entendimento do modelo devido ao possível aparecimento de multicolinearidade (SHRESTHA, 2020).

III.2.1 MEDIDAS NÃO CORRIGIDAS PELA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE

Os parâmetros R (coeficiente de correlação), $R^2_{ajustado}$ e p (teste F) da RLS para as duas amostras estão listados na Tabela 3. Como mencionado acima, o teste F nos permite inferir se a variável independente é responsável por explicar significativamente o modelo proposto. Com base nos resultados entregues pelo *software* Jamovi, constatamos que para a amostra de $103,6 \pm 0,5$ cm, a temperatura no ponto de orvalho, T(P.O.), não explica consistentemente as medidas de comprimento ($p_{L_1} = 0,367$). O teste F revelou que somente para a amostra maior, T(P.O.) explica com algum grau de significância as leituras de comprimento ($p_{L_2} = 0,014$). Além disso, baseado no valor de $R^2_{ajustado}$ para o modelo, seria plausível afirmar que T(P.O.) explicaria 17% do perfil observado para a mangueira de $206,5 \pm 0,5$ cm. Diante desse cenário não esperado por tratar-se de um modelo em que T e U.R. não foram computadas, o teste à normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk (SW) foi conduzido com o Jamovi. O p-valor da estatística SW para o modelo foi $p_{SW} = 0,045$. Por se tratar de um parâmetro cuja função é avaliar a aderência dos resíduos à distribuição normal, se o valor p_{SW} fosse $> 0,05$, então a hipótese de normalidade seria aceita – fato não observado na análise. Ao ponderarmos todas as informações previamente discutidas, entendemos que, de fato, a RLS não pode ser empregada para esse modelo, corroborando as medidas de comprimento não corrigidas usando a TDU.

Tabela 3: Medidas de ajustamento dos modelos L_1 e L_2 .

Parâmetro	Modelo	
	L_1	L_2
R	0,171	0,446
$R^2_{ajustado}$	-0,00556	0,170
p (teste F)	0,367	0,014

III.2.2 MEDIDAS CORRIGIDAS PELA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE

Os parâmetros R, $R^2_{ajustado}$ e p (teste F) da RLS para as três amostras estão listados na Tabela 4. Valores de $p < 0,05$ do teste F de significância foram atingidos para ambas as mangueiras $L_1(T,U.R.)$ e $L_2(T,U.R.)$, ou seja, $p_{L_1(T,U.R.)} = 0,006$ e $p_{L_2(T,U.R.)} = 0,004$. Isso indica que para os comprimentos medidos, T e U.R. podem ser responsáveis pelos desfechos. Além disso, baseado nos valores de $R^2_{ajustado}$ para o modelo, é plausível afirmar que T e U.R. conjuntamente explicam 21,4% e 23,9% das variações observadas nos comprimentos das mangueiras de $103,6 \pm 0,5$ cm e $206,5 \pm 0,5$ cm, respectivamente.

A Tabela 5 traz os coeficientes dos modelos $L_1(T,U.R.)$ e $L_2(T,U.R.)$. É possível notar que os p-valores de todos os preditores são menores que 0,05. Isso nos diz que eles são significativos e devem compor a apresentação do modelo final.

Outrossim, com base nas informações da Tabela 5 foi possível escrever as Equações 4 e 5 que fazem as previsões para os comprimentos das diferentes mangueiras levando em

Tabela 4: Medidas de ajustamento dos modelos $L_1(T,U.R.)$ e $L_2(T,U.R.)$ e verificação de pressupostos.

Parâmetro	Modelo	
	$L_1(T,U.R.)$	$L_2(T,U.R.)$
R	0,491	0,515
$R^2_{ajustado}$	0,214	0,239
p (teste F)	0,006	0,004
p_{SW}	0,285	0,661

Tabela 5: Coeficientes dos modelos $L_1(T,U.R.)$ e $L_2(T,U.R.)$.

Preditor	Estimativa	Desvio padrão	p
$a_{L_1(T,U.R.)}$	99,757	0,7151	< 0,001
$b_{L_1(T,U.R.)}$	0,122	0,0408	0,006
$a_{L_2(T,U.R.)}$	201,562	0,9804	< 0,001
$b_{L_2(T,U.R.)}$	0,177	0,0557	0,004

consideração ambos os parâmetros T e U.R., ou seja:

$$L_1(T,U.R.) = 99,757 + 0,122 \cdot T(P.O.), \quad (4)$$

$$L_2(T,U.R.) = 201,562 + 0,177 \cdot T(P.O.). \quad (5)$$

IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho, uma trena digital utilizando o Arduino em combinação com o sensor ultrassônico HC-SR04 e o sensor de umidade (U.R.) e temperatura (T) DHT11 foi apresentada. Aplicamos esse dispositivo para medir o comprimento de diferentes mangueiras em dois cenários, a saber, um em que U.R. e T não foram levadas em consideração, e no outro sim. Os resultados foram, então, comparados com valores médios ($L_{1ref} = (103,6 \pm 0,5)$ cm e $L_{2ref} = (206,5 \pm 0,5)$ cm de referência medidos com uma trena de fita comercial. Comprimentos iguais a $L_1 = (97,5 \pm 0,6)$ cm e $L_2 = (195,7 \pm 0,7)$ cm foram determinados para o cenário não-corrigido. Já para o cenário onde a correção foi implementada, as leituras foram $L_1(T,U.R.) = (101,7 \pm 0,9)$ cm e $L_2(T,U.R.) = (204,6 \pm 0,7)$ cm. Assim, diferenças percentuais de 1,8% e 0,92% foram calculadas em relação aos valores de referência para os dados corrigidos, enquanto para aqueles não-corrigidos, 5% foi a diferença percentual aproximada em relação aos comprimentos de referência. Toda análise estatística realizada com o *software* gratuito Jamovi suportam os resultados experimentais indicando que a regressão linear simples (RLS) não se mostrou adequada para as medidas não-corrigidas. Todavia, ao serem incluídas T e U.R. no modelo estatístico, a RLS teve seus pressupostos atendidos, sendo estas grandezas responsáveis por explicar, em média, 21,4% e 23,9% das observações nos comprimentos de $L_1(T,U.R.)$ e $L_2(T,U.R.)$, respectivamente. Igualmente, uma equação para cada amostra foi proposta a partir das análises estatísticas com o Jamovi. Concluímos que a partir de um sistema simples, de relativo baixo custo e portátil foi possível mostrar como é fundamental o papel da T e da U.R. na determinação de comprimentos de mangueiras.

Como desdobramento, esse aparato experimental será levado a uma escola pública do Ensino Médio do Estado do Rio de Janeiro para que sejam trabalhados conceitos de Física e Matemática de maneira contextualizada dentro e fora da sala de aula.

AGRADECIMENTOS

L. Mota e T. A. Freitas agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pelo suporte financeiro (Processo E-26/210.167/2022) e pela bolsa de Iniciação Científica (Processo E-26/203.352/2022). J. P. S. Gomes agradece à Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes pela bolsa de Iniciação Científica (Programa Mais Ciência). G. R. Lima agradece o suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. D. The assumptions of linear regression. *Economica*, v. 6, n. 22, p. 191–201, 1939. 71

BALDO, D. Ângelo et al. Aparato educacional para estudo da queda livre com análise do movimento. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, p. 1064–1078, 2016. 68

CASTRO-PACHECO, S. A. et al. Visual assessment of leaf area index in coffee (*coffea arabica* l.) fields. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 28, n. 3, p. e274355, 2024. 68

CHAYÑA, E. T. et al. A educação ambiental como preditor de práticas ambientais em escolas públicas peruanas. *Universidad y Sociedad*, v. 15, n. 3, p. 223–231, 2023. 68

CHEIN, F. *Introdução aos modelos de regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas*. 1. ed. [S.l.]: Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), 2019. 68

DWORAKOWSKI, L. A. et al. Uso da plataforma Arduino e do software PLX-DAQ para construção de gráficos de movimento em tempo real. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, n. 3, p. 1–9 (e3503), 2016. 70

EBERLY, L. E. Correlation and simple linear regression. In: _____. *Methods in Molecular Biology*. [S.l.]: Humana Press, 2007. p. 143–164. 72

GABRIEL, M. M.; KURIA, K. P. Arduino Uno, ultrasonic sensor HC-SR04 motion detector with display of distance in the LCD. *International Journal of Engineering Research and*, v. 9, n. 05, p. 936–942, 2020. 70

GUSSO, H. L. et al. Ensino superior em tempos de pandemia: diretrizes à gestão universitária. *Educação & Sociedade*, v. 41, n. e238957, p. 1–27, 2020. 68

HARYANTO, D.; YULIANEU, A. Microcontroller-based digital body height measuring tool with display information. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, v. 11, n. 1, p. 25–32, 2023. 70

KRUMMENAUER, W. L.; DARROZ, L. M. Determinação experimental da velocidade do som no ar utilizando um osciloscópio virtual. *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*, v. 4, n. 1, p. 130–143, 2020. 71

LAWRENCE, M. G. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: a simple conversion and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 86, n. 2, p. 225–234, 2005. 71

MARILL, K. A. Advanced statistics: linear regression, part I: simple linear regression. *Academic Emergency Medicine*, v. 11, n. 1, p. 87–93, 2004. 72

MEDEIROS, F. S. B.; BIANCHI, R. C. A aplicação do método regressão linear simples na demanda de produtos sazonais: um estudo de caso. *Disciplinarum Scientia*, v. 5, n. 1, p. 35–53, 2009. 68

MOREIRA, M. P. C. et al. Contribuições do Arduino no Ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, n. 3, p. 721–745, 2018. 68

NAVARRO, D. J.; FOXCROFT, D. R. *Learning statistics with jamovi: a tutorial for psychology students and other beginners*. Danielle J. Navarro and David R. Foxcroft, 2022. (Version 0.75). Disponível em: <<https://learningstatisticswithr.com/>>. 71

OLIVEIRA, I. N. et al. Construção de uma maquete experimental automatizada para a determinação da constante de Planck com o auxílio da plataforma Arduino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 828–848, 2020. 68

OSBORNE, J. W.; WATERS, E. Four assumptions of multiple regression that researchers should always test. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, v. 8, n. 2, p. 1–5, 2002. 72

PATEL, H. M.; CHAUDHARI, R. R. Intelligent green communication network for internet of things. In: _____. [S.l.]: CRC Press (Taylor & Francis), 2023. cap. Smart water management system for water level and quality detection, monitoring, and control in residential structures, p. 203–220. 70

POOLE, M. A.; O'FARRELL, P. N. The assumptions of the linear regression model. *Transactions of the Institute of British Geographers*, n. 52, p. 145–158, 1971. 71

RAMOS, P. N. F.; SILVEIRA, O. R. d.; MAIA, J. C. d. S. Determinação da análise de regressão linear simples para explicar a influência dos atributos físicos do solo na produção do algodão. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 8, p. e28411830591, 2022. 68

ROCHA, F. S. da; GUADAGNINI, P. H. Projeto de um sensor de pressão manométrica para ensino de física em tempo real. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, p. 124–148, 2013. 68

ROCHA, F. S. da; GUADAGNINI, P. H.; LUCCHESI, M. M. Projeto de um calorímetro de relaxação para ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 34, n. 1, p. 278–297, 2017. 68

SANTOS, A. M. C. M. et al. Régua eletrônica: calcular distâncias por meio de um sensor eletrônico. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 10, p. 95192–95200, 2021. 70

SCHIAVON, G. J. et al. Construção de um medidor de carga e energia armazenada em capacitores utilizando a plataforma Arduino. *Revista do Professor de Física*, v. 6, n. 3, p. 66–86, 2022. 68

SCHMIDT, A. F.; FINAN, C. Linear regression and the normality assumption. *Journal of Clinical Epidemiology*, v. 98, p. 146–151, 2018. 71

SHRESTHA, N. Detecting multicollinearity in regression analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, v. 8, n. 2, p. 39–42, 2020. 74

SILVA, A. L. de A.; MELO, W. de S.; FREITAS, A. M. de. Proposta para o ensino de calorimetria utilizando a plataforma Arduino em uma sequência didática diversificada. *Revista do Professor de Física*, v. 7, n. 1, p. 20–38, 2023. 68

SILVA, S. L. da et al. Avaliação do módulo da aceleração da gravidade com Arduino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 2, p. 619–640, 2016. 68

SOARES, R. G.; AMORIM, H. S. D. Um marégrafo ultrassônico baseado na placa Arduino para investigação do fenômeno das marés. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 925–943, 2020. 68

STUCHI, A. M.; PAZ, W. L. da. O experimento de dilatação do ar com Arduino: ampliando possibilidades de utilização na perspectiva do ensino de ciências por investigação. *Revista do Professor de Física*, v. 5, n. 3, p. 53–63, 2021. 68

STUCHI, A. M. et al. Monitorando a temperatura e a umidade da sala de aula com Arduino. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n. 1, p. 121–132, 2019. 71

TAFFERNER, Z. et al. Can ChatGPT help in electronics research and development? A case study with applied sensors. *Sensors*, v. 23, n. 10, p. 1–14 (4879), 2023. 71

UYANIK, G. K.; GÜLER, N. A study on multiple linear regression analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 106, p. 234–240, 2013. 74

ZOU, K. H.; TUNCALI, K.; SILVERMAN, S. G. Correlation and simple linear regression. *Radiology*, v. 227, n. 3, p. 617–628, 2003. 72

A. CÓDIGO UTILIZADO PARA A COMPARAÇÃO DOS COMPRIMENTOS DAS MANGUEIRAS MEDIDOS COM E SEM COMPENSAÇÃO DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA

```
//Inclusão das bibliotecas.
#include <DHT.h>
#include<Adafruit_Sensor.h>
#include<DHT_U.h>
//Definição de pinos.
#define TRIGGER_PIN 2
#define ECHO_PIN 3
#define DHTPIN 4
//Definição do tipo do DHT utilizado.
#define DHTTYPE DHT11
//Criação do objeto da classe D.
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
uint32_t delayMS = 1000;
float temperaturaAtual;
unsigned long time = 0;
void setup()
{
//Inicialização do programa (executado apenas uma vez).
Serial.begin(9600);
dht.begin();
Serial.println("Usando o Sensor DHT");
sensor_t sensor;
pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT);
pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
}
void loop()
{
//Programa principal (executado repetidamente).
//Criação de variáveis locais.
long tempoDuracaoIDA;
float distancia;
float velocidadeSOM = 331.45;
float velocidadeSOM_CompensacaoTemperatura;
float h = dht.readHumidity();
//Limpa o TRIGGER.
digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(100);
digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);
```

```

tempoDuracaoIDA = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
Serial.print("Distância SEM Compensação: ");
distancia = (velocidadeSOM * tempoDuracaoIDA);
Serial.println(distancia);
//Faz a tentativa de leitura da temperatura do DHT a cada 2 segundos (2000 ms).
if (millis() - time >= 2000)
if (!isnan(dht.readTemperature()))
temperaturaAtual = dht.readTemperature();
time = millis();
Serial.print("Distância COM Compensação: ");
float temperaturaKevin = temperaturaAtual + 273.15;
velocidadeSOM_CompensacaoTemperatura = velocidadeSOM * sqrt(temperaturaKevin /
273.15);
distancia = (velocidadeSOM_CompensacaoTemperatura * tempoDuracaoIDA);
Serial.println(distancia);
Serial.println();
Serial.print("A temperatura em Kelvin: ");
Serial.println(temperaturaKevin);
Serial.print("A temperatura em Celsius: ");
Serial.println(temperaturaAtual);
delay(1000);
Serial.print("Umidade: ");
Serial.print(h);
Serial.println("%");
}

```