

MALETA DIDÁTICA DE SENSORES INDUSTRIAIS PARA ESTUDO DE EFEITOS FÍSICOS E APLICAÇÕES

Junior, Marcos Paulo Rau¹

Pacheco, João Antônio Leal²

ANDRADE, Prof MSc Solange Alves C.³

FILHO, Prof MSc Carlos Roberto da Silva⁴

RESUMO

Em estudos na área de automação de sistemas industriais, comerciais, automobilísticos, domésticos, etc., é estritamente necessário determinar suas condições ou variáveis do sistema. Sendo necessário dessa forma, obter valores de variáveis físicas do ambiente que deseja-se monitorar, sendo esse, o trabalho realizado pelos sensores. Os sensores são amplamente utilizados em circuitos a fim de informar sobre eventos que venham a ocorrer externamente, por exemplo, sobre o qual ele deva atuar, ou a partir de qual ele deva comandar determinada ação.

Palavras-chave: Automação; Sensores; Comandos.

ABSTRACT

In studies around automation of industrial, commercial, automotive, domestic systems, etc., it is strictly necessary to determine their conditions or system variables. Therefore, it is necessary to obtain values of physical variables of the environment that you want to monitor, which is the work performed by the sensors. Sensors are widely used in circuits to inform about events that may occur externally, for example, on which it should act, or from which it should command a certain action.

Keywords: Automation; Sensors; Commands.

¹Graduando do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, prof.marcosrau@gmail.com;

²Graduanda do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, jalp_nvg@hotmail.com;

³Professora orientadora: MSc, Centro Universitário UNISOCIESC, solange@unisociesc.com.br;

⁴Professor coorientador: MSc, Centro Universitário UNISOCIESC, carlos.silva@unisociesc.com.br;

1. Introdução

Desde a década de 50, a automação industrial vem se tornando mais objetiva e prática com a criação de diversos sensores industriais. Com o objetivo de detectar mínimas alterações em um ambiente, os sensores atuam como os olhos e ouvidos do industriário e da produção em geral. Estes podem ser encontrados em todos os setores e máquinas, e suas mais diversas aplicações garantem a segurança, qualidade, otimização de processos, controle de direção, até nível de fluidos e verificação de material dentro de recipientes (SOLUÇÕES INDUSTRIAIS, 2018).

Entretanto os sensores possuem uma função vital em diversos processos na indústria, podendo ser utilizados em qualquer tipo de aplicação e requisitos, tanto para as aplicações diárias da indústria, como para a aplicação severa em ambientes críticos (BALLUF, 2020).

Os sensores podem ser utilizados para desempenhar atividades por colaboradores, onde o sensor garante que as técnicas desempenhadas pelo operador não comprometem sua própria segurança ou a do equipamento, quando o usuário tenta infringir uma norma de segurança e posiciona alguma parte do corpo ou até mesmo um equipamento em local não permitido, a máquina para, impedindo que o trabalhador sofra danos físicos (BUENO, 2018).

As bancadas didáticas são amplamente utilizadas em conjunto com manuais de operação e treinamentos de capacitação e que compõem um eficiente sistema educacional, capaz de promover aos trabalhadores, estudantes e professores o acesso a diversos tipos de experimentos, o que possibilita situações reais de trabalho nas mais diversas áreas de atuação (WEG, 2020).

Nos termos de engenharia, técnicas que fazem o aluno aprender de forma prática mostraram-se desde os anos 60 mais eficientes quando unidas com o estudo teórico previamente visto, didática conhecida como tecnicista. Desde então, inúmeros estudos foram realizados para atingir o ápice da eficiência didática a partir de métodos práticos como ensaios, estudos de campo, projetos, entre outros. Um desses métodos é a utilização de bancadas didáticas (GUIMARÃES; PALHARINI, 2011).

Este trabalho será de extrema importância para incrementar o aprendizado de sensores, pois de maneira didática, será capaz de ensinar sobre suas grandezas físicas e aplicações.

Tendo como Objetivos Específicos:

- a) Modelar o projeto da maleta didática;
- b) Elaborar o manual de aplicações e funcionamento dos sensores;
- c) Demonstrar efeito físico e aplicação de um sensor;
- d) Simular o circuito de um sensor através do software Proteus;
- e) Demonstrar o uso de um sensor com Arduino;
- f) Montar a maleta didática;
- g) Realizar os ensaios e testes funcionais da maleta didática;

2. Referencial Teórico

2.1 BANCADA DIDÁTICA

Bancadas didáticas são definidas como equipamentos com uma aplicação específica controlada na qual o usuário pode se instruir ou instruir outras pessoas de maneira eficiente (GIORDANI, JURACH E RODRIGUES, 2003). Estas bancadas devem abranger todos os conhecimentos necessários aos quais foram projetadas para transmitir.

Ao realizar uma breve pesquisa, é possível encontrar bancadas didáticas que seguem diversas técnicas. Um exemplo é uma bancada para treinamentos da Weg centrada no treinamento para pessoas que trabalham com a área de energia elétrica. A bancada é dividida em módulos (Figura 1), nos quais podem ser removidos e substituídos por módulos para a finalidade específica que deseja (WEG, 2019).

Figura 1 - Bancada didática WEG.



Fonte: Catálogo Bancadas Didáticas (WEG, 2019).

2.2 SENSORES INDUSTRIAIS

Criados em 1950, os sensores vêm se tornando ao longo dos anos fundamentais à automação industrial. Estes produtos são responsáveis pela detecção de quaisquer movimentações no ambiente fabril, seja para contagem de material, controle de direção ou até mesmo níveis de fluidos (ENGEREY, 2017).

Os sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, podendo ser ela: térmica; cinética; luminosa, relacionando-a com sua grandeza física que precisa ser mensurada: temperatura; pressão; corrente; velocidade; aceleração; posição; etc (WENDLING, 2010).

Estes dispositivos correspondem aos elementos ligados aos circuitos de entrada de um controlador. Sendo assim, podemos determinar que eles compõem um sistema que está sendo controlado e possui a função de enviar algum tipo de sinal para que o controlador tome alguma decisão, normalmente atuando sobre algum elemento do processo, a fim de manter suas variáveis dentro de uma faixa predeterminada (CAMARGO, 2014).

A partir da aplicação de sensores é possível medir com precisão as diversas variáveis envolvidas na produção ou no processo industrial, tornando possível efetuar ações corretivas. Pode-se fazer a seguinte analogia: os órgãos dos sentidos (olfato, visão, paladar, audição e tato) e os membros (inferiores e superiores) estão para o ser humano assim como os sensores estão para um sistema automático, respectivamente (BRITO, 2017). O Quadro 1 mostra esta comparação.

Quadro 1 – Comparação entre sistema automatizado e partes do corpo humano

Sistema automatizado	Partes do corpo
Controlador	Cérebro
Programas e bases de dados	Conhecimento
Sensores	Órgãos dos sentidos
Atuadores	Membros inferiores e superiores
Rede de comunicação	Sistema nervoso central
Energia do sistema	Alimentação
Condutores de energia	Sistema sanguíneo
Estrutura mecânica	Esqueleto

Fonte: Brito (2017).



A desenvolvimento de sensores e a sua aplicação trouxe como consequência inúmeras vantagens ou comodidades para a vida moderna. Desde aumentar a eficiência no funcionamento de um motor ou de uma linha de produção, realizar uma pesquisa científica com maior precisão e em menor tempo, até o fato de poder estacionar o carro sem o perigo de batê-lo ou de ter a segurança de que qualquer tentativa de furto de sua casa poderá ser frustrada, tais são as vantagens oferecidas pelo uso de sensores (PATSKO, 2006).

Nas indústrias de processos, como refinarias, petroquímicas e indústrias de bebidas, grande parte dos produtos é fluida e necessita de sensores para se medirem grandezas físicas como pressão, vazão, nível e temperatura (BRITO, 2017).

2.3 TIPOS DE SENSORES

Nesta etapa serão abordados os mais variados tipos de sensores existentes na indústria, bem como suas aplicações práticas.

2.3.1 Sensores de posição

Em processos industriais ou comerciais, os sensores de posição são utilizados em várias aplicações em que a precisão e a sensibilidade do instrumento devem ser ajustadas em função do tipo de operação que é monitorado. Possuem grande importância na fabricação de máquinas de ferramentas, em que é necessário definir a posição da ferramenta de corte para chegar a um micrometro, fundamental na produção de peças de precisão (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2009).

2.3.2 Sensores de proximidade indutivos

O princípio de funcionamento dos sensores indutivos é baseado na lei da indução eletromagnética de Faraday. Este sensor é basicamente, um circuito que contém espiras de fio de cobre ao longo das quais é induzida uma diferença de potencial elétrico proporcional à taxa de variação no tempo do fluxo magnético através da seção transversal das espiras. Os principais atrativos desse dispositivo são o baixo custo de fabricação e a alta sensibilidade na operação em frequências elevadas.

Dependendo das características construtivas, esses sensores podem operar em frequências de alguns hertz até dezenas de mega-hertz (NOGUEIRA; RAMOS; WEINERT, 2014).

A indutância elétrica determina a facilidade de um determinado elemento elétrico em produzir um campo magnético ao ser percorrido por uma corrente elétrica (BRITO, 2017). Pode-se definir a indutância por meio da Equação:

$$L = \frac{N^2}{R} \quad (01)$$

em que:

L: indutância;

N: número de espiras;

R: relutância.

A relutância é o equivalente da resistência em circuitos magnéticos, ou seja, quanto maior a relutância, maior será a oposição à passagem de um campo magnético.

Existem sensores indutivos que detectam a variação da indutância por meio da variação da relutância. Para variar a relutância pode-se variar a geometria dos dispositivos ou a permeabilidade magnética do material (μ). De forma semelhante, pode-se variar a indutância mútua, em que o campo magnético gerado por uma bobina sofre a variação de outro campo magnético gerado em um objeto metálico. Por isso, os sensores indutivos detectam apenas objetos metálicos (BRITO, 2017).

Um sensor de posição indutivo tem a distância de detecção máxima de um objeto diretamente relacionada com o diâmetro do sensor, ou seja, um sensor com diâmetro menor possui uma distância sensora também menor. No caso de sensores que operam em corrente contínua, geralmente são empregados três fios para a ligação elétrica do sensor. O amplificador de saída é constituído de transistor que tanto pode ser NPN como PNP (BRITO, 2017).

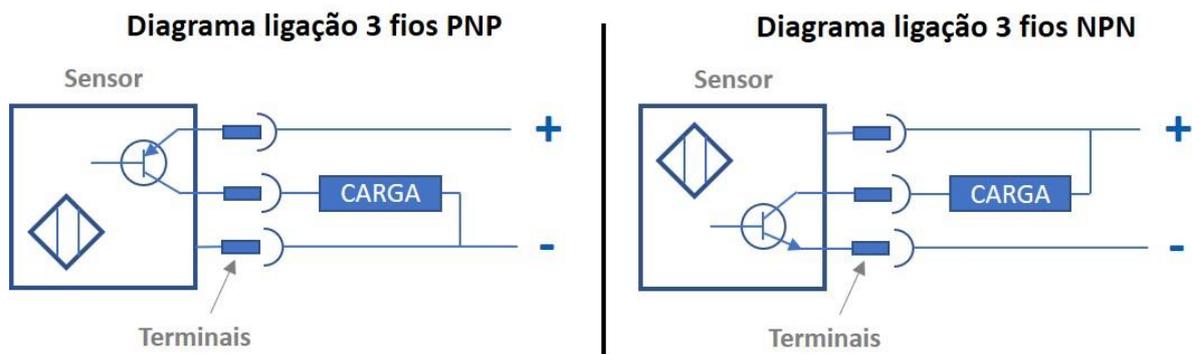
Nesse caso o amplificador de saída incorporado ao sensor é constituído de transistor em coletor aberto que tanto pode ser NPN como PNP, compatível com circuitos integrados, transistorizados e acionamento direto de relés (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Há sensores de proximidade indutivos para corrente contínua que tem um circuito independente para a alimentação. Compreendem três ou quatro condutores, dois dos quais para alimentação, um para contato NA (normalmente aberto) e/ou um para contato NF (normalmente fechado) (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Na escolha do tipo de sistema eletrônico, deve-se observar a modalidade de ligação:

- Sensores de proximidade com saída a transistor PNP ligam o potencial positivo à carga (Figura 2).
- Sensores de proximidade com saída a transistor NPN ligam o potencial negativo à carga (Figura 2).

Figura 2 - Tipos de ligação de sensores



Fonte: MTI Brasil (2021).

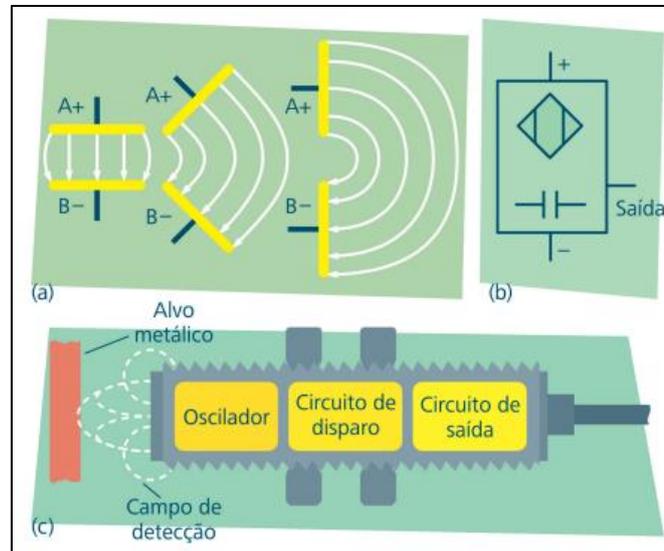
2.3.2.1 Sensores de proximidade capacitivos

São dispositivos eletrônicos que detectam a presença de materiais orgânicos, pós, líquidos, entre outros. Pode-se também utilizar a variação da capacitância para detectar a posição de objetos. Os sensores capacitivos geram um campo eletrostático em sua face sensora, o qual varia por meio da aproximação de qualquer tipo de objeto (SEIDEL, 2011).

Os líquidos de maneira geral são ótimos atuadores para os sensores capacitivos, não importando se são condutivos ou não, viscosidade ou cor. Desta forma, excelentes sistemas para controle de níveis máximos e mínimos de líquidos ou sólidos são obtidos com a instalação de um ou dois sensores, mesmo que mergulhados totalmente no produto (WEG, 2021). A parte ativa compreende dois

eletrodos metálicos destacados na Figura 3 (a). As Figuras 3 (b) e (c) mostram a simbologia e o diagrama básico do sensor capacitivo, respectivamente.

Figura 3 - Sensor capacitivo: (a) princípio básico, (b) simbologia e (c) diagrama do sensor



Fonte: Seidel (2011).

A Tabela 1 indica a permissividade relativa do dielétrico dos principais materiais.

Tabela 1 - Permissividade relativa de alguns materiais em relação ao vácuo

Material	Permissividade Relativa (ϵ)
Ar, vácuo	1
Óleo, papel, petróleo, poliuretano, parafina, silicone e teflon	2 a 3
Araldite, baquelite, quartzo, madeiras leves	4 a 5
Mármore, pedras, madeiras pesadas	6 a 8
Água, alcoólicos, soda cáustica	9 a 80

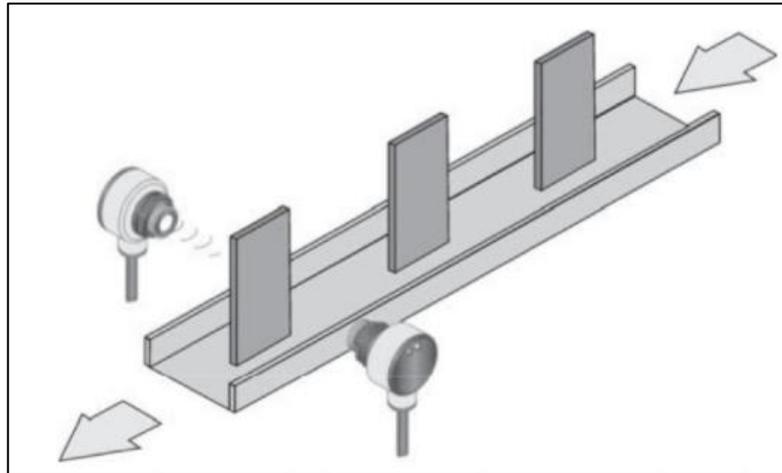
Fonte: Adaptado de Seidel (2021).

2.3.2.2 Sensor Ultrassônico

Estes sensores são utilizados em muitos campos de medidas, particularmente para medir vazão, nível de líquidos e deslocamento. O ultrassom consiste em frequências superiores a 20 kHz. Este dispositivo emite o ultrassom e outro dispositivo que recebe. As mudanças das variáveis são detectadas pelo tempo de viagem do ultrassom entre transmissor e receptor, ou mudança de fase. A forma mais comum de elementos ultrassônicos é um cristal piezoelétrico em um invólucro. As frequências geralmente variam entre 20 kHz e 15 MHz (SEIDEL, 2011).

Sua principal aplicação é em objetos transparentes, em que não se utilizam sensores ópticos (SEIDEL, 2011). A Figura 4 mostra a aplicação industrial de sensores ultrassônicos, em que os objetos a serem detectados poderiam ser, por exemplo, garrafas transparentes (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Figura 4 - Exemplo de aplicação de sensor ultrassônico



Fonte: Thomazini & Albuquerque (2011).

2.3.3 Sensor de proximidade fotoelétrico

Estes sensores também são denominados como sensores óticos, os quais fazem a manipulação da luz para detectar a presença de um acionador o qual, na maioria das aplicações, é o próprio produto (SIEDEL, 2011).

De acordo com Wendling (2010) nas indústrias de processos, como refinarias, petroquímicas e indústrias de bebidas, grande parte dos produtos é fluida e necessita de sensores para se medirem grandezas físicas como pressão, vazão, nível e temperatura.

Os elementos fundamentais são uma fonte de luz, um prisma e uma célula fotoelétrica. Na ausência do líquido o raio de luz é refletido no prisma para célula fotoelétrica, enquanto na presença do líquido o raio de luz é refratado e a célula fotoelétrica não é mais iluminada. Evidentemente, trata-se de um transdutor de nível para medida do tipo discreto (on-off) e poderia ser utilizado um sensor óptico do tipo barreira (WENDLIG, 2010).

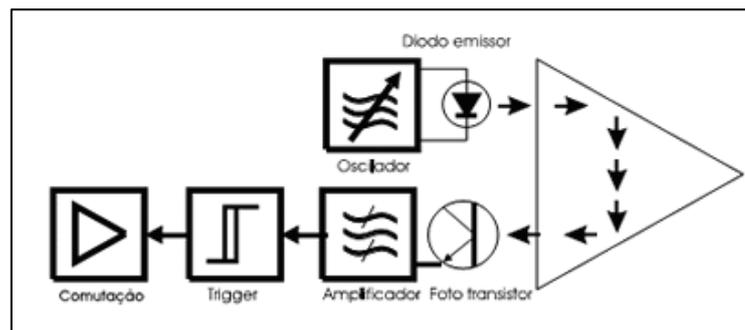
2.3.3.1 Princípio de operação

O funcionamento desses tipos de sensores está relacionado com a transmissão e recepção de luz na região infravermelha que é invisível para o ser humano, de forma a detectar (por reflexão ou interrupção) a presença do acionador (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Os sensores que necessitam transmissor e receptor de infravermelho separado são denominados ativos, enquanto, os que apresentam somente receptores são classificados passivos, pois não emitem ondas infravermelhas, apenas detectam a movimentação dessas nas suas áreas de atuação (SIEDEL, 2011).

Segundo Bueno (2015) os sensores fotoelétricos ativos de proximidade apresentam um transmissor que envia um feixe de luz através de um diodo emissor de luz. Esses emitem flashes de alta potência e de curta duração, pois isso evita que o receptor seja “sensibilizado” pela luz ambiente. O receptor é composto por um fototransistor que é sensível à luz que, em conjunto com um filtro sintonizado na mesma frequência de pulsação dos flashes do transmissor, faz com que o receptor detecte somente a luz do transmissor, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Princípio da detecção ótica



Fonte: Mecaweb (2019).

2.4 FONTES DE ALIMENTAÇÃO

Os circuitos eletrônicos necessitam de energia para funcionar. Em muitos casos, essa energia é provida por um circuito denominado fonte de alimentação. Uma falha

na fonte de alimentação afetará todos os demais circuitos. A fonte é uma das partes principais de um sistema eletrônico. As fontes utilizam diodos retificadores para converter corrente alternada em corrente contínua (SCHULER, 2013).

3. Desenvolvimento

Nesta etapa do projeto serão apresentadas as etapas de desenvolvimento da maleta didática, bem como os testes realizados e o manual de experimentos que serve de auxiliar para o uso da maleta.

3.1 PROJETO DA MALETA

A Maleta Didática de Sensores Industriais (Figura 6) é ideal para realização de práticas de detecção e posicionamento de peças, simulando processos de automação de máquinas, controle de nível, linha de produção e demais relacionados. Além dos sensores indutivo, capacitivo, óptico por barreira, óptico retro-reflexivo, óptico difuso e magnético, a maleta dispõe de um controlador de temperatura para uso com os sensores de temperatura do tipo PT-100 e termopar (inclusos) e elementos de comandos elétricos para fácil montagem de diversos circuitos que possam utilizar os sinais produzidos pelos sensores e pelo controlador.

A maleta é móvel, podendo ser usada em qualquer local de maneira prática e rápida, sem a necessidade de alterações estruturais, possibilita o usuário a ter uma melhor ergonomia e visibilidade durante a utilização.

Figura 6 - Projeto da maleta didática



Fonte: Os Autores (2021).

3.1.1 Aplicações

A maleta didática poderá ser aplicada nas disciplinas de sistemas de automação, elementos de automação, automação e controle, automação e instrumentação, sistemas integrados de manufatura, controle automático de processos, sistemas supervisórios, acionamentos elétricos, entre outras.

3.1.2 Características Técnicas

As características técnicas da maleta didática são descritas na Tabela 2 abaixo.

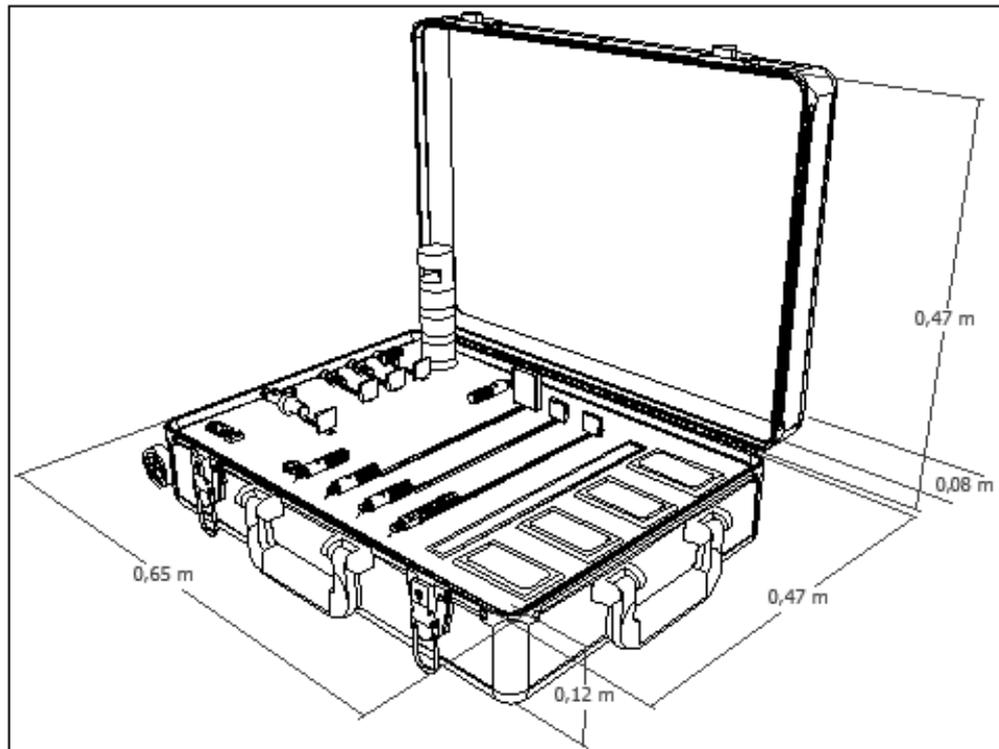
Tabela 2 - Dados técnicos da maleta

DADOS	CARACTERÍSTICA
Alimentação	220 VCA
Fonte de Alimentação	1
Cabo de Alimentação	1
Cabos de Interligação	12
Lâmpada	3
Chave Seletora	3
Sensor Indutivo	1
Sensor Capacitivo	1
Sensor Óptico	1
Comprimento	650 mm
Largura	450 mm
Profundidade	120 mm
Peso	~ 10 Kg

Fonte: Os Autores (2021).

A Figura 7 abaixo mostra mais detalhes relacionados as dimensões da maleta.

Figura 7 - Dimensões da maleta didática



Fonte: Os Autores (2021).

3.2 EFEITOS FÍSICOS E APLICAÇÕES DE SENSORES

Nesta etapa é demonstrado os efeitos físicos e algumas aplicações de alguns tipos de sensores.

3.2.1 Sensor capacitivo

Muito utilizado em detecções de nível de materiais sólidos e líquidos. A Figura 8 mostra uma aplicação deste tipo de sensor em um tanque de armazenamento.

Figura 8 - Sensor capacitivo utilizado em tanque de armazenamento

Fonte: Os Autores (2021).

O sensor utilizado na aplicação é o capacitivo do tipo tubular não faceado montado em luva plástica. Uma vantagem do seu uso para a aplicação em tanques de armazenamento é que se pode ajustar sua sensibilidade para se adequar ao material.

Uma outra aplicação bem comum para o sensor capacitivo é em embaladoras, como por exemplo na embalagem de sabonetes (Figura 9).

Figura 9 - Sensor capacitivo aplicado em embaladoras

Fonte: Os Autores (2021).

No caso da Figura 9, um capacitivo pode ser instalado no final de sua esteira, assim detectando falhas em embalagens sem o produto. Uma vantagem é que os resíduos dos produtos mesmo aderindo ao sensor pelo contato direto não afeta seu funcionamento.

3.2.2 Sensor indutivo

O sensor indutivo é muito utilizado em áreas de solda conforme Figura 10.

Figura 10 - Sensor indutivo aplicado em área de solda



Fonte: Os Autores (2021).

Estes sensores são fabricados para suportar campos magnéticos muito intensos nos ambientes em que são instalados, a fim de suportar sua aplicação sem afetar seu funcionamento.

Áreas de solda existem altas correntes, e o sensor é capaz de suportar até 25KA a uma distância de 5cm e conseqüentemente campos de alta intensidade. O corpo do sensor é revestido para que possa ser resistente a possíveis respingos e combustão dos resíduos durante o processo de solda.

3.3 SIMULAÇÃO DO CIRCUITO DE UM SENSOR CAPACITIVO

Sensores capacitivos possuem uma ampla gama de devido à sua capacidade de sensora tanto para materiais condutores como os não condutores.

Componentes utilizados na simulação:

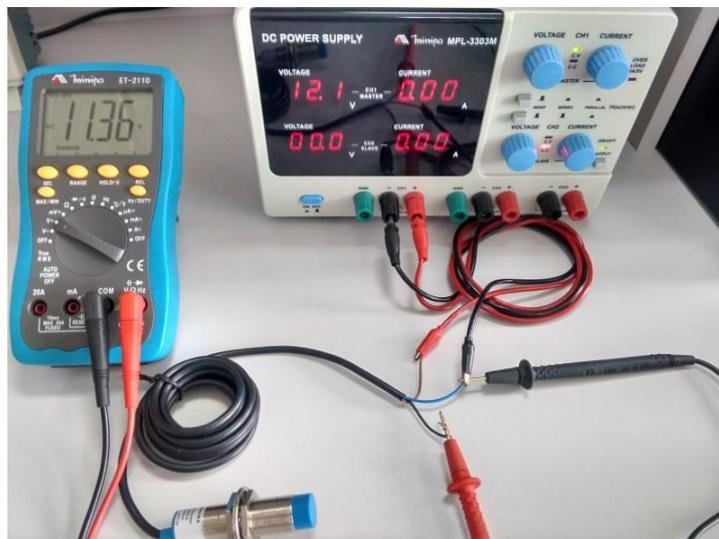
- a) 1 Arduino Uno ou Arduino Mega;
- b) 1 Sensor capacitivo;
- c) 1 Resistor de 10K Ω ;
- d) 1 Diodo Zener;
- e) 1 Protoboard;
- f) Fios Jumpers.

O sensor utilizado para a simulação é modelo CM18 – 3005NC NPN da fabricante JNG. Sua faixa de alimentação é de 10 a 30 volts em tensão contínua (DC), possuindo um range de comutação de aproximadamente 8 milímetros e contato normal fechado (NF). O cabo de sinal do sensor se mantém no nível de tensão de alimentação.

Quando houver a detecção, o cabo de sinal recebe o nível baixo (0V) e um Led de sinalização na parte de trás do sensor é energizado, evidenciando seu funcionamento.

A Figura 11 a seguir mostra o sensor capacitivo alimentado por uma fonte de tensão DC, é possível observar que o sensor está alimentado com 12 Vcc através do cabo “jacaré”. Assim, com um multímetro conectado ao terminal de sinal (preto) e a referência (azul) do sensor pode-se medir a tensão de saída quando ele não detecta o objeto ou fluido.

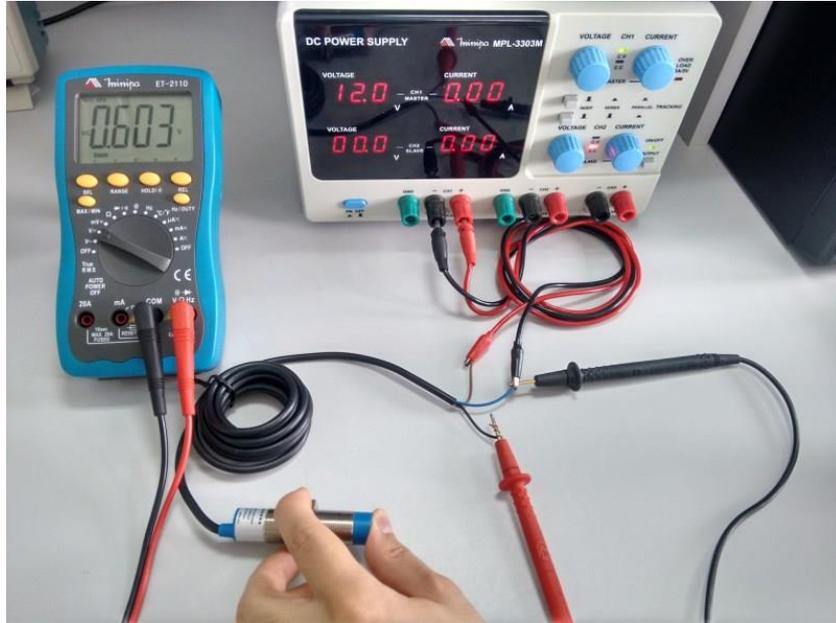
Figura 11 - Ligando o sensor capacitivo a fonte DC (Não Comutado)



Fonte: Os Autores (2021).

A Figura 12 mostra o sensor conectado a fonte DC comutado.

Figura 12 Ligando o sensor capacitivo a fonte DC (Comutado)



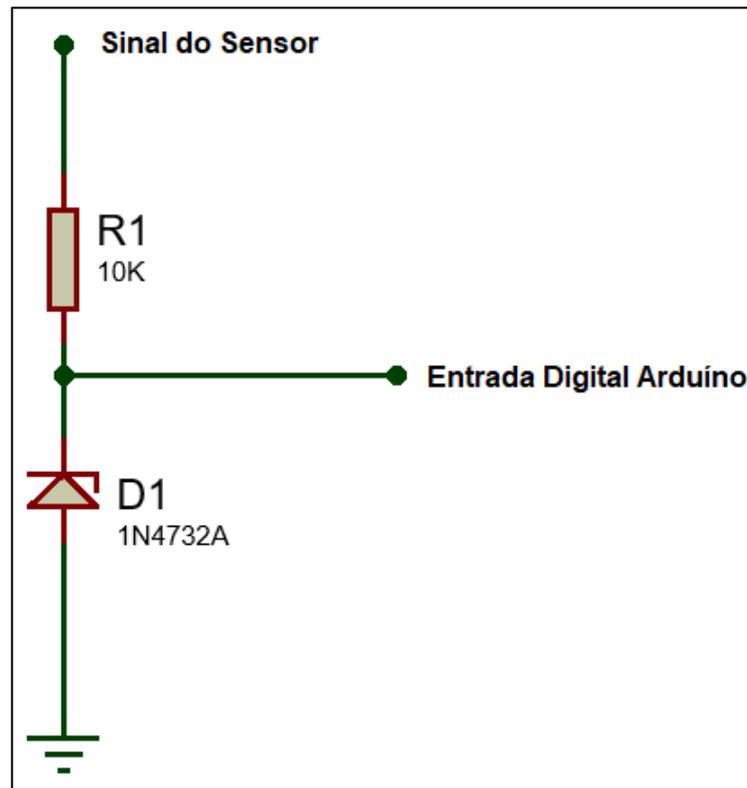
Fonte: Os Autores (2021).

Uma vez que identificados os terminais do sensor e fixado este nas proximidades da superfície de medição, é necessário reduzir a tensão para os níveis de trabalho suportados pelo Arduino. Para isso, podem ser empregadas algumas configurações de circuitos que realizam a redução desta tensão. Tais componentes ou circuitos integrados são listados abaixo:

- a) Diodo zener + resistor;
- b) Divisor de tensão;
- c) Amplificadores operacionais (Ampop)
- d) Transistor MOSFET;

Para exemplificar essa utilização (Figura 13), é utilizado o diodo zener com um transistor devido a facilidade de montagem e seu ótimo desempenho para a aplicação.

Figura 13 - Circuito com o diodo zener e o transistor no Proteus



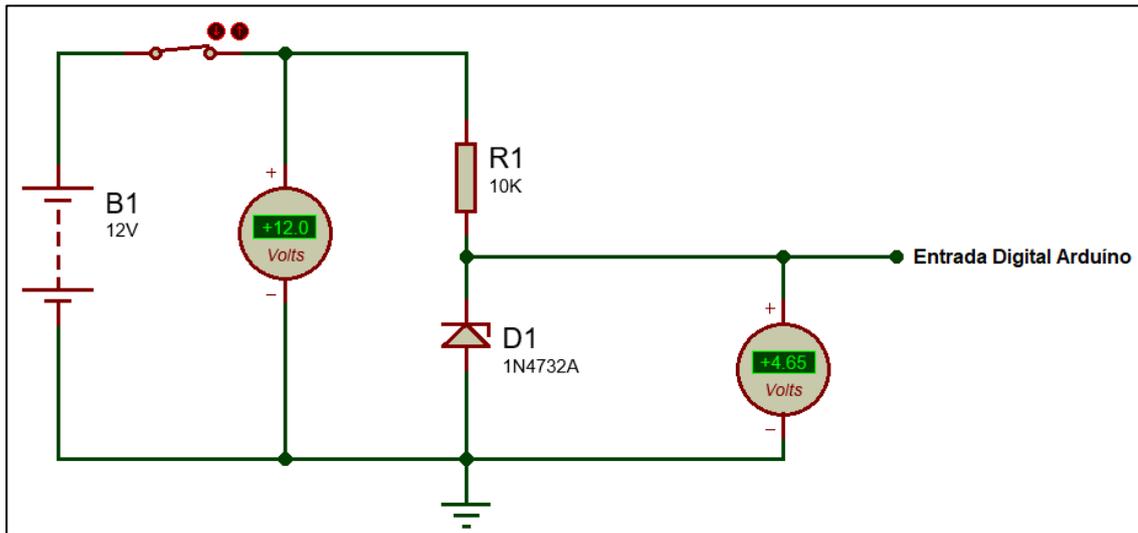
Fonte: Os Autores (2021).

Como pode ser observado na Figura 10, o resistor que tem a função de restringir a corrente no pino digital do Arduino, evitando danos ao mesmo. Para essa função, resistores entre $4.7k\Omega$ a $10K\Omega$ são suficientes para limitar a corrente.

Já o diodo zener tem a função de regular a tensão de saída do sensor em um valor seguro de operação para o Arduino. Nesse caso, a escolha do mesmo deve levar em conta que o máximo valor de tensão admissível nas entradas do microcontrolador é de 5V. Para a simulação o diodo zener utilizado foi o 1N4732A, esse semicondutor opera numa faixa de 3.3 a 24Vdc, fixando a tensão em 4.7V com uma corrente nominal de 53mA, garantindo assim que a tensão na entrada digital do Arduino não exceda o valor limite e danifique sua entrada ou o embarcado definitivamente.

Na simulação para representar a dinâmica do sinal de saída do sensor (lembrando que o sensor é NF), foi utilizada uma bateria de 12V, juntamente com uma chave que expressa a comutação do sensor. Na Figura 14 é possível observar que no instante em que a chave está fechada (sensor não detecta objeto ou fluído) a tensão no pino digital do Arduino será nível lógico alto ($\cong 4.7V$).

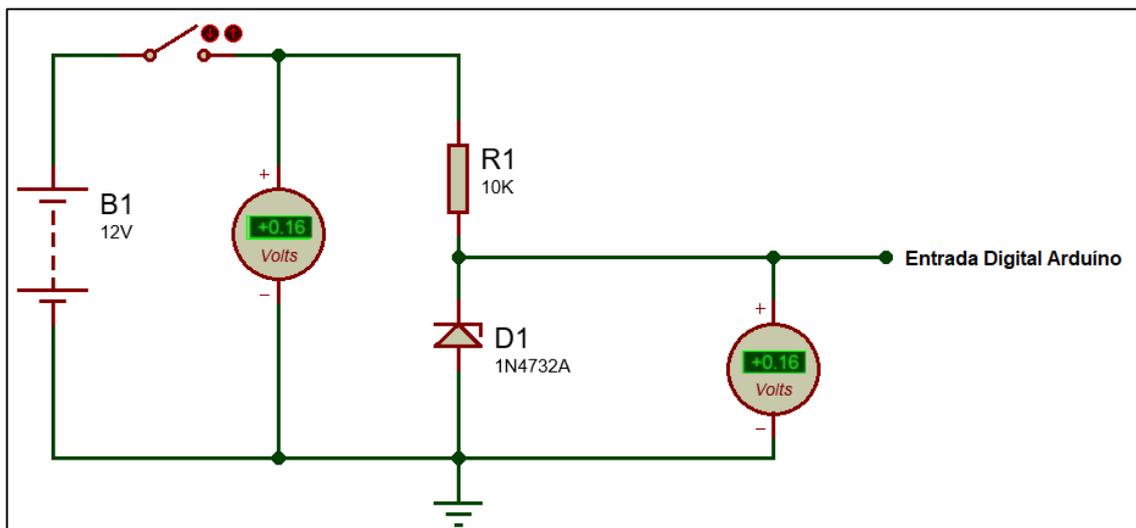
Figura 14 - Circuito simulando sinal de saída do sensor



Fonte: Os Autores (2021).

No instante em que algum objeto interceptar a área de detecção do sensor (chave aberta), a saída comuta para 0V e a tensão na entrada do microcontrolador também será 0V, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Saída do sensor em 0V



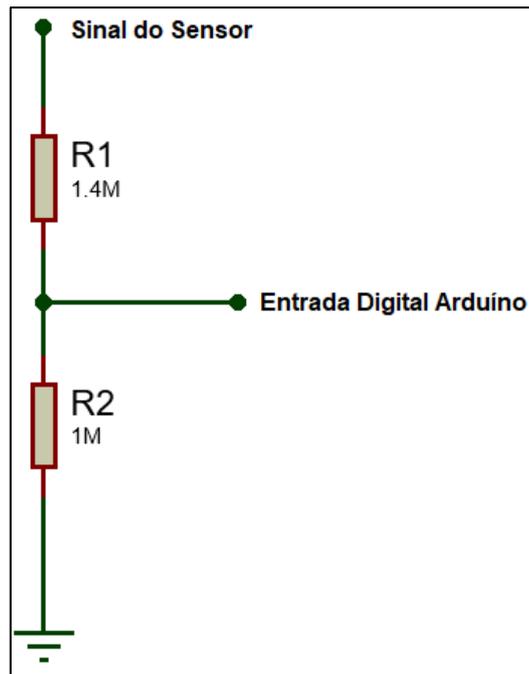
Fonte: Os Autores (2021).

3.3.1 Tratando o sinal de saída do sensor com divisor de tensão

Existem diversas formas de tratar o sinal de saída do sensor capacitivo, de modo que, algumas delas já foram apresentadas anteriormente. Nesta etapa será

realizado o circuito com divisor de tensão. Este tem o propósito de reduzir a tensão de saída do sensor, muito parecido com o anterior, substituindo o diodo por outro resistor e aumentando o valor das resistências de ambos os resistores. A Figura 16 a seguir exibe tal configuração.

Figura 16 - Circuito divisor de tensão



Fonte: Os Autores (2021).

Esta configuração é bem simples também. É comum adicionar resistores na ordem de $M\Omega$ pois assim o circuito não drena corrente do sinal do sensor e não interfere no valor da tensão sob o resistor R2 (que será composto apenas pelo sinal de tensão de saída do sensor reduzido). Para dimensionar os valores de resistência é necessário estipular um dos dois resistores, sendo assim, fixou-se $R2 = 1M\Omega$.

Aplicando a seguinte fórmula, pode-se encontrar o valor de R1:

$$V_{out} = (R2 * V_{in}) / R1 + R2 \quad 02$$

Como o valor de tensão é conhecido (V_{out}) e o valor da tensão de saída do sensor (V_{in}) juntamente com o valor do resistor R2, tem-se:

$$R1 = (R2 * V_{in} / V_{out}) - R2$$

$$R1 = (1M * 12/5) - 1M$$

$$R1 = 1.4M\Omega$$

Com isso é possível definir o valor do primeiro resistor para compor o divisor de tensão. Por existir diversos valores tabelados para resistores, e o valor encontrado anteriormente (1,4 M Ω) não ser comercial, foi utilizado um resistor de 1,5M Ω , para que não haja interferência de maneira significativa no funcionamento do circuito. A diferença será que quando o sensor não detectar algum objeto, sinal de saída 12V, o valor da tensão de entrada do Arduino será pouco menor que 5V, mas ainda garantindo seu correto funcionamento.

3.3.2 Ajuste de sensibilidade do sensor

É comum que esses sensores disponham de um parafuso na parte traseira da carcaça para ajustar a sensibilidade de comutação. Uma vez que se deseja empregar esse sensor em algum projeto prático, é necessário realizar o devido ajuste. Outra observação importante é a existência de um pequeno led na parte traseira do invólucro, que tem o papel de indicar a comutação do sensor, auxiliando até mesmo no ajuste da sensibilidade e em casos de manutenção e verificação de falhas. A Figura 17 a seguir permite identificar o parafuso de ajuste e o led.

Figura 17 - Parafuso de ajuste e led de comutação sensor capacitivo

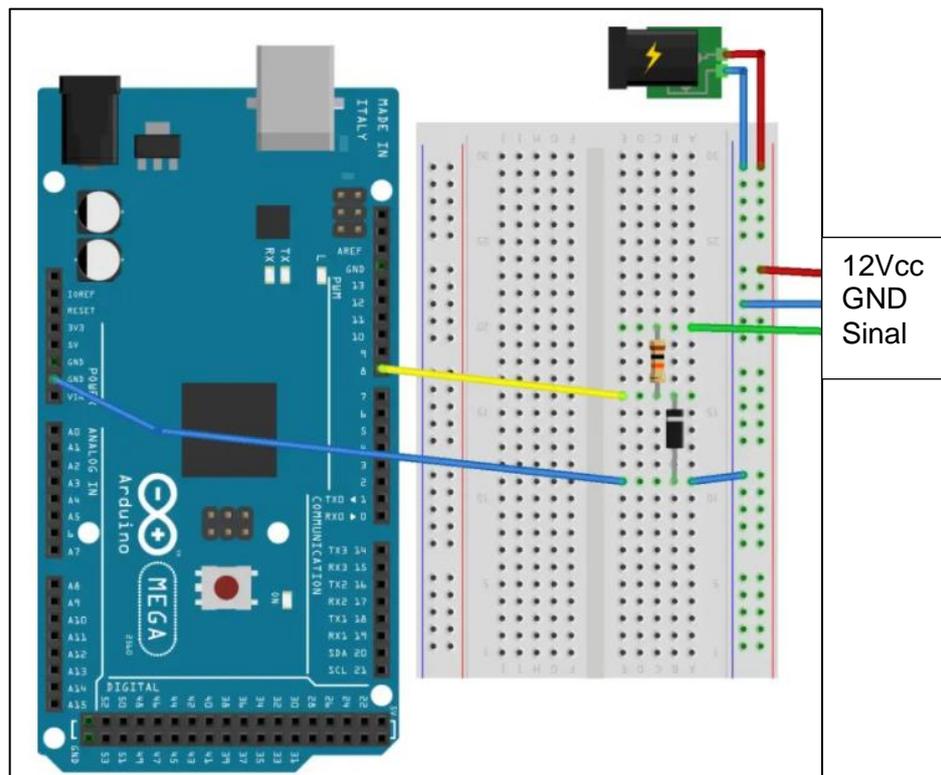


Fonte: Os Autores (2021).

3.3.3 Montagem do projeto

Nesta etapa conecta-se os componentes do projeto na Protoboard. Para isso, é necessário desligar o cabo USB do Arduino e montar o circuito, conforme a Figura 18 a seguir.

Figura 18 - Montagem do circuito na Protoboard



Fonte: Os Autores (2021).

Existem duas observações importantes sobre a montagem: a primeira diz respeito a alimentação do sensor, pois, como sabe-se, o sensor pode ser alimentado por uma fonte DC de 10 a 30Vdc (no diagrama acima utilizou-se uma bateria comum por questões de representação). A segunda observação é sobre o jumper de GND do Arduino conectado ao da fonte de alimentação do sensor, pois, sem essa conexão o circuito não funcionará de forma adequada pois eles não dispõem de um sinal de referência em comum. Uma vez que a montagem acima está finalizada, falta realizar a programação do seu modulo Arduino.

3.3.4 Programação

Para a programação é necessário abrir a IDE e conectar o Arduino ao computador por meio do cabo USB.

Após toda a parte de hardware de aplicação estiver montada, realizou a programação do software responsável por coletar o sinal do sensor e fazer a indicação da comutação do sensor capacitivo, conforme Figura 19.

Figura 19 - Programação do Arduino e Sensor Capacitivo

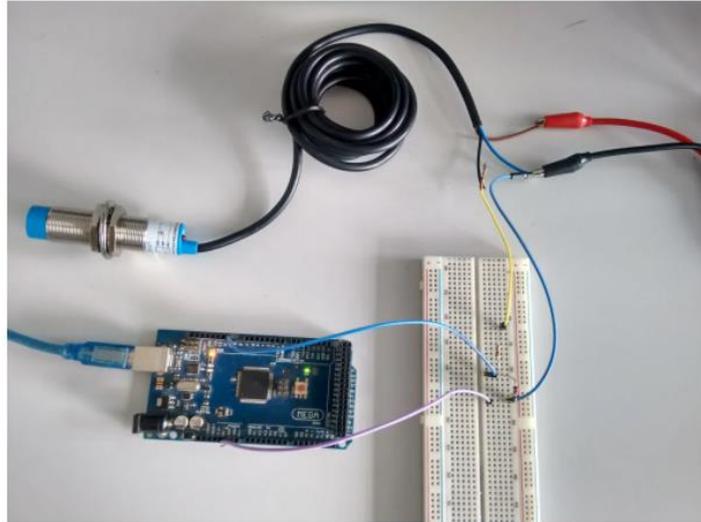
```
1. //Arduino e Sensor Capacitivo
2.
3. #define pinSensor 8 //Define o pino de entrada do sinal do sensor
4. #define LED 13 //Define led(pino 13) da placa do arduino
5.
6. bool statusSensor = false; //variável que armazena o estado do sensor
7.
8. void setup() {
9.     Serial.begin(9600); //Inicialização da porta de comunicação Serial
10.
11.     pinMode(pinSensor, INPUT); //Define o sensor como entrada de informações
12.     pinMode(LED, OUTPUT); //Define o led como saída
13. }
14.
15. void loop() {
16.
17.     //Faz a leitura digital do estado do sensor
18.     //acionado - 0(0V) desacionado - 1(+Vcc)
19.     statusSensor = digitalRead(pinSensor);
20.
21.     //se o valor da variável for 1(true) entra no if
22.     if (statusSensor == true) {
23.         Serial.println("Objeto nao Detectado!"); //exibe na serial a string dentro das aspas
24.         digitalWrite(LED, LOW); //Apaga o led
25.     }
26.
27.     //se o valor da variável for 0(false) entra no else if
28.     else if (statusSensor == false) {
29.         Serial.println("Objeto Detectado!"); //exibe na serial a string dentro das aspas
30.         digitalWrite(LED, HIGH); //Acende o led
31.     }
32.
33.     delay(500); //atraso de 1/2 segundo
34. }
```

Fonte: Os Autores (2021).

3.3.5 Testes Funcionais

Para verificar-se o funcionamento do sensor capacitivo, montou-se em bancada o circuito que reduz a tensão de saída juntamente com um Arduino Mega, como pode ser visualizado na Figura 20 a seguir.

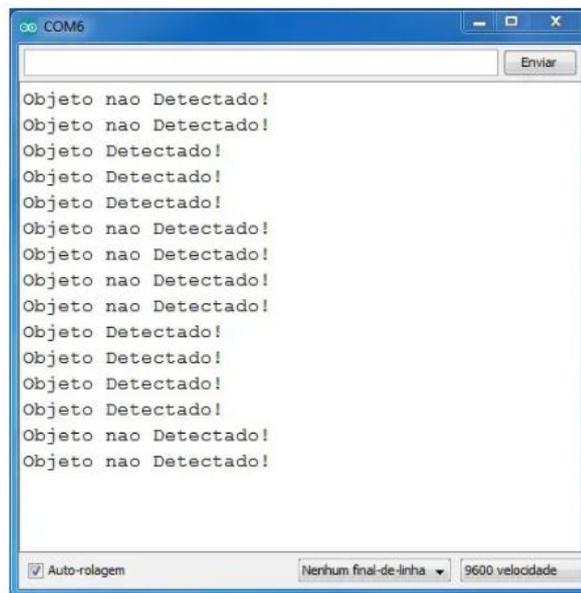
Figura 20 - Montagem do circuito para teste



Fonte: Os Autores (2021).

A seguir na Figura 21 é possível verificar a leitura do sinal do sensor capacitivo com Arduino.

Figura 21 - Leitura do sinal do sensor capacitivo



Fonte: Os Autores (2021).

3.3.6 Software

Nesta etapa será discutido cada parte do código utilizado nos testes funcionais

3.3.6.1 Declaração de variáveis do projeto

Primeiramente, para desenvolver a aquisição do sinal do sensor é necessário a criação ou definição das variáveis de entrada e saída do Arduino.

A variável `pinSensor` é responsável por definir o pino de entrada do sinal do sensor no microcontrolador e a variável `LED` é utilizada para definir o pino do led da placa Arduino Mega. Já a variável `statusSensor` (do tipo booleana) tem a função de armazenar o valor referente ao estado do sensor.

```
#define pinSensor 8
```

```
#define LED 13
```

```
bool statusSensor = false;
```

3.3.6.2 Configurações iniciais

Na função `setup()`, existem duas seções, a primeira delas é a função `Serial.begin(9600)`, onde é inicializado a porta de comunicação serial e definido o baudrate para 9600.

A segunda parte é composta pela definição das I/O, ou seja, com a função `pinMode(pinSensor, INPUT)` define-se que a variável `pinSensor` é um pino de entrada de dados. Da mesma forma com a instrução `pinMode(LED, OUTPUT)` determina-se que a variável `LED` é um pino de saída do Arduino.

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(pinSensor, INPUT);  
  pinMode(LED, OUTPUT);  
}
```

3.3.6.3 Aquisição do sinal do sensor

Na função void loop(), utiliza-se primeiramente a instrução digitalRead (pinSensor) para armazenar na variável statusSensor o valor digital do estado do sensor que pode ser 0(false) ou 1(true), o parâmetro dentro dos parênteses é o pino a ser lido.

```
statusSensor = digitalRead(pinSensor);
```

Na próxima linha de código, existe a condicional if(), caso o estado do sensor armazenado na variável statusSensor venha a ser 1(true), a condição é aceita e o Arduino executa as duas funções dentro da condicional. A primeira função Serial.println("Objeto nao Detectado!"), exibe no monitor serial Objeto nao Detectado! que o sensor não está detectando nenhum objeto ou fluído próximo a sua área de contato. A segunda instrução executada é a digitalWrite(LED, LOW), tal função recebe dois parâmetros (pino do Arduino, nível lógico) desta forma como o comando foi LOW a saída(led) é desligado.

```
if (statusSensor == true) {  
  Serial.println("Objeto nao Detectado!");  
  digitalWrite(LED, LOW);  
}
```

Da mesma forma existe uma condicional else if() que avalia o caso em que o sensor está detectando algum objeto próximo a sua região de sensibilidade. Sendo assim, se o valor de statusSensor for 0(false), a condição é válida e o Arduino executa as duas próximas funções dentro das chaves. A primeira função Serial.println("Objeto Detectado!"), exibe no monitor serial Objeto Detectado! que o sensor está detectando objeto próximo a sua face frontal, e a segunda instrução ascende o led da placa digitalWrite(LED, HIGH), pois foi passado o parâmetro HIGH(ligado, 1).

```
else if (statusSensor == false) {  
  Serial.println("Objeto Detectado!");  
  digitalWrite(LED, HIGH);  
}
```

A última linha de código é composta pela função `delay(ms)`, essa função quando executada gera um atraso no código em milissegundos de acordo com o valor do parâmetro passado dentro dos parênteses, nesse caso 500ms ou 1/2 segundo.

```
delay(500);
```

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizar o projeto da maleta didática, bem como demonstrar algumas aplicações, efeitos físicos e a importância que os sensores têm dentro de uma vasta gama de aplicações nas indústrias, foi realizada a montagem da maleta proposta.

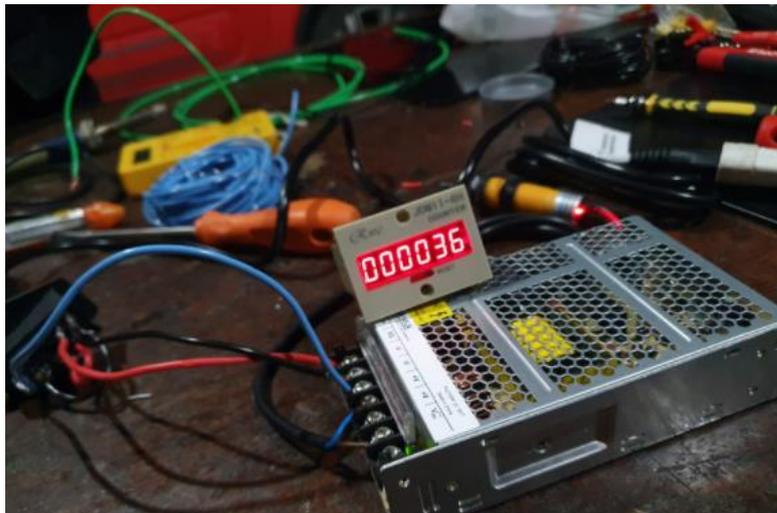
A etapa inicial compreende na separação dos materiais necessários para a confecção da maleta proposta (Figura 22).

Figura 22 - Separação dos materiais utilizados na confecção da maleta



Fonte: Os Autores (2021).

Após a separação de todos os componentes, realizou os testes dos sensores em fonte chaveada, para garantir o funcionamento dos sensores utilizados, fazendo validação de distâncias sensoras e pulsos (Figura 23).

Figura 23 - Realização de testes funcionais dos sensores

Fonte: Os Autores (2021).

Neste caso específico realizou-se o primeiro experimento com um sensor ótico difuso com distância de 25cm de detecção e passando para um contador digital, assim armazenando e demonstrando a contagem, o qual foi executado sem falhas, comprovando seu perfeito funcionamento.

Após os testes de funcionamento dos componentes, realizou-se as etapas de cortes e ajustes da chapa de acrílico para o posicionamento dos sensores, seguindo a montagem, realizou-se a colagem dos suportes (Figura 24).

Figura 24 - Realização de ajustes e alocação de componentes

Fonte: Os Autores (2021).

Nesta etapa percebeu-se a importância de alocar todos os sensores da maneira correta, para que não se tenha nenhuma interferência de onda entre eles.

Com a alocação dos sensores e com os ajustes adequados a placa de acrílico, pode-se realizar a alocação de toda fiação, reles e suportes utilizados (Figura 25).

Figura 25 - Alocação de fiação, reles e suportes a placa de acrílico



Fonte: Os Autores (2021).

A alocação dos displays nos locais adequados é muito importante para que se tenha a melhor visualização das informações e que possa ser cumprido o requisito de presenciar os efeitos físicos dos sensores.

Conclusão

Os sensores industriais são dispositivos que verificam movimentações nas máquinas industriais, detectando, medindo e controlando a quantidade de materiais, direções, velocidade, níveis, temperatura, posição entre outros.

Dependendo do tipo de sensor, eles podem até mesmo checar tensão ou corrente. Seu intuito é transformar em informações, sinais elétricos ou sonoros, essas variáveis físicas, elevando a eficiência dos processos de produção.

É muito importante que se tenham maneiras mais didáticas que visem um melhor entendimento do princípio de funcionamento de sensores industriais e

demonstrações práticas de posicionamento e detecção de peças com os sensores, o que é alinhado a proposta demonstrada e executada neste trabalho.

O projeto da maleta foi muito importante e um grande facilitador na etapa de montagem da maleta funcional, pois o projeto contempla todas as posições dos componentes necessários, o que garante o perfeito funcionamento dos sensores, garantindo que não haja interferências em suas leituras.

A simulação teórica e prática do sensor capacitivo foi muito importante para o entendimento deste tipo de sensor, que é amplamente empregado para detecção de materiais diversos, sem que estes precisem ter algum tipo de contato com ele. Sendo este processo feito através da variação da capacitância interna do sensor, conforme experimento prático realizado.

De maneira simples o experimento prático do uso do sensor capacitivo com Arduino, mostrou-se funcional conforme o previsto, o sensor foi capaz de ser acionado quando o material entrou em sua zona de detecção, e com o auxílio da programação do Arduino, o sistema foi capaz de demonstrar seu funcionamento realizando a detecção do objeto.

Para concluir, através da realização deste trabalho, foi possível conhecer a aplicação e efeitos físicos de diversos tipos de sensores que são amplamente utilizados em diversas aplicações dentro das indústrias dos mais variados segmentos.

REFERÊNCIAS

BALLUF. Fonte disponível em: <www.balluffbrasil.com.br>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

BRITO, Fábio. **Sensores e Atuadores**. São Paulo: Érica 1ª ed., 2017.

BLUE SENSOR. **Sensor Fotoelétrico**. Fonte disponível em: <www.bluesensor.com.br/sensor-fotoelettrico>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

CAMARGO, Valter Luis Arlindo De. **Elementos de Automação**. São Paulo: Érica 1ª ed., 2014.

CITIESYSTEMS. **Sensor Ultrassônico**. Fonte disponível em: <www.citiesystems.com.br/sensor-ultrassonico/>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

GUIMARÃES, Suely Fernandes. PALHARINI, Alessandra Rosa. **Tecnicismo e prática pedagógica na escola contemporânea**. Trabalho de conclusão de curso - FAEF, Garça SP, 2011.

ENGEREY. Fonte disponível em: <www.engerey.com.br/>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

MECAWEB. Fonte disponível em: <http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_sensor_optico>. Acesso em 23 de maio de 2021.

MTI BRASIL. Fonte disponível em: <<https://www.mtibrasil.com.br/ligacao-de-sensores-diferenca-entre-PNP-e-NPN.php>>. Acesso em 23 de maio de 2021.

NOGUEIRA, A. F. L.; RAMOS, A.; WEINERT, R. **Estudo comparativo entre magnetômetros que utilizam sensores indutivos e magnetoresistivos**. Fonte disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Nogueira-6/publication/265207884_Estudo_comparativo_entre_magnetometros_que_utilizam_sensores_indutivos_e_magnetoresistivos/links/540725d80cf2bba34c1e8fbc/Estudo-comparativo-entre-magnetometros-que-utilizam-sensores-indutivos-e-magnetoresistivos.pdf>. Acesso em 12 de abril de 2021.

PATSKO, Luís Fernando. **Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. Fonte disponível em: <https://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf>. Acesso em 12 de abril de 2021.

RODRIGUES, M J. JURACH, P J. GIORDANI, R E. **Bancada didática de pneumática**. Trabalho de conclusão de curso - CEFET, RS, 2003.

SCHULER, Charles. **Eletrônica I**. Série Tekne, AMGH Editora 7ª ed, 2013.



SEDRA, S.; SMITH, K. **Microeletrônica**. São Paulo: Pearson Makron Books 4^a ed, 2005.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P.U.B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 4^a ed. São Paulo: Érica, 2009.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P.U.B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 8^a ed. São Paulo: Érica, 2011.

SEIDEL, Álysson Raniere. **Instrumentação Aplicada**. – 3. ed. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. Fonte disponível em:
<<http://www.solucoesindustriais.com.br/>>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

WEG. **Sensores Industriais**. Fonte disponível em:
<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Seguran%C3%A7a-de-M%C3%A1quinas-e-Sensores-Industriais/Sensores-Industriais/c/BR_WDC_SFY_SENSORS>. Acesso em: 12 de abril de 2021.