



CONSTRUÇÃO DE UMA PLATAFORMA LINEAR MÓVEL PARA CALIBRAÇÃO DE SENsoRES DE PROXIMIDADE INDUTIVOS E CAPACITIVOS EM AULA PRÁTICA DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

DOI: 10.37702/2175-957X.COBIENGE.2025.6203

Autores: LEANDRO EVERTON ALVES COSTA, ROSIANE RIBEIRO ROCHA

Resumo: Este artigo detalha o desenvolvimento de uma Plataforma Linear Móvel para calibração de sensores de proximidade, visando solucionar as deficiências de arranjos improvisados utilizados anteriormente em aulas práticas de Instrumentação Industrial, os quais comprometiam a consistência e a confiabilidade dos dados obtidos. A nova estrutura foi projetada com foco em precisão, modularidade e facilidade de uso, além de se utilizar processos de modelagem, impressão 3D e também corte a laser para fabricação de alguns de seus componentes. Experimentos comparativos evidenciaram a superioridade da plataforma, com significativa redução no tempo de preparo dos ensaios, aumento na precisão das medições e maior confiabilidade na análise dos resultados. A solução desenvolvida reforça a importância da experimentação padronizada no ensino de engenharia e possui considerável potencial de replicação e adaptação em outras instituições de ensino, promovendo a inovação aplicada.

Palavras-chave: Instrumentação Industrial, Sensor de Proximidade, Plataforma Didática

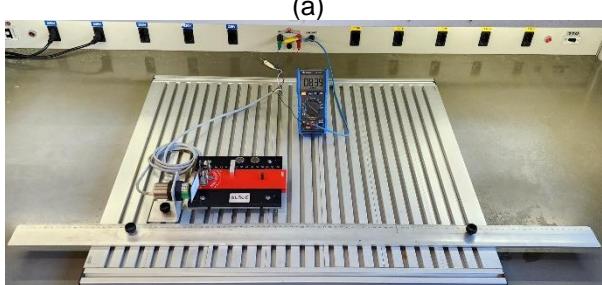
CONSTRUÇÃO DE UMA PLATAFORMA LINEAR MÓVEL PARA CALIBRAÇÃO DE SENsoRES DE PROXIMIDADE INDUTIVOS E CAPACITIVOS EM AULA PRÁTICA DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

1 INTRODUÇÃO

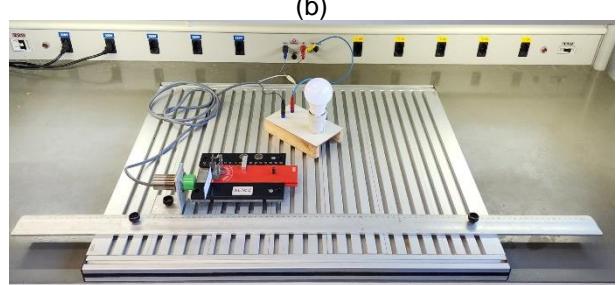
A repetitividade das medições, definida como o grau de concordância entre resultados sucessivos de uma mesma grandeza sob as condições idênticas de método, observador, instrumento, local e intervalo de tempo (ALVES, 2010), é um dos requisitos fundamentais para a confiabilidade de qualquer sistema de medição.

No ensino de engenharia, essas características adquirem importância ainda maior, pois fornecem aos estudantes uma base consistente para a análise dos dados coletados, validação de hipóteses e desenvolvimento de raciocínio crítico aplicados à prática experimental. A seguir, são apresentados como eram realizadas as práticas de laboratório nas aulas de instrumentação industrial, com o estudo envolvendo sensores de proximidade indutivos (Figura 1a) e sensores de proximidade capacitivos (Figura 1b), no qual eram utilizados arranjos improvisados para montar uma estrutura razoável para a realização dos experimentos.

Figura 1: Bancada para estudos dos sensores de proximidade: (a) arranjo improvisado para prática com sensor indutivo; (b) arranjo improvisado para prática com sensor capacitivo



Fonte: Autoria Própria



Fonte: Autoria Própria

Apesar de funcional, essa estrutura apresentava diversos problemas, pois era composta por uma base de alumínio grande e pesada, com cerca de 1 metro quadrado de área e aproximadamente 15 kg, o que dificultava sua manipulação durante a preparação da aula, além de apresentar riscos de acidentes. Boa parte do tempo de aula era consumido apenas na montagem da prática, reduzindo o tempo efetivo destinado à execução dos ensaios e à análise dos resultados. Além disso, a fixação manual de uma régua e a ausência de um sistema padronizado de alinhamento entre sensor e alvo, tornavam as medições suscetíveis a erros de paralaxe e desalinhamentos, comprometendo a consistência e a confiabilidade dos dados.

Diante das limitações identificadas, foi desenvolvida a Plataforma Linear Móvel para Calibração de Sensores de Proximidade, um dispositivo projetado para garantir a repetição de experimentos sob condições controladas, melhorar a consistência dos dados coletados e reduzir o tempo na preparação das aulas práticas. A estrutura reúne, em um único conjunto compacto, trilhos lineares, suporte para placas de teste, escala milimetrada fixa e base

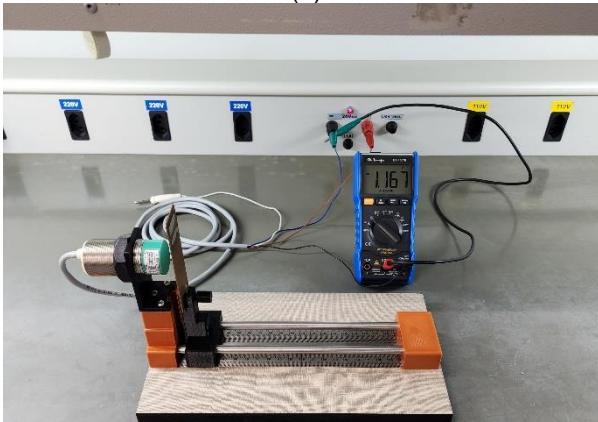
15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

removível para fixação do sensor, permitindo o alinhamento preciso entre sensor e alvo — requisitos fundamentais para assegurar precisão, sensibilidade e, principalmente, repetitividade.

Abaixo, é apresentado a versão final e funcional da plataforma linear móvel, montada para o estudo envolvendo sensores de proximidade indutivos (Figura 2a) e sensores de proximidade capacitivos (Figura 2b).

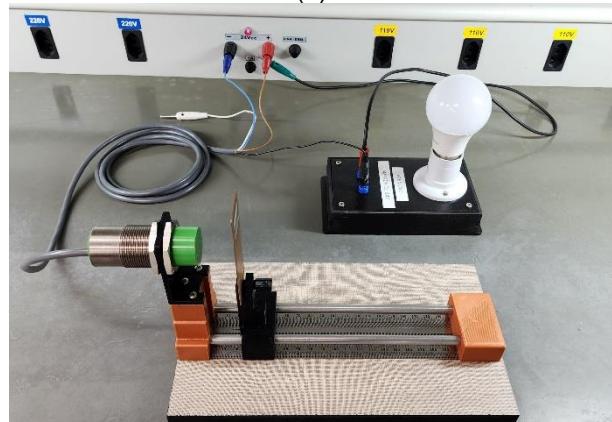
Figura 2: Bancada para estudos dos sensores de proximidade com a plataforma linear móvel: (a) prática com sensor indutivo; (b) prática com sensor capacitivo

(a)



Fonte: Autoria Própria

(b)



Fonte: Autoria Própria

A organização do conjunto evidencia a adaptação da estrutura para ambientes didáticos, permitindo ensaios em um arranjo padronizado, estável e de rápida preparação. O layout compacto favorece o alinhamento preciso entre sensor e alvo, facilitando a aplicação prática dos conceitos discutidos em sala de aula e garantindo maior controle sobre as condições de medição, fator essencial para a confiabilidade dos resultados obtidos.

2 METODOLOGIA

Esta seção apresenta nos dois primeiros tópicos os fundamentos teóricos que embasaram o desenvolvimento da plataforma linear móvel. No terceiro tópico, aborda a metodologia empregada em sua construção. O objetivo não é esgotar os temas relacionados a instrumentação industrial, mas oferecer uma visão concisa sobre o funcionamento e as aplicações dos sensores indutivos e capacitivos, dando um breve contexto de seu papel prático no processo de medição.

2.1 Sensores Indutivos

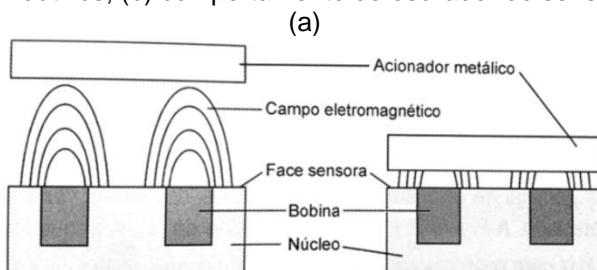
Os sensores de proximidade indutivos são dispositivos essenciais na automação de processos, pois permitem a detecção precisa de objetos metálicos sem contato físico. Com o avanço das tecnologias de instrumentação, esse tipo de sensor passou a substituir as tradicionais chaves fim de curso, que eram amplamente utilizadas em processos similares, mas que apresentavam algumas limitações e desvantagens em durabilidade, precisão e tempo de resposta (Capeli, 2007).

O princípio de funcionamento dos sensores indutivos baseia-se na indução eletromagnética: ao energizar o sensor, um campo magnético é gerado na região da face sensora. A Figura 3a ilustra duas situações de funcionamento: uma em que o acionador/alvo é afastado do campo eletromagnético e outra em que o alvo está próximo da face sensora dentro da zona de detecção. Quando um objeto metálico se aproxima, esse campo sofre interferência, provocando uma alteração detectável no sinal do sensor. Esse comportamento

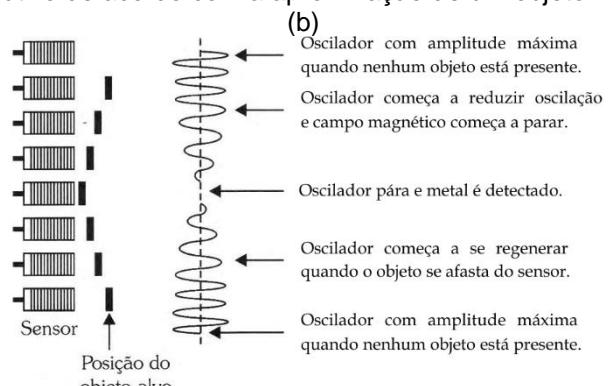
15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

está representado na Figura 3b, onde é possível observar a variação da amplitude de oscilação conforme o objeto metálico se aproxima ou se afasta da face do sensor.

Figura 3: Representação do funcionamento de um sensor indutivo: (a) detalhes da bobina dos sensores indutivos; (b) comportamento do oscilador do sensor indutivo de acordo com a aproximação de um objeto



Fonte: Adaptada de Thomazini e Albuquerque (2020, p. 24)



Fonte: Adaptada de Franchi e Camargo (2008, p. 71)

A tecnologia indutiva se destaca pela robustez, confiabilidade – mesmo em ambientes industriais, não possui partes móveis em sua construção, apresenta maior durabilidade e uma baixa necessidade de manutenção. Poeira, óleo, graxa e outros contaminantes típicos de uma indústria, não comprometem o desempenho do sensor, o que o torna ideal para aplicações em linhas de produção mais exigentes (CAMARGO, 2014).

Os sensores indutivos estão disponíveis em uma variedade de formatos e tamanhos — geralmente com encapsulamento cilíndrico rosqueável — e podem operar em corrente contínua (CC) ou alternada (CA). A maioria possui um LED indicador no corpo do sensor, facilitando testes e diagnósticos em campo (FRANCHI e CAMARGO, 2009). Em muitos modelos, é possível realizar ajustes finos de sensibilidade diretamente no corpo do sensor, permitindo calibrar a distância de atuação conforme a necessidade do processo.

Essas são algumas das características que conferem destaque aos sensores indutivos, além de permitir uma série de aplicações industriais complexas, como também representam uma excelente ferramenta didática para o ensino de instrumentação industrial. Sua resposta clara, estrutura robusta e facilidade de integração ao sistema desenvolvido, permite aos estudantes compreenderem conceitos fundamentais da indução eletromagnética ligados ao controle de processos.

2.2 Sensores Capacitivos

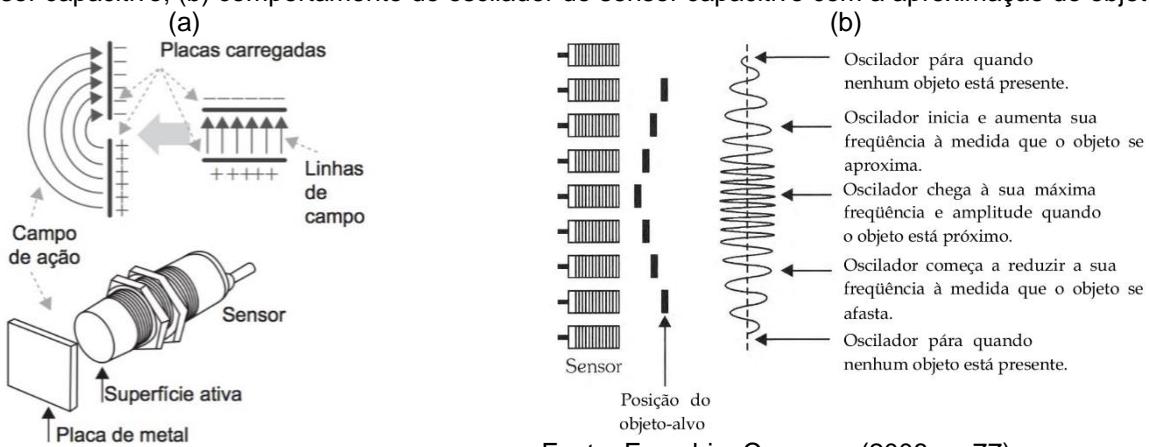
Os sensores capacitivos são capazes de detectar praticamente qualquer tipo de material: metálicos, não metálicos, sólidos ou líquidos. Embora também possam ser usados na detecção de metais, essa aplicação não é comum, já que os sensores indutivos apresentam desempenho superior nesse tipo de situação e, geralmente, menor custo. Por outro lado, os sensores capacitivos se destacam em aplicações onde é necessário identificar a presença de materiais como plástico, papel, vidro, madeira, grãos e até mesmo líquidos como água ou óleo.

Seu funcionamento consiste em um oscilador interno acoplado a um capacitor, formado por duas placas metálicas carregadas com cargas elétricas opostas, projetando um campo elétrico para fora do sensor, formando assim um capacitor, que possui como dielétrico o ar (Sense, 2024). À medida que um objeto se aproxima, o material modifica a constante dielétrica entre as placas do capacitor, alterando sua capacidade. Essa variação impacta diretamente o oscilador, aumentando sua amplitude de oscilação até atingir um ponto de comutação,

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

fazendo com que a saída do sensor mude para ligado (FRANCHI, 2015). A Figura 4a ilustra o princípio de funcionamento de um sensor capacitivo e as linhas de campo de ação entre as placas, e a Figura 4b apresenta o comportamento do oscilador na medida que o objeto alvo se aproxima da face sensora, destacando a interação entre o objeto e o comportamento do campo elétrico gerado.

Figura 4: Representação do funcionamento de um sensor capacitivo: (a) princípio de funcionamento de um sensor capacitivo; (b) comportamento do oscilador do sensor capacitivo com a aproximação do objeto



Fonte: Júnior e Silva (2015, p. 28)

Fonte: Franchi e Camargo (2008, p. 77)

A sensibilidade à constante dielétrica dos materiais é justamente o que confere a esse sensor sua notável versatilidade. Além disso, muitos modelos permitem ajustes finos por meio de um potenciômetro incorporado ao corpo do sensor, possibilitando a calibração da distância de atuação e a adaptação a diferentes contextos operacionais, como a detecção de nível em recipientes não condutivos ou o controle de presença de embalagens em linhas de produção, por exemplo.

No ambiente acadêmico, os experimentos utilizando sensores capacitivos oferecem uma excelente oportunidade para explorar conceitos de eletrostática e propriedades dielétricas dos materiais. Sua integração à plataforma desenvolvida, tem o objetivo de evidenciar essas diferenças e promover uma compreensão mais aprofundada dos fatores que influenciam a precisão e a confiabilidade das medições.

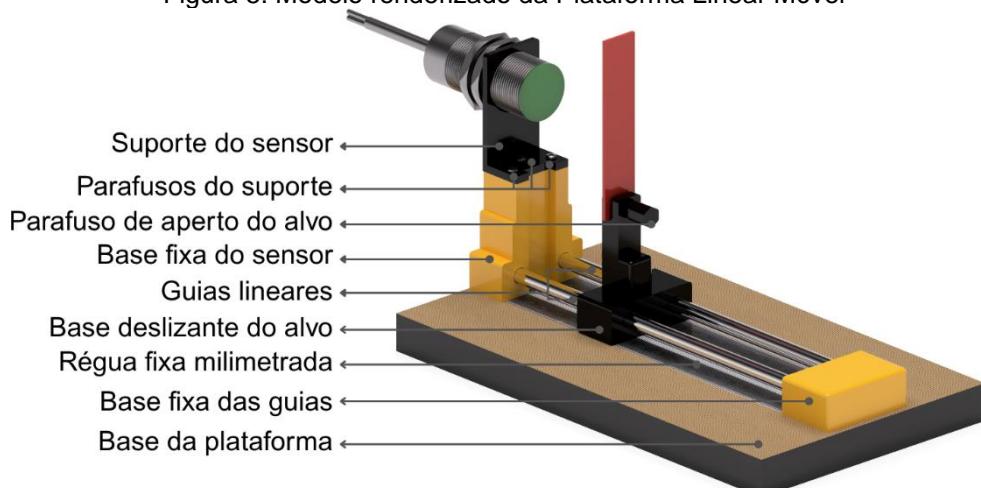
2.3 Modelagem, Fabricação e Montagem

O desenvolvimento iniciou-se com a definição dos requisitos físicos, dos materiais e das tecnologias de fabricação a serem empregadas, considerando aspectos como modularidade, robustez e precisão mecânica dos movimentos. Com essas diretrizes estabelecidas, o projeto avançou para a etapa de modelagem tridimensional no ambiente CAD (do inglês, *Computer Aided Design*) Fusion 360 da Autodesk, permitindo a visualização antecipada da estrutura e a validação de critérios técnicos como alinhamento, ergonomia e facilidade de montagem.

O modelo em 3D permitiu o dimensionamento preciso de cada componente e a visualização do conjunto antes da fabricação. As especificações foram definidas pensando em produzir uma estrutura compacta e que apresentasse uma boa estabilidade das medições a serem realizadas durante as práticas experimentais. O trilho deslizante ao alvo e o suporte removível do sensor foram impressos em PLA (do inglês, *Polylactic Acid*), por ser um material de maior rigidez e resistência à impacto, tornando-as adequadas as partes sujeitas a esforço mecânico que estariam sujeitas. A Figura 5 apresenta o modelo final renderizado, destacando cada componente do conjunto.

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

Figura 5: Modelo renderizado da Plataforma Linear Móvel



Fonte: Autoria Própria

Para a leitura da posição entre o sensor e a estrutura móvel, uma régua milimetrada em aço inox foi fixada diretamente à base, permitindo medições precisas sem a necessidade de reposicionamento manual de instrumentos de referência. As especificações das peças que compõem o dispositivo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Componentes da plataforma linear móvel: descrição, dimensões e materiais.

| Peça | Dimensões (mm) | Material |
|-----------------------------|----------------------------|----------|
| Suporte do sensor | 62 x 24 x 4 | PLA |
| Parafusos do suporte | M3 x 6 | Metal |
| Parafuso de fixação do alvo | M6 x 22 | PLA |
| Base fixa do sensor | 25 x 54 x 60 | ABS |
| Guias lineares | ø 7,94 x 250 | Aço inox |
| Base deslizante do alvo | 25 x 54 x 66 | PLA |
| Base fixa das guias | 33 x 54 x 20 | ABS |
| Régua fixa milimetrada | 200 x 50 x 1 | Aço inox |
| Base da plataforma | 265 x 150 x 20 (C x L x A) | MDF |

Fonte: Autoria Própria

A modularidade do conjunto permite reconfigurações rápidas para diferentes tipos de sensores, facilitando tanto a calibração quanto a comparação de desempenho entre diferentes tecnologias, além de possibilitar uma compreensão mais aprofundada das diversas aplicações que podem ser atribuídas aos sensores de proximidade.

3 PROPOSTA DE PRÁTICA EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentadas duas sugestões de práticas experimentais que foram trabalhadas e validadas nas aulas da disciplina de Instrumentação Industrial do curso de Engenharia de Controle e Automação. Elas podem ser adaptadas para outros contextos de ensino, tanto técnico quanto superior. Cada prática será realizada em dois cenários: um utilizando a antiga base improvisada, e outro utilizando a plataforma linear móvel. Os experimentos realizados buscam não apenas verificar a atuação dos sensores sobre diferentes tipos de materiais, mas também comparar a eficiência das duas estruturas em termos de tempo de preparação da prática, facilidade de montagem e repetitividade das medições.

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

3.1 Roteiro para Sensores Indutivos

Esta prática tem como objetivo explorar o comportamento de um sensor indutivo, determinar a curva característica (tensão x distância) para metais ferrosos (aço) e não-ferrosos (cobre) e determinar a equação de transferência do sensor, dada pela Equação (1):

$$V_s(x) = ax + b \quad (1)$$

sendo $V_s(x)$ a tensão de saída, a o coeficiente angular, x a distância da face sensora ao alvo e b o coeficiente linear.

A atividade foi pensada para demonstrar a sensibilidade do sensor em função do material-alvo, destacando a importância de uma estrutura que ofereça alinhamento preciso e movimentação controlada – característica presente na plataforma linear móvel.

Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a realização das práticas estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Materiais e equipamentos utilizados na prática experimental com sensor de proximidade indutivo para levantamento da curva característica

| Quantidade | Descrição | Aplicação/Observação |
|------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| 01 | Sensor de proximidade indutivo | Levantamento da curva de resposta |
| 01 | Plataforma linear móvel | Equipamento proposto neste trabalho |
| 01 | Estrutura improvisada | Para comparação com plataforma desenvolvida |
| 01 | Fonte de tensão ajustada para 24VCC | Alimentação do sensor |
| 01 | Multímetro digital | Leitura da saída analógica |
| 01 | Peça metálica (aço) | Alvo ferromagnético |
| 01 | Peça metálica (cobre) | Alvo não ferromagnético |
| Cabos | Fios e conectores | Montagem do circuito |
| 01 | Régua milimetrada | Apenas na estrutura improvisada |

Fonte: Autoria Própria

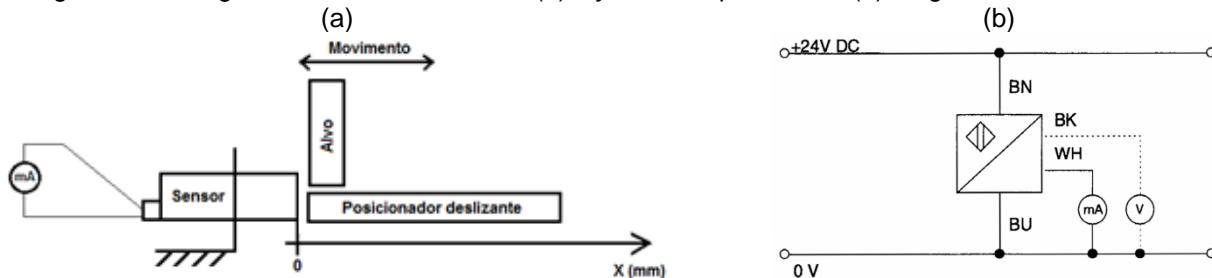
Montagem e procedimento experimental

Esse tópico irá abordar os procedimentos realizados para o levantamento da curva característica de um sensor de proximidade indutivo, considerando dois cenários distintos para a execução da prática: (i) utilizando uma estrutura improvisada com materiais presentes no laboratório e (ii) utilizando a plataforma linear móvel desenvolvida neste artigo.

i) Estrutura Improvisada

Abaixo está ilustrado o esquema de montagem e posicionamento dos componentes para o experimento (Figura 6a), e o diagrama das conexões elétricas (Figura 6b).

Figura 6: Montagem e conexões elétricas: (a) layout do experimento; (b) diagrama de conexões elétricas



Fonte: Adaptado de fonte original desconhecida

Fonte: Schmitz (2011, p. 12)

No esquema de ligação elétrica, os cabos estão identificados pelas siglas BN, BK, WH e BU, que são os fios de cor marrom, preto, branco e azul, respectivamente.

ii) Plataforma Linear Móvel

Nesta prática, o sensor deve ser rosqueado no suporte para o sensor, ajustando-se sua posição em relação ao alvo por meio do deslocamento da estrutura deslizante até o alinhamento no ponto zero da escala milimetrada presente no conjunto. As conexões elétricas devem ser realizadas conforme o mesmo esquema apresentado para a estrutura improvisada.

Levantamento da curva característica do sensor

Após a montagem do circuito e a escolha do material-alvo (aço e cobre na prática aqui apresentada), iniciou-se o processo da coleta dos dados experimentais, com o objetivo de construir a curva característica do sensor indutivo, medindo a tensão gerada pelo objeto alvo frente ao sensor. A metodologia consistiu em aproximar o alvo do sensor a passos regulares de 2 mm, variando entre 0 mm e 20 mm. A cada incremento, a saída analógica da tensão foi registrada com o auxílio de um multímetro digital.

Os ensaios foram realizados em ambos os cenários propostos: utilizando a estrutura improvisada e utilizando a Plataforma Linear Móvel desenvolvida neste trabalho. Em cada situação, três medições foram feitas por distância, e a média simples desses valores foram utilizadas para compor a Tabela 3, que apresenta os dados obtidos para os dois materiais analisados.

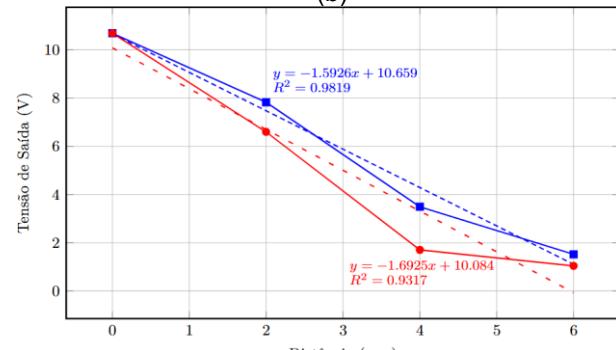
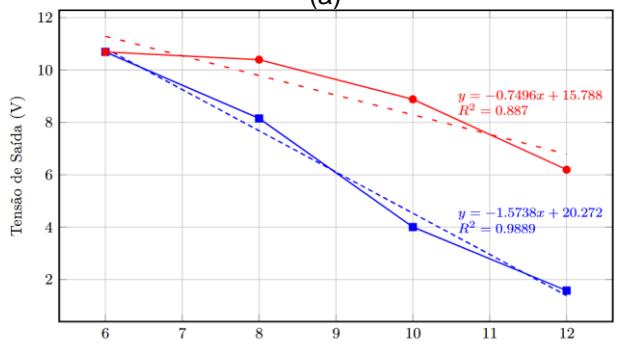
Tabela 3: Dados para levantamento da curva característica do sensor indutivo, nos dois métodos testados

| Posição do Alvo (mm) | Tensão Vs (VCC) | | | |
|----------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| | Alvo de Aço | | Alvo de Cobre | |
| | Plataforma Linear | Estrutura Improvisada | Plataforma Linear | Estrutura Improvisada |
| 0 | 10,690 | 10,690 | 10,690 | 10,690 |
| 2 | 10,690 | 10,690 | 7,827 | 6,597 |
| 4 | 10,690 | 10,690 | 3,491 | 1,703 |
| 6 | 10,690 | 10,690 | 1,518 | 1,038 |
| 8 | 8,153 | 10,397 | 1,138 | 0,847 |
| 10 | 4,007 | 8,883 | 0,946 | 0,776 |
| 12 | 1,580 | 6,197 | 0,849 | 0,745 |
| 14 | 1,157 | 2,931 | 0,802 | 0,729 |
| 16 | 0,954 | 1,655 | 0,776 | 0,719 |
| 18 | 0,858 | 1,286 | 0,760 | 0,713 |
| 20 | 0,803 | 1,076 | 0,750 | 0,709 |

Fonte: Autoria Própria

Com base nos dados apresentados, foram construídas as curvas características, que representam graficamente a variação da tensão de saída do sensor em função da distância para cada combinação de estrutura e material-alvo. Os valores escolhidos para plotar o gráfico do material aço, foram obtidos entre a distância de 6 mm a 12 mm (4 pontos da tabela). Já para o material cobre, os valores foram obtidos de 0 mm a 6 mm. Esses pontos foram escolhidos por estar fora da zona de saturação do sensor, como é possível observar nos gráficos da Figura 7a e 7b.

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

 Figura 7: Curvas características do sensor: (a) alvo de aço; (b) alvo de cobre
 (a)


Fonte: Autoria Própria

Através do gráfico, é possível identificar a equação de transferência de cada material nos dois métodos de coletas realizados. O ganho na precisão das medidas é representado pelo valor de R^2 , onde o valor 1 representa o valor ideal de funcionamento para a faixa analisada.

Questionário de interpretações dos resultados

Com base nos dados obtidos nas medições experimentais e nas curvas características geradas para os materiais testados (aço e cobre), como sugestão de questionário, os estudantes podem responder às seguintes questões, visando à consolidação dos conceitos de atuação, sensibilidade e comportamento de sensores indutivos com saída analógica:

- Qual material apresentou maior alcance de detecção? Por quê?
- Qual dos dois materiais produziu maior variação na saída do sensor?
- Com base na curva de resposta, qual das duas regiões é a mais confiável para operação do sensor: linear ou de saturação? Por quê?
- A equação de transferência gerada para cada material reflete adequadamente o comportamento do sensor?
- Com base nos resultados, como a composição do material-alvo influencia a resposta do sensor?

3.2 Roteiro para Sensores Capacitivos

Esta prática tem como objetivo explorar o comportamento de sensores de proximidade capacitivos na detecção de diferentes materiais, sólidos e metálicos. A atividade contempla a ligação correta do sensor, o ajuste de sensibilidade e a verificação da resposta de detecção para diversos alvos, analisando sua faixa de atuação.

Durante o experimento, os estudantes irão montar o circuito de alimentação e conexão da lâmpada indicativa, aproximar diferentes materiais da face sensora e registrar as distâncias de detecção observadas. A prática visa consolidar conceitos fundamentais relacionados à operação de sensores capacitivos, além de desenvolver habilidades de montagem, calibração e interpretação de resultados em aplicações práticas de instrumentação industrial.

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a execução do experimento encontram-se descritos na Tabela 4:

Tabela 4 - Materiais utilizados na prática experimental com sensor de proximidade capacitivo

| Quantidade | Descrição | Aplicação/Observação |
|------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| 01 | Sensor de proximidade capacitivo | Sensor com ajuste de sensibilidade |
| 01 | Plataforma linear móvel | Equipamento proposto neste trabalho |
| 01 | Fonte de tensão ajustada para 24VCC | Alimentação do sensor |
| 01 | Lâmpada indicadora | 24VCC ou similar |
| Diversos | Materiais de teste | Aço, cobre, alumínio, papelão, borracha |

Fonte: Autoria Própria

Montagem e procedimento experimental

A montagem inicial consiste na ligação elétrica do sensor capacitivo a uma fonte de 24VCC e a uma lâmpada indicadora que acenderá quando a presença de um material for detectada. A Figura 8 apresenta o diagrama de conexão elétrica para as configurações NPN e PNP dos terminais BN (marrom), BU (azul) e BK (preto) à lâmpada L.

Figura 8: Diagrama de conexão elétrica NPN e PNP



Fonte: Adaptado de SENSE, 2024

Após a montagem do circuito, o sensor deve ser energizado e a sensibilidade ajustada por meio do potenciômetro localizado no corpo do sensor, de forma a maximizar a estabilidade da detecção para os materiais que serão testados.

Em seguida, deve-se aproximar, um a um, os materiais previamente selecionados (madeira, vidro, papelão e plástico) da face sensora, movimentando-os lentamente na direção perpendicular ao sensor. Para cada material, o aluno deverá observar e anotar a distância em que o sensor aciona a lâmpada indicadora.

O procedimento deverá ser repetido para todos os materiais testados, sempre registrando a distância mínima de detecção em uma tabela de resultados, para posterior análise comparativa entre os diferentes materiais (sugestões de materiais: aço, cobre, alumínio, acrílico, papelão, borracha).

Questionário de interpretações dos resultados

Após a realização da prática e o registro dos dados, uma sugestão de questionário pode ser aplicado aos estudantes, para que reflitam sobre os seguintes pontos:

- O que justifica a diferença na ligação de sensores que utilizam internamente transistores PNP e NPN? O que aconteceria se fosse invertida a ligação?
- Qual a necessidade de ajustar um sensor capacitivo? Cite exemplos.
- Que tipo de objeto é detectado com mais facilidade pelo sensor capacitivo? Por qual motivo?
- De que maneira o ajuste de sensibilidade do sensor capacitivo influenciou os resultados obtidos?
- Considerando aplicações industriais, cite exemplos de processos em que o uso de sensores capacitivos seria mais vantajoso em relação a sensores indutivos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção da Plataforma Linear Móvel para Calibração de Sensores de Proximidade teve como principal objetivo solucionar as limitações práticas observadas nas aulas da disciplina de Instrumentação Industrial utilizando os sensores indutivos e capacitivos, especialmente no que diz respeito à padronização dos experimentos e à repetitividade das medições.

Com a adoção de processos de modelagem 3D, impressão de componentes em diferentes materiais e integração de uma régua milimetrada fixa, foi possível desenvolver um dispositivo didático que alia precisão, modularidade e praticidade. A nova estrutura permitiu reduzir significativamente o tempo de preparação dos ensaios, facilitou o alinhamento entre sensor e alvo e possibilitou a realização de comparações mais confiáveis entre diferentes sensores, fortalecendo o processo de análise e interpretação dos dados em sala de aula.

A comparação direta das medições realizadas entre a estrutura improvisada e a nova plataforma mostrou, na prática, a importância de soluções bem projetadas para o ensino-aprendizagem em engenharia, reafirmando o papel da experimentação padronizada como pilar da formação técnica.

Além do impacto imediato nas atividades experimentais, a solução desenvolvida apresenta potencial de replicação em outras instituições de ensino, especialmente aquelas que enfrentam limitações estruturais semelhantes. Sua construção com materiais acessíveis e tecnologia amplamente disponível no ambiente *maker* favorece a disseminação do modelo, promovendo uma cultura de inovação aplicada ao ensino de engenharia.

Como continuidade, o dispositivo pode ser expandido para comportar outros tipos de sensores ou incluir sistemas de aquisição automática de dados, ampliando seu potencial de aplicação em contextos mais avançados de instrumentação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao instituto Federal do Espírito Santo – campus Serra pelo apoio institucional e pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, que viabilizou a realização deste trabalho.

Agrademos também aos integrantes do LabMaker – IFES campus Serra, cuja infraestrutura e suporte técnico foram fundamentais para a aplicação prática das tecnologias utilizadas, desde a modelagem até a construção final do dispositivo apresentado neste artigo.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**, 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-216-1917-8/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valter João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. Vol. 1. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BONACORSO, Nels Gauze; NOLL, Valdir. **Automação Eletropneumática**. 8. ed. São Paulo: Érica, 1997.

REALIZAÇÃO



15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

ORGANIZAÇÃO



Brasil. Ministério da Educação. **CADERNO DE AULAS PRÁTICAS DA REDE FEDERAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL, CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA – Instrumentação Industrial.** Brasília: Editora IFB, 2016.

CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Elementos de Automação.** Rio de Janeiro: Érica, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536518411/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial – Controle do movimento e processos contínuos.** 2. ed. São Paulo: Érica, 2007.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos.** 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

FRANCHI, Claiton Moro. **Instrumentação de Processos Industriais - Princípios e Aplicações.** Rio de Janeiro: Érica, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536519753/>. Acesso em: 13 abr. 2025.

FUJISAWA, Cassio Hideki. et al. **Instrumentação e Automação Industrial.** Porto Alegre: SAGAH, 2022. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786556902081/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

JÚNIOR, Sérgio Luiz Stevan; SILVA, Rodrigo Adamshuk. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino - Teoria e Projetos.** São Paulo: Érica, 2015.

SENSE. Manual de Instalação: **Sensores Capacitivos.** Rev. F, São Paulo: Sense Equipamentos Eletrônicos, 2024. Disponível em: https://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arg2/Sensores_Capacitivos_Manual_de_Instalação_Rev_F.pdf. Acesso em: 09 abr. 2025

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais.** 9. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536533247/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SCHMITZ, P. **Leittechnik Abstand und Weg.** Disponível em: <https://homepages.thm.de/Schmitz/download/lit/Abstand-und-Weg.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2025.

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia

ORGANIZAÇÃO



PUC
CAMPINAS

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia



15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

ORGANIZAÇÃO



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

DEVELOPMENT OF A MOBILE LINEAR PLATFORM FOR CALIBRATIONG INDUCTIVE AND CAPACITIVE PROXIMITY SENSORS IN INDUSTRIAL INSTRUMENTATION LAB CLASSES

Abstract: This article details the development of a Mobile Linear Platform for calibrating proximity sensors, aiming to address the shortcomings of makeshift setups previously used in practical classes of Industrial Instrumentation, which compromised the consistency and reliability of the collected data. The new structure was designed with a focus on precision, modularity, and ease of use, and incorporates modeling processes, 3D printing, and laser cutting for the fabrication of some of its components. Comparative experiments demonstrated the platform's superiority, with a significant reduction in test preparation time, increased measurement accuracy, and greater reliability in result analysis. The developed solution reinforces the importance of standardized experimentation in engineering education and holds considerable potential for replication and adaptation in other educational institutions, promoting applied innovation.

Keywords: Industrial Instrumentation, Proximity Sensor, Didactic Platform, 3D Printing.

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia

ORGANIZAÇÃO



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

