

# USO DO ARDUINO COMO FERRAMENTA DE PROTOTIPAGEM PARA DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS AUTOMÁTICOS: UMA REVISÃO

Raul José Alves Felisardo<sup>1</sup>  
Gláucia Nicolau dos Santos<sup>2</sup>  
Diego Gomes Galvão<sup>3</sup>



## RESUMO

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, baseado em *hardware* e *software* de fácil utilização. Tem sido amplamente empregado no desenvolvimento de prototipagem de dispositivos eletrônicos. Este artigo apresenta uma revisão sobre o uso do Arduino como ferramenta de prototipagem para desenvolvimento de dispositivos automáticos. A principal contribuição desta revisão reflete nas perspectivas do uso da plataforma Arduino na atuação de processos, agregando importantes conhecimentos sobre a arquitetura, tipos de Arduino e funcionalidade dos componentes, além de aplicações dessa ferramenta no desenvolvimento de dispositivos automatizados.

## PALAVRAS-CHAVES

Arduino. Microcontroladores. Plataforma de Prototipagem. Dispositivos Eletrônicos. Automação.

## ABSTRACT

Arduino is an open-source electronics platform, based on easy-to-use hardware and software. It has been widely used in the development of electronic device prototyping. This article presents a review on the use of Arduino as a prototyping tool for the development of automatic devices. The main contribution of this review reflects on the perspectives of using the Arduino platform in the performance of processes, adding important knowledge about the architecture, types of Arduinos and component functionality, as well as applications of this instrument in the development of automated devices.

## KEYWORDS

Arduino. Microcontrollers. Prototyping Platform. Electronic Devices. Automation.

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o futuro da indústria, no âmbito de processos, é altamente dependente do uso da automação. Por definição, automação é um sistema pelo qual os mecanismos controlam seu próprio funcionamento. Diz respeito ao uso de dados de dispositivos eletrônicos e comando de controle remotos (HAJIAN-HOSEINABADI, 2013).

Com a automação é possível tornar o sistema mais eficiente, além de garantir maior segurança e redução dos custos do processo, tendo em vista a otimização do tempo. À vista disso, o uso de microcontroladores em plantas automatizadas permite uma variedade de aplicações que vão desde monitoramento de variáveis, coleta de dados etc. (SPINELLI; GOTTESMAN; DEENIK, 2019). No campo da pesquisa científica é cada vez mais comum a utilização desses dispositivos, graças à sua acessibilidade, portabilidade e precisão (D'AUSILIO, 2016).

Neste sentido, uma transformação digital está ocorrendo como consequência dos avanços das tecnologias de informação (GONZÁLEZ; CALDERÓN, 2019). Exemplo dessa transformação vem sendo o uso de tecnologia de *Software/Hardware* de código aberto (GONZÁLEZ; CALDERÓN; ANDÚJAR, 2017).

A principal atração dessas tecnologias, além da facilidade no uso, são os custos relativamente baixos. Além disso, o fato dessas ferramentas possuírem *Software/Hardware* de código aberto tornam-se capacitadoras para implementação de novos paradigmas, uma vez que facilitam a implementação de sensores e atuadores em rede (MEJÍAS *et al.*, 2017), além de contribuírem para o desenvolvimento de dispositivos sustentáveis (SYAFRUDIN *et al.*, 2017; MILLARD *et al.*, 2018; DAVIDSSON; EKLUND; OLSSON, 2019).

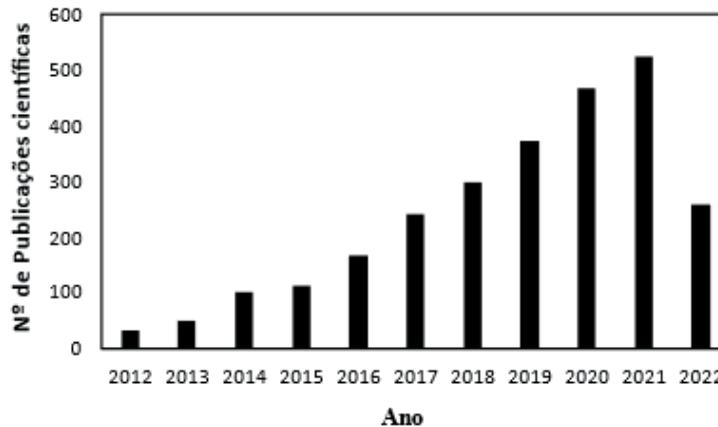
Na literatura, há trabalhos que utilizam essas ferramentas para redes de sensores sem fio (MEJÍAS *et al.*, 2017), para Comunicação industrial (PALM *et al.*, 2015),

dispositivos de monitoramento de parâmetros laboratoriais (JIN *et al.*, 2018), entre outras aplicações. Neste sentido destacam-se as plataformas Raspberry Pi, BeagleBone, Phidget, Intel Edison e Arduino (GONZÁLEZ; CALDERÓN, 2019).

Dentre estas, a placa Arduino é o exemplo mais comum (ARDUINO, 2022). Trata-se de uma plataforma que integra um *software* de plataforma cruzada, além de código aberto, e um hardware baseado em microcontrolador (JIN *et al.*, 2018). Tem proporcionado o desenvolvimento de protótipos eletrônicos, e já foram usadas em pesquisas para uma variedade de aplicações (THALHEIMER, 2013; KELLEY *et al.*, 2014; BITELLA *et al.*, 2014; KOENKA; SÁIZ; HAUSER, 2014). Esta gama de aplicação deve-se a facilidade de uso e programação, aliada aos preços acessíveis dos componentes eletrônicos (BITELLA *et al.*, 2014).

No tocante de atividades P&D e Academia, o Arduino tem se mostrado cada vez mais atrativo no desenvolvimento de ferramentas para aquisição de dados, automação e engenharia no geral (CALDERÓN *et al.*, 2016). Neste sentido, como indica a Figura 1, na última década houve um crescimento contínuo de estudos dedicados ao uso e/ou análise da plataforma Arduino, entre artigos de pesquisas, revisões e capítulos de livros. Salienta-se que esta estimativa foi feita com base no *Science Direct* e pesquisadas mediante a combinação das palavras-chave: Arduino, microcontroladores, prototipagem, dispositivos eletrônicos, automação.

**Figura 1** – Número de publicações dedicadas a estudos com Arduino na última década



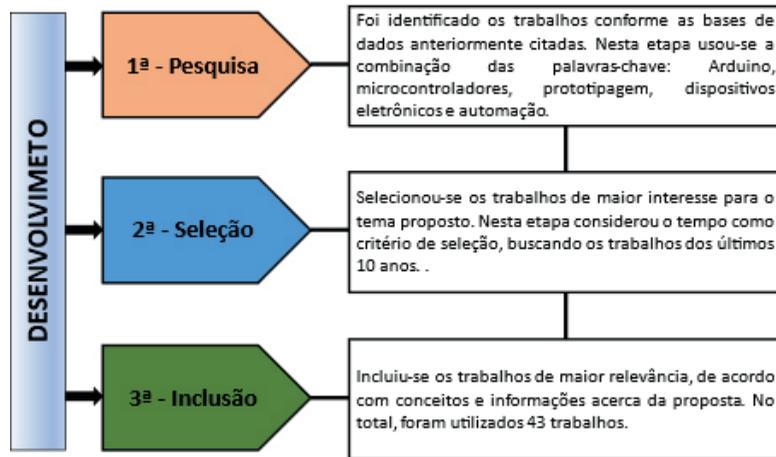
Fonte: Science Direct (2022).

Desse modo, este artigo apresenta uma revisão sobre o uso do Arduino como ferramenta de prototipagem para desenvolvimento de dispositivos automáticos. A principal contribuição desta revisão reflete nas perspectivas do uso da plataforma na atuação de processos, agregando importantes conhecimentos sobre atuadores, microcontroladores, plataformas de prototipagem e desenvolvimento de dispositivos automatizados.

## 2 METODOLOGIA

O presente trabalho é composto por uma revisão bibliográfica geral. Para seu desenvolvimento utilizou-se as bases de dados científicos do Google Acadêmico, do Science Direct e páginas confiáveis. As etapas e detalhes inerentes a esta fase da pesquisa é mostrado na Figura 2.

**Figura 2** – Etapas e detalhes inerentes a fase de pesquisa, seleção e inclusão dos trabalhos



Fonte: Elaborado pelos autores.

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 ARDUINO

O microcontrolador Arduino é um dispositivo que contém dois componentes básicos: a placa, dispositivo de *hardware* utilizado para executar funções e sua *Integrated Development Environment* (IDE), parte programável de forma descritiva por meio de um computador (ÁLVAREZ *et al.*, 2020). Ou seja, trata-se de uma plataforma eletrônica de código aberto que quando conectada a uma placa de ensaio *plug-ins* como entradas, sensores, luzes e telas, pode ser controlada pelo código escrito no ambiente de desenvolvimento da plataforma (KONDAVEETI *et al.*, 2021).

Em geral, as placas de Arduino são capazes de ler entradas, seja por um sensor, acionamento por botão ou uma mensagem eletrônica, e transformá-la em uma saída de forma online. Assim, as informações de interesse podem ser enviadas para o microcontrolador da placa, a partir de uma linguagem de programação (baseada em *Wiring*), e o *Software* Arduino, baseado em *Processing* (ARDUINO, 2022).

Conforme explana a página do próprio dispositivo, dentre as vantagens do uso do Arduino, frente a outras plataformas de prototipagem, destacam-se: **Preço** - As placas Arduino são relativamente baratas em comparação com outras platafor-

mas de microcontrolador; **Facilidade na montagem** - Os módulos estão disponíveis pré-montados ou podem ser montados manualmente; **Plataforma cruzada** - O software Arduino é executado nos sistemas operacionais *Windows, Macintosh OSX e Linux*; **Ambiente de programação simples e claro** - O Arduino Software é fácil e flexível o suficiente para estudos mais avançados; **Software de código aberto e extensível** - O software Arduino é publicado como ferramentas de código aberto. A linguagem pode ser expandida por meio de bibliotecas; **Hardware extensível e de código aberto** - Os planos das placas Arduino são publicados sob uma licença *Creative Commons*.

### 3.1.1 Tipos de Arduino e Arquitetura do Hardware

Existem diversos tipos de placas de Arduino, todavia são utilizadas a mesma linguagem de programação. A principal diferença entre estes estão na capacidade de armazenagem (memória), velocidade de leitura (clock's), quantidade de portas, tensões de entrada e corrente dos pinos (JOSHUA, 2020). Na Tabela 1 apresenta-se os tipos de Arduino existente e algumas especificações conforme o modelo.

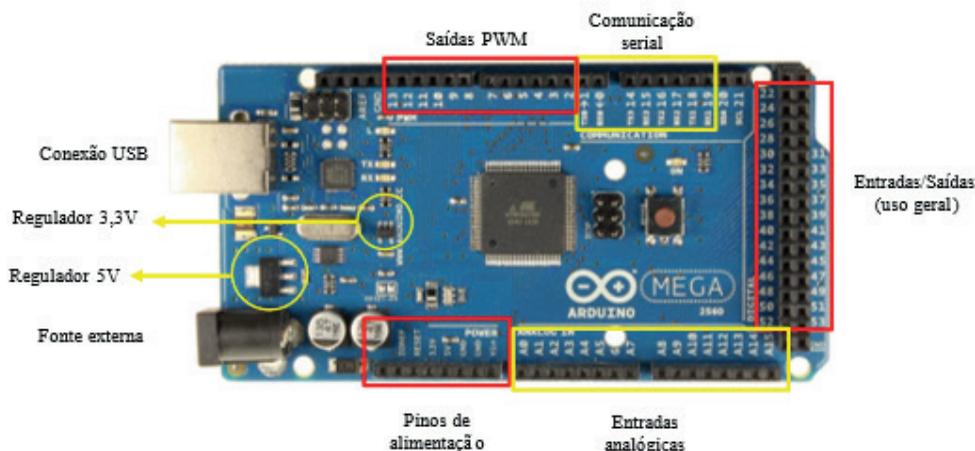
Tabela 1 – Configurações geral dos modelos de Arduino

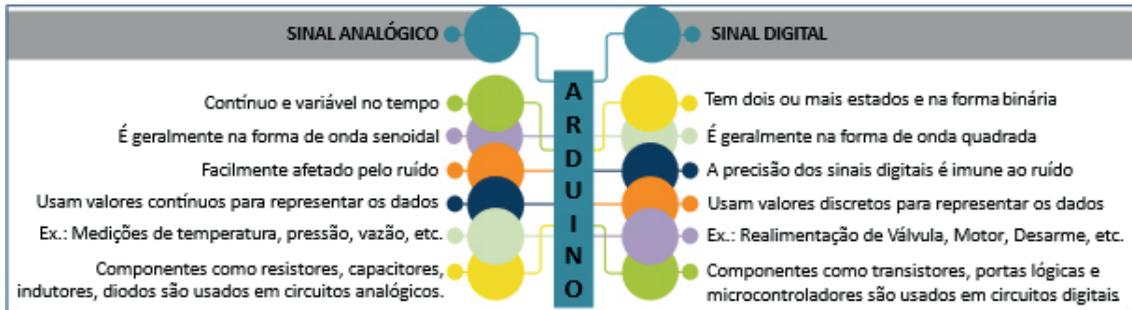
Arduino	Microcontrolador	Memoria	Clock	Portas	Tensão de entrada	Tensão de operação	Corrente dos pinos
UNO	ATmega328P	32KB	16MHz	14D e 16A	5 – 12V	5 V	20 A
Nano	ATmega328	32BK	16MHz	22D e 12A	7 – 12V	5 V	40 A
Micro	ATmega32U4	32KB	16MHz	20D e 12 A	7 – 12V	5 V	20 A
Mega	ATmega2560	32KB	16MHz	54D e 16 A	7 – 12V	5 V	40 A
Lily.pad	ATmega168	32KN	8MHz	14D e 6 A	2,7 – 5,5V	2,7 – 5,5 V	40 A

Fonte:

De acordo com Pearce (2013) o Arduino nano é o mais compacto e apresenta uma menor quantidade de entradas analógicas e digitais. Já o Arduino Lily.pad é ideal para ser aplicado em projetos que utilizam tecidos e/ou roupas. Vale ressaltar que o Arduino UNO é o mais popular e amplamente utilizado em projetos interativos, todavia o Arduino Mega, conforme apresentado na Tabela 1, apresenta maior quantidade de entradas digitais e analógicas, viabilizando sua utilização em diversas aplicações. Isso se dá porque o Arduino Mega utiliza o microcontrolador ATmega 2560 o qual expande o I/OS digitais para até 54 e 16 portar digitais. A Figura 3 mostra os elementos básicos de uma placa Arduino tipo Mega 2560 com a arquitetura geral do *hardware*.

**Figura 3** – Partes constituintes da placa do Arduino MEGA2560 e arquitetura geral do hardware

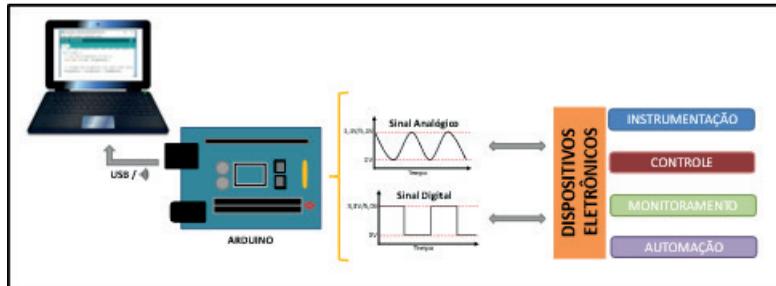


**Figura 4** – Diferença entre sinais analógicos e digitais

Fonte: Adaptado de RAO (2022).

Essa evolução está relacionada com o progresso na tecnologia digital, com os avanços na ciência e na engenharia, com a evolução dos requisitos e demandas sociais, com a globalização e sofisticação dos negócios. De acordo com Sevenich (2022), o desenvolvimento na tecnologia digital e os avanços na teoria de sistemas, trouxeram grande progresso na tecnologia de sensores e informação, garantindo disponibilidade de sistemas de controle e aplicativos de *software* abertos, dentre esses encontra-se justamente o Arduino.

Neste sentido, a depender do sinal de ligação com o Arduino, seja sinal analógico ou digital, os dispositivos podem ser pensados no sentido de instrumentar, controlar, monitorar ou de fato automatizar protótipos e ferramentas, de acordo com esquematização da Figura 5.

**Figura 5** – Esquema de atuação e desenvolvimento de dispositivos eletrônicos de acordo com o sinal de comunicação do o Arduino

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em síntese, é válido ressaltar a diferença entre automação e instrumentação. Enquanto a automação estuda técnicas e medidas para minimizar o uso de mão de obra humana, a instrumentação se dedica com o aperfeiçoamento do controle (ROURE, 2022). Da mesma forma, a automação pode ser escrita como o mecanismo ou sistema de controle que auxilia o funcionamento do instrumento e para definir a natureza de anormalidades e sistemas de processos, a instrumentação permite que o equipamento existente funcione de forma automática. Assim sendo, além da melho-

ria nos equipamentos, a automação proporciona o desenvolvimento de instrumento em dispositivos compactos e fácil de usar para qualquer tipo de análise ou estudo (HEMALATHA *et al.*, 2020).

Em suma, a plataforma Arduino, independente do sinal e da variante, entre Uno, Due, Mega e outros, tem proporcionado o desenvolvimento de protótipos eletrônicos, e já foram usadas em pesquisas para uma variedade de aplicações (THALHEIMER, 2013; KELLEY *et al.*, 2014; BITELLA *et al.*, 2014; KOENKA; SÁIZ; HAUSER, 2014). Esta gama de aplicação deve-se a facilidade de uso e programação, aliada aos preços acessíveis dos componentes eletrônicos (BITELLA *et al.*, 2014).

### 3.1.2 Aplicações do Arduino em Sistemas Automáticos

Jin e outros autores (2018) usaram o Arduino Nano no desenvolvimento de um instrumento potenciométrico, sem fio e de baixo custo, para determinação de pH em análises experimentais. O sistema possui conexão sem fio via Bluetooth. Os resultados, comparados com um pHmetro comercial, mostraram que tanto a acurácia quanto a precisão do instrumento desenvolvido são adequados para os fins de análises na escala de pH.

Gao e colaboradores (2021) empregou o Arduino no desenvolvimento de um sistema integrado para detecção de peróxido de hidrogênio. Chamado pelos autores de "novo potenciostato", o sistema faz uso de um Arduino Uno e é capaz de executar com sucesso as funções de cronoamperometria e voltametria cíclica. De baixo custo, com medições precisas e consistentes, ao comparar a estabilidade nas medidas em relação a um potenciostato comercial, o sistema pode ser usado para a detecção de vários analitos, além do  $H_2O_2$ , importantes na área de saúde, como glicose, creatinina, ácido úrico, lactato, colesterol etc.

Banerjee e outros autores (2021) usaram o Arduino Uno para suportar sensores IoT em um novo método para prever bradiardia e fibrilação atrial usando lógica difusa. O sistema proposto detecta a pulsação de uma pessoa e tenta decifrar os padrões para prever a probabilidade de ocorrência de insuficiência cardíaca com antecedência. Embora precise de alguns estudos adicionais para funcionamento em tempo real, o sistema é capaz de transmitir as informações observadas para a etapa de dados na análise progressiva do paciente. Conforme conclusões dos autores, o Arduino mostra-se crucial na aplicação do sistema, sendo imprescindível para acumular e analisar os dados de padrões de batimentos cardíacos.

Kathiravan e outros autores (2021) integraram a plataforma Arduino no desenvolvimento de uma nova sonda fluorescente "Turn-ON" para detecção de íons de flúor. O Arduino foi usado para fazer interface com sensores RGB (sensor de luminosidade) que identificam mudanças de cor e quantificam a concentração de flúor em soluções variadas de derivados de benzotiofenos. Os resultados indicaram boa aplicabilidade do Arduino ao sistema integrativo e a sonda fluorescente desenvolvida, exibiu excelente seletividade, reversibilidade, capacidade de reutilização e baixo limite de detecção de 70 nM.

Itterheimová e colaboradores (2021) desenvolveram um dispositivo de aquisição de dados de código aberto, simples e barato, no qual empregou diferentes módulos conversores analógico-digitais e um microcontrolador Arduino Nano, para sistemas de separação. Os esquemas completos do dispositivo e o código-fonte correspondente foram disponibilizados para químicos analíticos, sem amplo conhecimento sobre construção de circuitos eletrônicos e programação, possam construir e usar esse sistema.

O dispositivo baseado no módulo conversor LTC 2400 de 24 bits apresentou o melhor desempenho, quando comparado ao conversor sigma para delta comercial de 24 bits, e menor custo. A aplicabilidade do dispositivo foi testada na análise duas amostras nas quais cátions e ânions foram separados, e resultou em um excelente desempenho. O sistema de aquisição de dados pode ser também empregado em diversas técnicas de separação analítica, como HPLC e CG.

Zouheir e outros autores (2021) empregaram a plataforma de instrumentação Arduino Uno de na aquisição de dados em um novo sensor de umidade relativa. A integração do dispositivo Arduino ao sensor, comparado a um sensor de referência comercial, proporcionou obter/levantamento com sucesso as respostas do monitoramento dos dados em tempo real, com alta velocidade e precisão. Conforme os autores, o Arduino é uma alternativa conveniente para instrumentos caros, pois é de baixo custo, portátil e os dados obtidos podem ser salvos e enviados sem fio. Além disso, pode ser atualizado para medir outros sensores, sejam eles capacitivos ou de corrente.

Vallejo e colaboradores (2020) se basearam no dispositivo Arduino UNO para construção de um calorímetro para o sensoriamento eletrônico de temperatura e aquisição de dados que pode ser utilizado em laboratórios de química. O dispositivo desenvolvido, comparado as ferramentas tradicionais dos laboratórios, apresenta baixo custo, é estável, preciso, versátil e tem alta confiabilidade. Além disso, o código de esboço pode ser modificado de acordo as necessidades e pode ser empregado não só para determinar a capacidade calorífica e entalpias de neutralização, como também para investigar a lei de Hess e medir curvas de resfriamento para diagramas de fases. O dispositivo pode ser facilmente utilizado por professores em sala de aula para auxiliar a ministrar aulas sobre conceitos básicos de microeletrônica e sensoriamento de temperatura.

Asua e outros autores (2019) integraram a plataforma hardware/software Arduino no desenvolvimento de um sensor de deslocamento de alta precisão baseado em cavidades ressonantes de radiofrequência. O microcontrolador Arduino Uno compõe o sistema eletrônico do sensor, e em conjunto com o transdutor de deslocamento, é responsável por encontrar a frequência ressonante, resultante da mudança nas cavidades ressonantes, devido ao deslocamento. Verificou-se que o microcontrolador medi facilmente as alterações de frequência por meio das variações de tensão, contribuindo para que o sensor obtenha dados precisos, como também apresenta um baixo custo e pode ser aplicável na medição de micro e nano-deslocamento.

Surkova e colaboradores (2021) utilizaram uma placa Arduino UNO na confecção do sensor óptico de fluxo para quantificar uma perda de sangue durante cirurgia transuretral. Esse microcontrolador forneceu medições contínuas de tensão e os dados foram enviados, processados e gravados automaticamente no computador - *software*.

O uso desse dispositivo contribuiu no barateamento do sensor, bem como facilidade de uso no monitoramento da perda sanguínea e portabilidade. O sensor foi testado e os resultados indicaram que pode ser aplicado com sucesso na prática médica.

Harshitha e outros autores (2018) integraram o Arduino Uno ao capacete inteligente para monitorar a presença de gases perigosos, condições anormais de temperatura e umidade do ar, como o intuito de alertar os mineradores sobre o ambiente de perigo que podem estar expostos. Ao microcontrolador são conectados sensores de gás, temperatura e umidade, em que o envio e recebimento das informações ao centro de controle, inclusive para avisar ao usuário a situação de perigo, ocorre por meio do sistema Zigbee. Esse dispositivo mostrou-se confiável no monitoramento desses parâmetros, bem como na comunicação entre os usuários e o centro de controle, contribuindo assim com a segurança dos mineradores e controle das condições do ambiente subsolo em minas de carvão.

Roja e Srihari (2018) desenvolveram um sistema prototipado com o Arduino Uno, com uso da tecnologia de inovação da internet das coisas (IoT), para detectar a qualidade do ar. Esse sistema foi implementado em capacetes inteligentes, usando sensor de qualidade do ar para detectar a poluição do ar em minas de carvão, principalmente material particulado e os gases monóxido de carbono e dióxido de carbono, e o sensor de remoção do capacete protetor. Os sensores estão conectados ao Arduino, o qual tem um papel importante, pois obtém os dados lidos necessários para o usuário monitorar esses parâmetros e verificar se o ambiente de trabalho é ou não seguro.

Noorin e Suma (2018) integraram o Arduino Nano a um dispositivo vestível (capacete) desenvolvido para aumentar a segurança do minerador, o qual monitora a temperatura, umidade, gás e vibração por meio de sensores conectados ao microcontrolador que processa os dados obtidos, estes são enviados via comunicação serial para o NodeMCU. Os dados do ambiente são monitorados em tempo real e são atualizados na nuvem, onde o supervisor verifica se existe fatores que põe em risco a segurança dos trabalhadores de minas de carvão.

Dewarkar e outros autores (2019) desenvolveram um capacete de segurança para trabalhadores de minas de carvão implementado com a plataforma Arduino. Para isto, os sensores de gases nocivos (monóxido de carbono), de temperatura, e de pulsos (localizar a posição do minerador), estão conectados ao microcontrolador Arduino Nano e os valores obtidos são monitorados no *software* Arduino. Sendo assim, a plataforma Arduino contribui com a integridade dos minerados, pois permite detectar condições prejudiciais à saúde e bem-estar, e alertar os trabalhadores sobre a situação de risco.

Anitha e Seshagiri (2019) implementaram o Arduino Uno no sistema de monitoramento das condições ambientais de uma mina de carvão. Empregaram sensores de temperatura, gás e incêndio (detectar chamas) sem fio, utilizando a tecnologia Zigbee, conectados ao microcontrolador para observar a qualidade do ar. O sistema equipado com o Arduino, e combinado com a tecnologia Zigbee, apresenta designer compacto e mostrou-se eficiente na colaboração em manter a segurança dos minerados.

Duran e outros autores (2019) desenvolveram um sistema de cheiro, para detectar gases perigosos em áreas subterrâneas de minas de carvão. Uma placa Arduino Uno foi

implementada na prototipagem para a aquisição de dados dos sensores de gás sem fio e acionamento das bombas, a qual alimenta e elimina as amostras na câmara do sensor. O microcontrolador permitiu que o sistema funcione sem fio, baixo custo e consumo elétrico, e apresentou um excelente desempenho para monitoramento dos gases em tempo real.

Jumaat e Othman (2018) empregaram o Arduino Uno e Mega no desenvolvimento de um sistema de medição de energia solar. O Arduino foi responsável por converter os valores analógicos dos parâmetros de temperatura, intensidade de luz, tensão e corrente em digital e exibi-los em uma tela LCD. Esse sistema possibilitou determina a posição do painel solar para o melhor aproveitamento da energia solar fotovoltaica com eficiência e sem desperdício.

Rizman e colaboradores (2018) propõem uma tecnologia denominada *Smart Multi-Application Energy Harvester* usando o microcontrolador Arduino Uno para realizar a coleta de energia que seria desperdiçada em sistemas de energia solar e eólica. O Arduino foi empregado para controlar a capacidade da coleta de energia para armazenamento, contribuindo com o reaproveitamento de sistemas de energia. Sendo assim, o *Smart Multi-Application Energy Harvester* com o Arduino pode ser aplicado em condições climáticas adversas (quente ou chuvoso), realizando reaproveitamento da energia que seria desperdiçada.

Mumtaz e outros autores (2018) utilizaram a plataforma Arduino no desenvolvimento de um sistema de automação baseado no controle de iluminação pública e monitoramento de objetos. O Arduino Uno foi utilizado para avaliar o valor da intensidade da luz solar recebido do sensor e enviar o comando de acordo a necessidade de iluminação, também foi empregado para quantificar o número de objetos que atravessam a rua. No *software* do Arduino IDE, programou o microcontrolador e no monitor serial exibiu o número de objetos que passam pela estrada. O Arduino implementado a esse sistema contribuiu para obter-se uma iluminação pública automática, o qual é acionada conforme a presença ou ausência de luz e objetos, favorecendo a economia de energia e monitoramento de veículos e pedestres.

Pavithra e colaboradores (2018) integraram a plataforma Arduino no desenvolvimento de uma pulseira vestível para manter a segurança da mulher. O microcontrolador Arduino Uno, programado no *software* Arduino IDE, recebe os dados dos sensores de sinais fisiológicos do usuário, e se percebido alguma alteração indicando perigo, ativa o GPS e câmera sem fio para informar aos contatos pré-definidos da situação. Esse aparato integrado com o Arduino oferece segurança a mulher, por meio de aviso prévio aos contatos, como também informa a usuária da situação de risco.

Em suma, devido aos custos reduzidos de dispositivos e sensores, e graças ao aumento do uso de tecnologias computacional, o desenvolvimento de sistema automatizados vem aumentando, tanto em termos da comunidade científica, quanto no aspecto industrial. Nesta perspectiva, as placas Arduino tem aplicações ilimitadas na prototipagem que podem ser realizadas por profissionais e amadores. A utilização desses microcontroladores é crucial para diferentes áreas, implantando para aquisição de dados e controle de comandos em dispositivos de segurança, em sistemas operacionais e na averiguação da segurança de um ambiente.

## 4 CONCLUSÃO

Conforme o abordado percebe-se que o uso da automação melhora a capacidade de um sistema em verificar e validar informações de forma automática e segura. Neste sentido, o uso do Arduino facilita o desenvolvimento de dispositivos automáticos devido as vantagens, como ser de código aberto e possuir custo baixo, quando comparado a outros métodos de automatização de processos.

Ainda, é evidente que programar e configurar a plataforma Arduino é fácil e versátil. Contudo, deixá-lo apto para aplicação no controle, monitoramento e automação, requer um maior nível de conhecimento, seja da arquitetura do *hardware* da ferramenta em si, seja na interação com dispositivos programáveis. Esta revisão discutiu sobre algumas particularidades da plataforma Arduino e compilou diversos trabalhos da literatura que usaram essa ferramenta no desenvolvimento de dispositivos automáticos.

Em suma, a necessidade por sistemas de controle em plantas de processos industriais é uma realidade. O uso de automação no monitoramento constante de suas variáveis pode otimizar os processos e aumentar a eficiência deles. Logo, concluiu-se que a automação no processo produtivo é geradora de um diferencial competitivo, uma vez que possibilita o aumento de produtividade e flexibilidade dos sistemas produtivos, os quais melhoram a qualidade do produto, trazendo mais uniformidade e conformidade perante as especificações.

Além disso, é fundamental para reduzir tempo da produção e de intervenções humanas, minimizando o número de funcionários e eventuais falhas devido a padronização, que conseqüentemente propicia satisfação dos clientes, melhor comunicação entre os profissionais da empresa e, melhora no nível do produto oferecido. Além do ganho efetivo de tempo e qualidade dos processos.

## REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, E. Y.; VEGA, D. F.; MARTÍNEZ, P. S.; FERNÁNDEZ, M. C. Low cost system for measuring the evolution of mechanical properties in cement mortars as a function of mixing water. **Construction and Building Materials**, v. 244, n. 118127, 2020.

ANFILÓQUIO, Henrique José Santos. **Análise e implementação de filtros e controladores num sistema de processamento digital de sinal**. 2014. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica Ramo de Automação e Eletrônica Industrial) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação. Lisboa, Portugal, 2014.

ANITHA, K.; SESHAGIRI, T. Implementation of wireless sensor in coal mine safety system using zigbee. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 6, p. 1467-1472, 2019.

ARDUINO. Disponível em: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). Acesso em: 30 mar. 2022.

ASUA, E.; ETXEBARRIA, V.; FEUTCHWANGER, J.; PORTILLA, J. High-precision displacement sensor based on resonant cavities through an electronic interface based on Arduino, *Sensors and Actuators A*. **Physical**, v. 295, p. 296-301, 2019.

BANERJEE, P. S.; KARMAKAR, A.; DHARA, M.; GANGULY, K.; SARKAR, S. A novel method for predicting bradycardia and atrial fibrillation using fuzzy logic and Arduino supported IoT sensors. **Medicine in Novel Technology and Devices**, v. 10, n. 100058, 2021.

BITELLA, G.; ROSSI, R.; BOCHICCHIO, R.; PERNIOLA, M.; AMATO, M. A Novel Low-Cost Open-Hardware Platform for Monitoring Soil Water Content and Multiple Soil-Air-Vegetation Parameters. **Sensors**, v. 14, n. 10, p. 19639-19659, 2014.

CALDERÓN, A. J.; GONZÁLEZ, I.; CALDERÓN, M.; SEGURA, F.; ANDÚJAR, J. M. A new, scalable and low cost multi-channel monitoring system for polymer electrolyte fuel cells. **Sensors**, v. 16, n. 3, p. 349-368, 2016.

D'AUSILIO, A. Arduino: a low-cost multipurpose lab equipment. **Behavior Research Methods**, v. 44, n. 2, p. 305-313, 2016.

DAVIDSSON, P.; EKLUND, U.; OLSSON, C.M. Elis: an open platform for mobile energy efficiency services in buildings. **Sustainability**, v. 11, p. 858-872, 2019.

DEWARKAR, A.; LENGURE, R.; THOOL, S.; BORAKHADE, S. **Smart device for security of coal mine workers. International Journal of Innovative Research in Technology**, v. 5, p. 351-353, 2019.

GAO, W.; LUO, X.; LIU, Y.; ZHAO, Y.; CUI, Y. Development of an Arduino-based integrated system for sensing of hydrogen peroxide. **Sensors and Actuators Reports**, v. 3, n. 100045, 2021.

GÓMEZ, P.; DURAN, C.; ACOSTA, R. Wireless Smell System for Hazardous Gases Detection. **Preprints**, 2018.

GONZÁLEZ, I.; CALDERÓN, A. J. Integration of open source hardware Arduino platform in automation systems applied to Smart Grids/Micro-Grids. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 36, n. 100557, 2019.

GONZÁLEZ, I.; CALDERÓN, A. J.; ANDÚJAR, J. M. Novel remote monitoring platform for RES-hydrogen based smart microgrid. **Energy Conversion and Management**, v. 148, p. 489-505, 2017.

HAJIAN-HOSEINABADI, H. Reliability and component importance analysis of substation automation systems. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 49, p. 455-463, 2013.

HARSHITHA, K.; SRREJA, K.; MANUSHA, N.; HARIKA, E.; RAO, P. V. K. Zigbee based intelligent helmet for coal miners safety purpose. **International Journal of Innovative Technologies**, v. 6, p. 403-406, 2018.

HEMALATHA, R. J.; CHANDRASEKARAN, R.; THAMIZHVANI, T. R.; DHIVYA, A. J. A.; SANGEETHAPRIYA, K.; KEERTHANA, A.; SRIVIDHYA, G. Chapter 3 - **Biomedical instrument and automation: automatic instrumentation in biomedical engineering**. BALAS, Valentina Emilia; SOLANKI, Vijender Kumar; KUMAR, Raghvendra; KHARI, Manju (ed.). Handbook of Data Science Approaches for Biomedical Engineering. **Academic Press**, p. 69-101, 2020.

ITTERHEIMOVÁ, P.; FORET, F.; KUBÁŇ P. High-resolution Arduino-based data acquisition devices for microscale separation systems. **Analytica Chimica Acta**, v. 1153, p. 338294, 2021.

JIN, H.; QIN, Y.; PAN, S.; ALAM, A. U.; DONG, S.; GHOSH, R.; DEEN, M. J. Open-source low-cost wireless potentiometric instrument for pH determination experiments. **Journal of Chemical Education**, v. 95, p. 326-330, 2018.

JUMAAT, S. A.; OTHMAN, M. H. **Solar energy measurement using arduino**, v. 150, 2018.

KATHIRAVAN, A.; MANJUNATHAN, T.; RAMASUBRAMANIAN, K.; GOPINATH, P. An efficient Turn-ON fluorescent probe for fluoride ions – Meticulous investigations and development of Arduino microcomputer integrated smartphone device. **Journal of Molecular Liquids**, v. 345, n. 117042, 2022.

KELLEY, C. D.; KROLICK, A.; BRUNNER, L.; BURKLUND, A.; KAHN, D.; BALL, W. P.; WEBER-SHIRK, M. An affordable open-source turbidimeter. **Sensors**, v. 22, p. 7142-7155, 2014.

KOENKA, I. J.; SÁIZ, J.; HAUSER, P. C. Instrumentino: An open-source modular Python framework for controlling Arduino based experimental instruments. **Computer Physics Communications**, v. 185, p. 2724-2729, 2014.

KONDAVEETI, H. K.; KUMARAVELU, N. K.; VANAMBATHINA, S. D.; MATHE, S. E.; VAPPANGI, S. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. **Computer Science Review**, v. 40, n. 100364, 2021.

MEJÍAS, A.; HERRERA, R. S.; MÁRQUEZ, M. A.; CALDERÓN, A. J.; GONZÁLEZ, I.; ANDÚJAR, J. M. Easy handling of sensors and actuators over TCP/IP networks by open source hardware/software. **Sensors**, v. 17, p. 94-117, 2017.

MILLARD, J.; SORIVELLE, M. N.; DELJANIN, S.; UNTERFRAUNER, E.; VOIGT, C. Is the maker movement contributing to sustainability? **Sustainability**, v. 10, p. 2212-2240, 2018.

MUMTAZ, Z.; ULLAH, S.; ILYAS, Z.; ASLAM, N.; IQBAL, S.; LIU, S.; MEO, J. A.; MADNI H. A. **An Automation System for Controlling Streetlights and Monitoring Objects Using Arduino**, v.

NOORIN, M.; SUMA, K. V. IoT based wearable device using WSN technology for miners, IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics. **Information & Communication Technology (RTEICT)**, 3. ed, 2018.

PALM, F.; GRÜNER, S.; PFROMMER, J.; GRAUBE, M.; URBAS, L. **Open source as enabler for OPC UA in industrial automation. 2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)**, p.1-6, 2015.

PAVITHRA, R.; SANGEETHA, P. S.; SHAKTHI DEVI, M.; VANILA, S. Design and Implementation of a Rescue System for the Safety of Women by using Arduino Controller. **International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology**, v. 4, p. 329-333, 2018.

PEARCE, J. M. Open-source microcontrollers for science: how to use, design automated equipment with and troubleshoot. **Open-Source Lab. Elsevier**, 2013.

RAO, R. J. M. What are analog and digital signals? **Differences, Examples**. 2022. Disponível em: <https://instrumentationtools.com/what-are-analog-and-digital-signals-differences-examples/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

RIZMAN Z, I.; HASHIM, F. R.; YASSIN, I. M.; ZABIDI, A.; ZAMAN, F. K.; YEAP, K. H. Smart multi-application energy harvester using Arduino. **Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v. 10, p. 689-704, 2018.

ROJA, P.; SRIHARI, D. IOT based smart helmet for air quality used for the mining industry. **International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology**, v. 4, p. 514-521, 2018.

ROURE, Marcel de. **Instrumentação Industrial. Instrumentação e controle**. 2022. Disponível em: <https://instrumentacaoecontrole.com.br/instrumentacao-industrial-guia-completo/#:~:text=A%20principal%20melhoria%20alcan%C3%A7ada%20pela,do%20trabalho%20no%20setor%20industrial..> Acesso em: 29 abr. 2022.

SCIENCE DIRECT, Elsevier Science Inc., 2002. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SEVENICH, R. Instrumentation and Process Control. MCSWEENEY, Paul L. H.; MCNAMARA, John P. (ed.). **Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)**. Academic Press, 2022. p. 336-355.

SPINELLI, G. M.; GOTTESMAN, Z. L.; DEENIK, J. A low-cost Arduino-based datalogger with cellular modem and FTP communication for irrigation water use monitoring to enable access to CropManage. **HardwareX**, v. 6, n. e00066, 2019.

SURKOVA, A.; PANCHUK, V.; SEMENOV, V.; PROTOSHCHAK, V.; KARPUSHCHENKO, E.; SLEPTSOV, A.; LEGIN, A.; KIRSANOV, D. Low-cost optical sensor for real-time blood loss monitoring during transurethral surgery. **Optik**, v. 228, p. 166148, 2021.

SYAFRUDIN, M.; FITRIYANI, N.L.; LI, D.; ALFIAN, G.; RHEE, J.; KANG, Y.-S. An open source-based real-time data processing architecture framework for manufacturing sustainability. **Sustainability**, v. 9, p. 2139-2157, 2017.

THALHEIMER, M. A low-cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 45, p. 114-119, 2013.

VALLEJO, W.; DIAZ-URIBE, C.; FAJARDO C. Do-it-yourself methodology for calorimeter construction based in Arduino data acquisition device for introductory chemical laboratories. **Heliyon**, v. 6, e03591, 2020.

ZOUHEIR, M.; ZNIBER M.; QUDSIA S.; HUYNH T. Real-time humidity sensing by integration of copper sulfide nanocomposite with low-cost and wireless Arduino platform. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 319, p. 112541, 2021.

---

**Data do recebimento:** 7 de Março de 2022

**Data da avaliação:** 20 de Abril de 2023

**Data de aceite:** 20 de Abril de 2023

---

1 Engenheiro de Petróleo; Doutorando em Engenharia de Processos na Universidade Tiradentes – UNIT.

E-mail: [rauljose1234@gmail.com](mailto:rauljose1234@gmail.com)

2 Mestre em Engenharia de Processos; Doutoranda em Engenharia de Processos na Universidade Tiradentes – UNIT; Engenheira de Petróleo. E-mail: [glaucia.nicolau1@gmail.com](mailto:glaucia.nicolau1@gmail.com)

3 Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica na Universidade Tiradentes – UNIT.

E-mail: [diego.gomes.17@hotmail.com](mailto:diego.gomes.17@hotmail.com)