ISSN: 2674-9270
Volume. 7, n. 1, jan./jul. 2025

ARTIGO

Recital
Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG.

O uso do Arduino no ensino de química: uma revisão sistemática da literatura

Júlio César de Souza
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
E-mail: juliongc4486@gmail.com

Eduardo Fleury Mortimer
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
E-mail: efmortimer@gmail.com

DOI: *https://doi.org/10.46636/recital.v7i1.574*

Recebido: *28 Mai. 2024*
Aceito*: 19 Set. 2024*

Como citar este artigo: SOUZA, Júlio César de; MORTIMER, Eduardo Fleury. O uso do Arduino no ensino de química: uma revisão sistemática da literatura. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 7, n. 1, p. 188–202, 2025. DOI: 10.46636/recital.v7i1.574. Disponível em: https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/recital/article/view/574.

Está obra está licenciada sobre uma Creative Commons Attribution 4.0 International License. Nenhuma parte desta revista poderá ser reproduzida ou transmitida, para propósitos comerciais, sem permissão por escrito. Para outros propósitos, a reprodução deve ser devidamente referenciada. Os conceitos emitidos em artigos assinados são de responsabilidade exclusiva de seus autores.

O uso do Arduino no ensino de química: uma revisão sistemática da literatura

RESUMO

Este artigo apresenta uma revisão sistemática de literatura sobre o uso da plataforma Arduino como ferramenta didática em aulas de Química na Educação Básica e Ensino Superior. Para a realização do estudo, foram selecionadas bases de dados e periódicos nacionais e internacionais de referência e relevância para a área da Educação e Ensino de Ciências. A amostra inicial foi composta por 52 artigos que, após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, incluíram o total de 19 artigos, que foram analisados de forma quantitativa e qualitativa. Os resultados obtidos indicaram que o Arduino vem sendo utilizado de forma significativa desde 2014 em pesquisas voltadas para o Ensino de Química tanto na Educação Básica quanto no Ensino Superior, em vários países, como Estados Unidos, Espanha, França, China e Brasil. Os resultados dos trabalhos analisados apontam que a utilização do Arduino em aulas de Química tem contribuído para a aprendizagem e o engajamento dos estudantes. Além disso, também foram identificadas as principais aplicações desenvolvidas para utilização em sala de aula, assim como as principais abordagens de ensino utilizadas. Os instrumentos de medidas que são construídos com frequência são medidores de pH, temperatura, concentração de gases para cromatografia e intensidade luminosa para fluorescência. Diante disso, conclui-se que o Arduino é um recurso que está bem estabelecido no campo da Educação em Ciências, em particular no Ensino de Química, mas os resultados apontam para uma necessidade de aprimorar a capacitação dos professores de modo que eles possam usufruir desse recurso promissor.

Palavras-chave: Arduino. Ensino de Química. Revisão Sistemática de Literatura.

Nutrient content in the dynamics of sesame phenology

ABSTRACT

This article presents a systematic literature review on the usage of the Arduino platform as a teaching tool in Chemistry classes in Basic Education and Higher Education. To carry out the study, national and international databases and journals of reference and relevance to the area of Science Education and Science Teaching were selected. The initial sample consisted of 52 articles, which after applying the inclusion and exclusion criteria were reduced to a total of 19 articles, which were analyzed quantitatively and qualitatively. The results obtained indicated that Arduino has been used significantly since 2014 in research focused on Chemistry Teaching in both Basic Education and Higher Education, in several countries, such as the United States, Spain, France, China, and Brazil. The results of the analyzed works indicate that the use of Arduino in Chemistry classes has contributed to student learning and engagement. Furthermore, the main applications developed for use in the classroom and the main teacher approaches used were also identified. Measurement instruments that are frequently built are pH, temperature, gas concentration for chromatography, and light intensity for fluorescence meters. It was concluded that Arduino is a resource that is well-established in the field of Science Education, particularly in Chemistry Teaching, but the results point to a need to improve the training of teachers so that they can take advantage of this promising feature.

Keywords: Arduino. Chemistry teaching. Systematic Literature Review.

INTRODUÇÃO

A grande presença das tecnologias digitais na vida das pessoas, principalmente por meio dos computadores, *tablets* e *smartphones*, é uma realidade que pode ter uma influência positiva para o campo da Educação, de modo que é oportuno que sua utilização nos contextos de ensino em sala de aula seja investigada a partir de diversos enfoques. O fato de serem equipamentos com os quais os estudantes estão familiarizados funciona como um atrativo para despertar o seu interesse para o conteúdo das disciplinas científicas.

Entende-se que a utilização de dispositivos eletrônicos para realizar medidas no laboratório, aliada ao uso de estratégias que estimulem os educandos a fazerem previsões e compará-las com os resultados obtidos experimentalmente, pode estabelecer condições favoráveis para a aprendizagem conceitual. A ideia de empregar um dispositivo para realizar e registar a medição de grandezas de maneira automática em sala de aula é uma prática que já vem sendo empregada há alguns anos no campo da Educação em Ciências, principalmente em disciplinas como Física e Química (ROCHA; MARRANGHELLO; LUCCHESE, 2014; SOKOLOFF; LAWS; THORNTON, 2007; ROSENFELD *et al*., 2019; EDWARDS *et al*., 2019; MALHOTRA *et al*., 2020), e cujos resultados foram bastante animadores no sentido de que tiveram um impacto positivo na relação ensino e aprendizagem e no engajamento dos estudantes.

Além disso, é importante frisar que, para que o uso de recursos como computadores e sensores eletrônicos na sala de aula tenham um efeito positivo na aprendizagem e engajamento dos estudantes, é importante que sua utilização venha acompanhada de alguma abordagem na qual o emprego desses recursos, assim como os dados das medidas produzidos por eles, fomente a discussão dos conceitos relacionados aos conteúdos disciplinares envolvidos (THORNTON, 1987; CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011). Também é importante destacar o papel fundamental do professor na utilização de novos recursos didáticos em sala de aula, uma vez que ele é quem faz a mediação entre as ferramentas didáticas e sua adequação e relação com os conteúdos curriculares e conhecimentos científicos desenvolvidos em sala de aula (DRIVER; ASOKO; LEACH; MORTIMER; SCOTT, 1999). De modo que, em última análise, a validação de novas ferramentas, recursos e metodologias para o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem em sala de aula dependem também da qualificação e preparação do corpo docente.

Seguindo essa tendência no campo do Ensino de Ciências, os autores deste trabalho estão conduzindo uma pesquisa de doutorado, na qual investigam os efeitos da utilização do Arduino em conjunto com a abordagem de Questões Sociocientíficas no Ensino Médio. Diante disso, julga-se fundamental e necessário identificar na literatura de que maneira a plataforma Arduino tem sido inserida nos contextos das pesquisas em Ensino de Ciências, em particular no Ensino de Química. Levando isso em consideração, o presente trabalho visa a identificar e apresentar de que maneira a plataforma Arduino tem sido utilizada por pesquisadores do campo do Ensino de Ciências para auxiliar no desenvolvimento do Ensino de Química. A atenção foi voltada para a construção de instrumentos a aplicações que utilizaram a plataforma de *hardware* eletrônico de código aberto, conhecida como Arduino, uma vez que essa plataforma tem sido a mais utilizada nos contextos de ensino de modo geral. Para tal, utilizou-se a técnica de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) em bases de dados e periódicos nacionais e internacionais, visando a identificar estudos publicados que se baseiam no uso do Arduino para a aplicação em sala de aula/laboratório.

REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, apresentam-se os referenciais que norteiam a construção deste artigo: o uso das tecnologias como suporte ao processo de ensino e a plataforma Arduino.

1.1 O USO DAS TECNOLOGIAS NO PROCESSO DE ENSINO

Explorar o uso da tecnologia para fins educacionais é condição prevista nas Competências Gerais da Educação Básica (BRASIL, 2018):

> Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (BRASIL, 2018, p. 9).

De fato, nos últimos anos, têm aumentado o número de trabalhos que investigam o uso desses recursos no campo da Educação em Ciências (CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011, LOPEZ-GAZPIO; LOPEZ-GAZPIO, 2020). Os pesquisadores que investigam sua utilização como partes integrantes de atividades de ensino argumentam que a inclusão de tais recursos nas aulas pode ser salutar para o processo de aprendizagem dos estudantes (SOKOLOFF; LAWS; THORNTON, 2007; SOUZA, 2019). Eles afirmam que o uso de tais tecnologias possibilitam ao estudante realizar medidas de diversas grandezas e experimentos de forma mais interativa, dinâmica e versátil, de modo que se sintam mais próximos das ideias, dos conceitos e dos fenômenos em estudo em sala de aula. Além de conferir um caráter mais dinâmico às abordagens conceituais, esses recursos também trazem a possibilidade de envolver os estudantes em práticas nas quais eles mesmos podem construir seus instrumentos de medidas para serem utilizados em experimentos em sala de aula, o que também amplia as possibilidades das formas de se abordar os conteúdos disciplinares em sala de aula, dando a esses experimentos uma qualidade mais reflexiva e imersiva, uma vez que, ao se envolverem nesse processo construtivo, os estudantes precisam desenvolver uma visão crítica dos fenômenos envolvidos nos processos de medida.

Dessa forma, entende-se que o uso de tais tecnologias no processo de ensino favorece o desenvolvimento da aprendizagem, ao permitir que os alunos construam, acompanhem, coletem e analisem dados relativos aos conteúdos estudados em sala de aula ou em laboratório. No Ensino de Química, a inclusão desses recursos em sala de aula tem sido trabalhada por alguns autores utilizando como plataforma de *hardware* o Arduino, tema que é explorado na seção seguinte.

1.2 A PLATAFORMA ARDUINO

Visto como um instrumento de fácil utilização, baixo custo e grande praticidade, o Arduino é definido por Cavalcante, Tavolaro e Molisani (2011) como “uma plataforma que foi construída para promover a interação física entre o ambiente e o computador utilizando dispositivos eletrônicos de forma simples e baseada em *softwares* e *hardwares* livres”.

Desenvolvido em 2005 pelo professor do Interaction Design Institute Ivrea (IDII), na Itália, Massimo Banzi e seus alunos, o Arduino foi construído como um projeto de código aberto que tornou possível desenvolver circuitos eletrônicos mais acessível, não mais apenas a profissionais da área de tecnologia, além de favorecer o acesso, devido ao seu custo reduzido. Esses fatores têm contribuído para que esses computadores sejam, cada vez mais,

utilizados em atividades escolares (CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011; SOUZA, 2019; PAPADIMITROPOULOS; DALACOSTA; PAVLATOU, 2021).

Hemann e Bulegon (2023) realizaram um estudo com estudantes da educação básica de uma escola do Rio Grande do Sul buscando entender a influência do Arduino na formação da cultura digital dos alunos. Afirmam que o uso do Arduino pode contribuir de forma positiva à iniciação dos estudantes às linguagens de programação e ao pensamento computacional, recomendando, assim, o uso da plataforma para a construção de programas e o aprendizado de conceitos físicos e matemáticos, despertando maior atenção dos alunos e o desenvolvimento de pensamento crítico. Eles concluíram que "Os resultados do estudo evidenciaram o interesse dos estudantes, a eficácia na resolução das atividades, o trabalho em equipe e a responsabilidade pelo próprio aprendizado" (HEMANN; BULEGON, 2023). Desse modo, considerando que a aplicação do Arduino no ensino de disciplinas científicas tem sido objeto de estudos do campo da Educação em Ciências, entende-se relevante também investigar quais as abordagens do processo de ensino e aprendizagem têm sido adotadas para fundamentar as atividades didáticas utilizadas no ambiente de sala de aula, nessas pesquisas, que investigam o uso do Arduino como recurso para o Ensino de Química. Essa discussão é aprofundada na próxima seção.

METODOLOGIA

O presente artigo utiliza como método a Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Trata-se de uma técnica que representa, de forma abrangente e com imparcialidade, a literatura de um assunto. Inclui um procedimento de recuperação de referências a partir de critérios explícitos e replicáveis, buscando validar a discussão científica sobre o assunto explorado (EVANS; PEARSON, 2001).

Mais comumente utilizada em pesquisas em saúde, as revisões sistemáticas e meta análises buscam integrar estudos desenvolvidos em determinados assuntos, garantindo maior validade científica ao integrar de forma quantitativa e qualitativa as evidências científicas, apresentando evolução cronológica e desenvolvimento de estudos. Assim, o Ministério da Saúde desenvolveu diretrizes metodológicas para as revisões sistemáticas (BRASIL, 2014, p. 15), que nesse documento apontam-nas como

> [...] um tipo de estudo secundário que utiliza um processo abrangente de revisão de literatura, de forma imparcial e reprodutível, para localizar, avaliar criticamente e sintetizar o conjunto de evidências disponíveis na literatura científica para obter uma visão geral sobre determinada questão de pesquisa. Diferencia-se da revisão narrativa ou revisão tradicional uma vez que inclui uma descrição detalhada dos métodos e critérios utilizados para selecionar e avaliar os artigos incluídos (BRASIL, 2014, p. 15).

O Instituto Cochrane apresenta como proposta de estruturação da RSL um esquema em etapas, caracterizado por sete fases:

a) formulação do problema - definição da proposta da pesquisa, questões centrais e condução da revisão;
b) localização e seleção dos estudos - identificação das bases de dados e outros materiais nos quais serão identificados os estudos, formas de busca, filtros e formatos de estudos incluídos;

c) avaliação da qualidade dos estudos - definir critérios claros, escalas de qualidade e *checklists* que auxiliem na identificação de estudos de qualidade e eliminação de estudos que não se enquadram nos propósitos da pesquisa;
d) coleta de dados - criação de formulários para auxiliar na estruturação, codificação e integração dos dados coletados, garantindo a confiabilidade da coleta dos dados;
e) análise e apresentação dos resultados - procedimentos estatísticos e qualitativos para apresentação dos resultados encontrados na revisão sistemática, em formato de texto, figuras e tabelas, conforme o caso;
f) interpretação dos resultados - análise realizada para compreensão das evidências;
g) aprimoramento e atualização da revisão - processo de atualização em busca de realizar melhorias no processo da revisão (ALDERSON; GREEN; HIGGINS, 2004, p. 14).
h) Busca-se, com a presente revisão de literatura, identificar, na literatura nacional e internacional, experiências já desenvolvidas e relatadas em artigos científicos de práticas de Ensino de Química utilizando o Arduino como ferramenta de construção de práticas. Para tal, foi construída a seguinte expressão de busca:

(arduino AND chemistry teaching)

Procurou-se identificar bases de dados e periódicos científicos integrativos e de qualidade na área da Educação, que incluam publicações sobre o assunto. A partir de levantamentos de estudos e revisões de literatura da área e também da experiência obtida em uma disciplina de Metodologia Científica de um Programa de Pós-Graduação em Educação, foram selecionadas as seguintes bases de dados e periódicos científicos da área de Educação que se voltam ao escopo da pesquisa, que são:

Base de dados:
a) ERIC;
b) Scielo;
c) Web of Science.

Periódicos científicos:
a) Ciência & Educação;
b) Computers and Education;
c) Cultural Studies in Science Education;
d) Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências;
e) International Journal of Science Education (IJSE);
f) International Journal of STEM Education;
g) Investigações em Ensino de Ciências (IENCI);
h) Journal of Research in Science Teaching (JRST);
i) Research in Science Education;
j) Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC);
k) Science & Education (S&E);
l) Science Education (SE);
m) Studies in Science Education.

2.1 Buscas

As buscas foram realizadas no período de 04 a 08 de março de 2024, utilizando a opção "busca avançada" disponível nas bases de dados e, nos periódicos consultados, foi utilizada a busca simples, por não disporem em sua totalidade da opção de busca avançada. Não foi realizado filtro por campo ou tipo de material. O texto completo dos documentos recuperados foi salvo para utilização nas etapas seguintes da revisão.

Nesta pesquisa foram adotados os seguintes critérios de inclusão e exclusão.

2.1.1 Critérios de inclusão

a) publicações científicas avaliadas por pares;
b) artigos de periódicos;
c) publicações nas quais o trabalho de pesquisa investiga a aplicação do Arduino em sala de aula no Ensino de Química no Ensino Médio;
d) publicações nas quais o trabalho de pesquisa investiga a aplicação do Arduino em sala de aula no Ensino de Química no Ensino Superior;
e) publicações que apresentem a construção de um instrumento/ferramenta que auxilie o ensino com o uso do Arduino.

2.1.2 Critérios de exclusão

a) artigos que não tratam do tema Arduino em sala de aula;
b) artigos que não aplicam o Arduino no Ensino de Química;
c) publicações apresentadas no formato de artigo de evento, pôster, palestras, workshop, resumos, resenhas e *preprints*;
d) publicações que não mencionam o Arduino explicitamente em sala de aula.

Para a seleção inicial foi realizada a leitura técnica de elementos que representam o conteúdo dos textos, como título, resumo, palavras-chave, introdução e conclusão. Já na etapa de análise, foi realizada a leitura completa dos documentos e desenvolvida uma matriz de síntese em formato de tabela para organização dos dados selecionados.

RESULTADOS

As buscas realizadas nas fontes selecionadas recuperaram 63 documentos. Após a eliminação dos 11 documentos duplicados, resultaram 52 documentos. Com a seleção inicial realizada nesses documentos, aplicando os critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 19 documentos para a análise da próxima etapa, que incluiu a leitura dos textos completos e a seleção dos elementos e dados buscados. O quantitativo recuperado é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Documentos recuperados por base de dados e periódicos selecionados.

Bases de dados	
Web of science	32
ERIC	13
SciELO	1
Periódicos científicos	
Ciência & Educação	0
Computers and Education	5
Cultural Studies in Science Education	2
Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências	0
International Journal of Science Education (IJSE)	2
International Journal of STEM Education	6
Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)	0
Journal of Research in Science Teaching (JRST)	1
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)	0
Science & Education	0
Science Education (SE)	0
Studies in Science Education	1
Research in Science Education	0

Fonte: Autoria própria, 2024.

A partir da seleção dos artigos, foi possível gerar dados quantitativos e qualitativos da revisão realizada. Entre os itens quantitativos, buscou-se analisar: número de estudos, evolução do quantitativo de publicações, localização geográfica, período, filiação dos autores, nível de escolarização em que os estudos foram realizados, número de trabalhos nos quais houve envolvimento dos estudantes na construção dos instrumentos. Ademais, entre os dados qualitativos, analisou-se as principais metodologias de ensino, os principais tipos de instrumentos construídos para aplicação em sala de aula e as principais grandezas medidas.

3.1 Caracterização dos documentos

Os 19 artigos selecionados foram publicados em seis periódicos, sendo a maior prevalência no Journal of Chemical Education. Trata-se de um periódico definido como de abrangência internacional, revisado por pares e dedicado a publicações em Ensino de Química. É editado por Raman Venkataramanan da Universidade de Pittsburgh, nos Estados Unidos (EUA), e possui conselho editorial integrado por especialistas vinculados a renomadas instituições de ensino de vários países. Os demais periódicos são editados nos Estados Unidos: Journal of Science Education and Technology e Journal of Porphyrins and Phthalocyanines, Espanha: Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, Reino Unido: Interactive Learning Environments e Rússia: Voprosy obrazovaniâ.

Quanto ao idioma publicado, verificou-se grande prevalência de documentos escritos em inglês, sendo 18 artigos dos 19 recuperados. Além desses, foi recuperado um documento em espanhol.

Sobre a data de publicação dos documentos, identificaram-se artigos publicados entre os anos de 2014 a 2023, conforme a Tabela abaixo. Considerando-se que o Arduino Project foi criado em 2005, entende-se que houve um período significativo até a publicação de estudos que se baseassem na tecnologia para aplicação em Ensino de Química. Os anos de 2019 e 2021 tiveram maior número de artigos publicados, quatro no total. Em seguida o ano de 2020 com três publicações e 2023 com duas publicações. Já os anos de 2014 a 2018 e 2022 contaram com uma publicação cada. Relevante ressaltar que, apesar do pequeno quantitativo, houve

publicações em todos os anos após 2014 até o ano de 2023. A partir dos dados coletados, não foi possível identificar padrões de evolução no quantitativo de produções sobre o assunto.

Tabela 2 – Total de publicações por ano de produção.

Ano	Quantidade
2015	1
2016	1
2017	1
2018	1
2019	4
2020	3
2021	4
2022	1
2023	2
2024	1

Fonte: Autoria própria, 2024.

3.2 Caracterização da autoria dos documentos

Os autores dos artigos pertencem a dez países diferentes: Austrália, Brasil, Canadá, China, Espanha, Estados Unidos, França, Grécia, Jordânia e Taiwan. Dessa forma, pode-se inferir que a tecnologia tem sido empregada em muitas regiões, com maior prevalência nos Estados Unidos, que conta com seis publicações; o Brasil, Canadá, Espanha e Grécia contam com duas publicações, e os demais países (Austrália, China, França, Jordânia e Taiwan) contam com uma publicação cada.

Um ponto comum entre os autores é a vinculação a instituições de ensino superior: todos são vinculados a universidades. Essa condição possivelmente se deve à possibilidade de desenvolvimento de pesquisas e práticas de ensino, e a produção de publicações sobre o assunto para divulgação científica.

3.3 Caracterização dos níveis de escolarização em que os estudos foram realizados

Considerando-se os níveis de escolarização dos estudantes nos trabalhos analisados, nota-se que mais da metade das aplicações desenvolvidas têm como público-alvo o nível de graduação, sendo 11 trabalhos voltados para a graduação e dois direcionados para alunos de graduação e pós-graduação. Dedicados ao Ensino Médio, identificou-se cinco trabalhos e um ao Ensino Fundamental.

Dado que todos os autores estão vinculados a instituições de ensino superior, acredita-se que esse é o motivo principal pelo qual a maioria dos trabalhos desenvolvidos teve esse nível de escolarização como objeto principal de estudo, de modo que provavelmente a maioria dos autores deem preferência por realizar suas investigações nos níveis de ensino nos quais eles atuam. No entanto, é importante ressaltar que os trabalhos direcionados para a Educação Básica foram os que incluíram o maior número de estudantes em geral.

3.4 Caracterização do envolvimento dos estudantes na construção dos instrumentos

Uma das vantagens de se trabalhar com ferramentas e recursos de código aberto, como o Arduino, é a possibilidade de utilizá-las para construir seus próprios instrumentos. Também pelo fato de o Arduino ser uma plataforma voltada para pessoas que não são, necessariamente, especializadas em eletrônica, torna a sua utilização por estudantes dos diversos níveis de escolarização bastante facilitado. Desse modo, no levantamento realizado

neste estudo, procurou-se avaliar, entre os trabalhos que aplicaram o Arduino no Ensino de Química, aqueles trabalhos nos quais os estudantes participaram do processo de construção dos instrumentos desenvolvidos para aplicação em sala de aula. Assim, identificou-se cinco trabalhos nos quais os estudantes foram envolvidos na construção dos instrumentos e aparelhos desenvolvidos para serem utilizados em sala de aula. Nesse universo, dois foram trabalhos voltados para o Ensino Médio, dois para graduação e um para graduação e pós-graduação. Nos demais trabalhos, os artefatos foram construídos pelos pesquisadores ou por eles em parceria com os professores das escolas onde a pesquisa foi realizada.

3.5 Principais metodologias de ensino identificadas

Um aspecto importante, que também foi objeto de análise neste trabalho, diz respeito às abordagens do processo de ensino e aprendizagem adotadas pelos pesquisadores, em conjunto com o uso do Arduino, para fundamentar as práticas em sala de aula. Assim, procurou-se identificar as teorias da aprendizagem adotadas pelos pesquisadores para fundamentar as atividades desenvolvidas em sala de aula. Em alguns trabalhos, os autores fazem esses apontamentos de forma explícita, porém em outros isso não aconteceu. Nesses casos, então, essa identificação foi realizada baseada na descrição das atividades e das abordagens realizadas pelos professores em sala de aula.

Considerando-se, primeiramente, os trabalhos nos quais os autores declararam explicitamente as teorias ou abordagens que fundamentaram o planejamento e o desenho das atividades de ensino, foram identificados dois trabalhos em que essas atividades foram baseadas na abordagem Ensino por Investigação, um trabalho no qual a abordagem adotada foi Aprendizagem Baseada em Contexto e um trabalho no qual os autores declaram utilizar Aprendizagem Baseada em Competências. Nos outros 15 trabalhos restantes, os autores não indicaram a metodologia empregada. Nesse caso, então, foram analisadas as descrições das atividades desenvolvidas e, desse modo, chegou-se à conclusão de que eles foram baseados em uma abordagem Tradicional, de acordo com a definição apresentada por Mizukami (1986), ou seja, uma abordagem na qual a construção do conhecimento é centralizada na figura do professor e o estudante não tem agentividade e responsabilidade.

3.6 Principais aplicações e instrumentos desenvolvidos para a sala de aula

Nos trabalhos analisados, foram identificadas aplicações do uso do Arduino para diversos experimentos de Química. Em todas elas, quase sempre é construído um instrumento para medir uma ou mais grandezas que são significativas para o entendimento ou a demonstração dos conceitos pertinentes ao tema em estudo. Também há aplicações em que o objetivo principal é automatizar um processo que é realizado repetidas vezes no laboratório de Química, como, por exemplo, foi identificado um trabalho no qual os pesquisadores desenvolveram um titulador automático (FAMULARO, KHOLOD, KOSENKOV, 2015) para auxiliar em práticas de Química Analítica.

Outro tipo de aplicação identificada diz respeito à promoção da acessibilidade no ambiente do laboratório de Química para pessoas com deficiência visual, por meio do desenvolvimento de instrumentos de medida cujos mecanismos de saída são auditivos ao invés de visuais (GOMES *et al*, 2020; COSTA, CESAR; 2019; SOONG *et al*, 2018).

Por último foram identificadas aplicações voltadas para o ensino remoto, desenvolvidas para auxiliar os estudantes durante o período de confinamento devido à pandemia de COVID-19. Nessas aplicações, o principal objetivo foi que os estudantes pudessem construir seus próprios instrumentos de medida para que pudessem realizar

experimentos de Química em casa (ANDREW *et al*, 2022; BOLZE, 2023) e assim terem algum contato com atividades experimentais, uma vez que não poderiam ter acesso aos laboratórios das instituições de ensino nesse período.

Nas aplicações voltadas para a acessibilidade, foram identificados três trabalhos direcionados às pessoas com deficiência visual. Em um deles (GOMES *et al*, 2020), os pesquisadores construíram um Calorímetro para ser utilizado em experimentos de Termoquímica no Ensino Médio. Nesse trabalho, o Arduino é utilizado para fazer a interface entre o sensor de temperatura de um calorímetro e o circuito eletrônico que converte texto em voz, de modo que o estudante possa ouvir os resultados das medidas de temperatura realizadas pelo instrumento. Essa aplicação promoveu a acessibilidade uma vez que, na maioria dos instrumentos de laboratório, os resultados das medidas são apresentados por meio de indicadores visuais. Em outra aplicação voltada para a acessibilidade (COSTA, CESAR; 2019), foi desenvolvido um medidor de pH inclusivo que pode ser utilizado por estudantes com deficiência visual. Nesse caso, o Arduino foi utilizado juntamente com um sensor de pH para reproduzir tons da escala musical, de modo que cada tom correspondesse a um valor da escala de pH e, assim, possibilitar ao estudante com deficiência visual ter acesso aos resultados das medidas de pH de forma independente.

Além de pH, temperatura, intensidade luminosa, concentração de gases e aerossóis, também há aplicações nas quais o Arduino é utilizado para medir sinais de tensão e corrente elétrica de instrumentos profissionais utilizados em laboratório, com o objetivo de extrair as medidas de alta precisão que esses instrumentos fornecem e utilizá-las para análises que não são possíveis de realizar com os dados fornecidos pelo equipamento da forma convencional. A exemplo disso, no caso do trabalho de Grinias *et al*. (2016), os pesquisadores utilizaram o Arduino conectado a um equipamento profissional de pesquisa para análises de cromatografia gasosa, facilitando o acesso dos estudantes de graduação em Química à uma técnica de análise que é utilizada em experimentos mais avançados, o que, segundo os pesquisadores, seria um procedimento mais difícil de acontecer pelas vias convencionais, mas que, nesse caso, foi facilitado pela utilização do Arduino como recurso didático.

Foram identificados cinco trabalhos nos quais foram desenvolvidos instrumentos para medição de pH, sendo três para medição de temperatura, três para medição de pH e temperatura (concomitantemente), dois para medidas de iluminância (intensidade de fluorescência), um para irradiância, concentração de gases (cromatografia gasosa), concentração de aerossóis, tensão elétrica (equipamento de cromatografia gasosa) e corrente elétrica (sensor de glucose). O fato de a medida do pH estar presente na maioria dos trabalhos é compreensível, uma vez que o pH é uma grandeza muito importante e fundamental para a Química, seguida pela medida de temperatura.

Com esse resultado, entende-se, então, que, apesar de pequena, a amostra de trabalhos que foram analisados na presente pesquisa é representativa das pesquisas que estão sendo desenvolvidas no campo, tendo como objeto a utilização do Arduino para construção de instrumentos de medida para aplicação em aulas de Química. Desse modo, nota-se que o Arduino tem sido usado para uma ampla faixa de aplicações no Ensino de Química, possibilitando a realização de experimentos personalizados em diversos níveis de escolarização e complexidade. Além disso, em todos os trabalhos analisados, nos quais foram realizados procedimentos para avaliação de ganhos na aprendizagem ou engajamento dos estudantes, foram reportados resultados positivos devido ao uso dos instrumentos desenvolvidos e sua utilização em sala de aula.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram analisados 19 trabalhos de pesquisa nos quais os autores desenvolveram instrumentos de medidas utilizando a plataforma Arduino para aplicação em aulas de Química, sendo que essas aplicações ocorreram tanto no Ensino Fundamental e Médio quanto no nível Superior. Apesar de o número de trabalhos recuperados ser relativamente pequeno, ele é significativo, uma vez que os trabalhos foram publicados em periódicos do campo da Educação em Ciências de reconhecimento internacional, e, além disso, os trabalhos têm sido publicados de modo consistente há quase 10 anos, tendo havido publicações em todos os anos desde 2014.

Outro fator importante a se destacar é o fato de os trabalhos terem origem em diversos países, tanto no continente Americano, incluindo o Brasil, quanto na Europa e Ásia. Assim, todos esses elementos extraídos da literatura contribuem para a consolidação do uso do Arduino como um recurso relevante para o Ensino de Química.

A quantidade relativamente pequena de trabalhos publicados concernentes ao Ensino de Química, tomando-se como referência o campo do Ensino de Química, pode estar relacionada com o fato de os estudos que mostram o Arduino como ferramenta didática em aulas de Química não estarem, ainda, bastante difundidos na comunidade. Em outros levantamentos realizados pelos autores deste trabalho (mas que não foram abordados aqui por fugirem do escopo deste trabalho), foi verificado um número muito maior de publicações no qual o Arduino é aplicado no Ensino de Física, por exemplo. Além disso, apesar de o Arduino ser uma plataforma para desenvolvimento de *hardware* e *software* voltada para a educação e de fácil utilização, ainda assim é necessário ter um conhecimento básico de circuitos elétricos e programação para que os pesquisadores ou professores consigam fazer progressos em sua utilização. Dessa maneira, provavelmente a quantidade reduzida de trabalhos encontrados seja um indício de que ainda é pequena a quantidade de pesquisadores e professores do campo que possuem a formação voltada para o uso das tecnologias da informação e comunicação, particularmente direcionada para o desenvolvimento de circuitos eletrônicos e programação. Tal constatação é um dado bastante importante para o campo, pois revela a necessidade de serem tomadas ações no sentido de ampliar essa formação entre os profissionais da área. No entanto, esse é um dado que necessita de mais estudos para que seja confirmado.

Outro dado relevante é a grande quantidade de trabalhos nos quais as abordagens metodológicas de ensino utilizadas são aquelas mais tradicionais, nas quais há pouca demanda de agentividade por parte dos estudantes e também em que não há muita liberdade para os alunos explorarem situações diferentes das impostas nos roteiros das atividades. Esse fato pode ser decorrente do perfil de formação dos pesquisadores, porém, para se obter uma resposta mais embasada para essa questão, é necessário que sejam conduzidos mais estudos. Como já fora dito, o Arduino é um recurso que permite uma grande versatilidade na construção de instrumentos de medida e experimentos com várias possibilidades de interações dinâmicas entre os estudantes e os instrumentos, o que certamente amplia as possibilidades de criação de contextos favoráveis à utilização de abordagens de ensino e aprendizagem diferentes da abordagem tradicional, como as que foram identificadas no presente estudo, tais como abordagens baseadas no ensino por investigação e aprendizagem ativa.

Os trabalhos nos quais foram desenvolvidos instrumentos de medidas dedicados à inclusão de pessoas com deficiência visual são mais uma demonstração da versatilidade de aplicações didáticas que podem ser desenvolvidas com a plataforma Arduino. Nesses casos, os autores criaram instrumentos que cumpriram o propósito para o qual foram projetados por um custo bem mais baixo do valor dos equipamentos comercialmente disponíveis, permitindo assim uma solução realmente inclusiva, uma vez que o elevado preço de um instrumento ou equipamento geralmente implica sua não disponibilização para muitas escolas e instituições de ensino, o que é válido tanto para as aplicações desenvolvidas para acessibilidade e inclusão quanto para as demais já apontadas nesse trabalho. Desse modo, fica evidente que o fato de o Arduino ser um recurso de baixo custo resulta em grande facilidade de disponibilização, para a comunidade acadêmica e escolar, das soluções desenvolvidas por meio da pesquisa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atualidade, a vida em sociedade está permeada pela presença acentuada das tecnologias de informação e comunicação. Elas se evidenciam pela presença expressiva de dispositivos como *smartphones*, *tablets* e computadores, e também pela agilidade e facilidade com que as informações circulam por todo o planeta, interconectando pessoas, instituições e máquinas. Assim, todas as pessoas que vivem nessa sociedade são afetadas por essa presença das tecnologias e, também, por seus efeitos sobre suas vidas. Tendo isso em conta, é evidente que a escola pode e deve contribuir para que os estudantes tenham condições de interagir com essas tecnologias de forma crítica e reflexiva. Mais do que isso, é importante que a escola ajude-os a descobrirem como utilizar essas tecnologias para produzir conhecimento e informação.

A plataforma Arduino foi desenvolvida com o propósito de facilitar o acesso de professores e estudantes às tecnologias de informação e comunicação do ponto de vista de quem cria soluções tecnológicas para os mais diversos problemas, sejam eles do cotidiano ou científicos. Ela possibilita que professores desenvolvam seus próprios instrumentos de medidas para serem utilizados por seus alunos em experimentos em sala de aula, como também permite que estudantes desenvolvam soluções para problemas de natureza científica, propostos por seus professores, por meio da construção de artefatos tecnológicos. Nesse sentido, a literatura tem trazido resultados positivos para aprendizagem dos estudantes, em relação à utilização do Arduino como ferramenta didática em aulas de Química, em todos os níveis de escolarização.

Essas são as ideias subjacentes ao objetivo deste trabalho, de modo que se pretendeu mapear como o Arduino tem sido aplicado nas escolas por pesquisadores para promover o ensino de Química. Considera-se que esse objetivo foi atingido. Foram identificadas diversas pesquisas nas quais se investigou a utilização do Arduino em aulas de Química, e também foram mapeadas quais as principais abordagens de ensino utilizadas pelos pesquisadores e quais as principais características dos instrumentos desenvolvidos. Por conseguinte, os dados levantados também apontaram a necessidade de pesquisas futuras para que alguns aspectos da utilização de recursos como o Arduino no Ensino de Química possam ser melhor compreendidos.

REFERÊNCIAS

ANDREW, G. et al. HazeL: A Low-Cost Learning Platform for Aerosol Measurements. **Journal of Chemical Education**, v. 99, n. 9, p. 3203-3210, 9 ago. 2022.

BOLZE, F. Teaching with Arduino: Porphyrinoids' fluorescence in olive oil. **Journal of Porphyrins and Phthalocyanines**, v. 27, n. 07n10, p. 1177-1181, 19 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 11 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Diretrizes metodológicas**: elaboração de revisão sistemática e metanálise de estudos de acurácia diagnóstica. Brasília, 2014. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_metodologicas_estudos_acuracia_diagnostica.pdf. Acesso em: 11 set. 2024.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, p. 4503, 2011.

COSTA, S.; CESAR, J. Listening to pH. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 2, p. 372-376, 2019.

DRIVER, Rosalind; ASOKO, Hilary; LEACH, John; MORTIMER, Eduardo; SCOTT, Philip. Construindo conhecimento científico na sala de aula. Tradução: Eduardo Mortimer. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 9, maio 1999.

EDWARDS, B. I.; BIELAWSKI, K. S.; PRADA, R.; CHEOK, A. D. Haptic virtual reality and immersive learning for enhanced organic chemistry instruction. **Virtual Reality**, v. *23*, n. 4, p. 363-373, 2019.

EGHLIMI, A. et al. Developing a Safe and Versatile Chemiluminescence Demonstration for Studying Reaction Kinetics. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 3, p. 522-527, 8 fev. 2019.

EVANS, D.; PEARSON, A. Systematic reviews of qualitative research. **Clinical Effectiveness in Nursing**, v. 5, n. 3, p. 111-117, 2001.

FAMULARO, N.; YANA KHOLOD; DMYTRO KOSENKOV. Integrating Chemistry Laboratory Instrumentation into the Industrial Internet: Building, Programming, and Experimenting with an Automatic Titrator. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 1, p. 175-181, 30 out. 2015.

GOMES, V. V. et al. An Arduino-Based Talking Calorimeter for Inclusive Lab Activities. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 6, p. 1677-1681, 19 maio 2020.

GRINIAS, J. P. et al. An Inexpensive, Open-Source USB Arduino Data Acquisition Device for Chemical Instrumentation. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 7, p. 1316-1319, 22 jun. 2016.

HEMANN, Leonam Vieira; BULEGON, Ana Marli. Arduino e TinkerCad: recursos potenciais para desenvolver a Cultura Digital em estudantes da Educação Básica. *In*: WORKSHOP DE

INFORMÁTICA NA ESCOLA (WIE), 29. , 2023, Passo Fundo/RS. **Anais** [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 439-450.

JIN, H. et al. Open-Source Low-Cost Wireless Potentiometric Instrument for pH Determination Experiments. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 2, p. 326-330, 22 nov. 2017.

LOPEZ-GAZPIO, J. LOPEZ-GAZPIO, I. Constructing an electronic calorimeter that students can use to make thermochemical and analytical determinations during laboratory experiments. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 12, 2020.

MALHOTRA, M.; AULAKH, I. K.; KAUR, N.; AULAKH, N. S. Air pollution monitoring through Arduino Uno. ICT systems and sustainability. **Singapore**, v. 1077, p. 235-243, 2020.

MIZUKAMI, Maria das Graças Nicoletti. **Ensino**: as abordagens do processo. São Paulo: EPU, 1986.

PAPADIMITROPOULOS, N.; DALACOSTA, K.; PAVLATOU, E. A. Teaching Chemistry with Arduino Experiments in a Mixed Virtual-Physical Learning Environment. **Journal of Science Education and Technology**, v. 30, n. 4, p. 550-566, 29 jan. 2021.

PAPADIMITROPOULOS, N.; PAVLATOU, E. A. Exploring learning outcomes of science experiments using physical instrument and substances assisted by digital entities. **Interactive Learning Environments**, p. 1-17, 27 set. 2021.

ROCHA, F.; MARRANGHELLO, G.; LUCCHESE, M. Acelerômetro eletrônico e a placa Arduino para o ensino de Física em tempo real. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 98-123, abr. 2014.

ROSENFELD, S.; YAYON, M.; HALEVI, R.; BLONDER, R. Teachers as makers in chemistry education: an exploratory study. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. *17*, n. 1, p. 125-148, 2019.

SOKOLOFF, D.R.; LAWS, P. W.; THORNTON, R. K. **RealTime Physics**: active learning labs transforming the introductory laboratory. European Journal of Physics, v. 28, n. 3, 2007.

SOONG, R. et al. Combining the Maker Movement with Accessibility Needs in an Undergraduate Laboratory: A Cost-Effective Text-to-Speech Multipurpose, Universal Chemistry Sensor Hub (MUCSH) for Students with Disabilities. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 12, p. 2268-2272, 25 out. 2018.

SOUZA, J. C. **Aprendizagem ativa em aulas de física**: o uso do Arduino em experimentos de termodinâmica. Dissertação (Mestrado em Educação e Docência), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/32632. Acesso em: 11 set. 2024.

THORNTON, R.K. Tools for scientific thinking: microcomputer-based laboratories for physics teaching. **Physics Education**, v. 22, n. 4, 1987.

Editores do artigo

Ednilton Moreira Gama, Jandresson Dias Pires e Mariana Mapelli de Paiva