

Laboratórios virtuais no ensino de ciências no secundário: Uma revisão sistemática de literatura entre 2021 e 2023

Virtual laboratories in secondary science teaching: A systematic literature review between 2021 and 2023

Laboratorios virtuales en la enseñanza de ciencias en secundaria: una revisión sistemática de la literatura entre 2021 e 2023

Bruno Salgado Cole

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil
bruno.cole@ifpi.edu.br
<https://orcid.org/0009-0009-9365-6220>

Rute Sónia Loureiro de Moura

Universidade de Évora, Portugal
ruteslmoura@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-8813-8376>

Thiciana Silva Sousa Cole

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil
thiciana.sousa@ifpi.edu.br
<https://orcid.org/0000-0002-1571-8918>

Oswaldo Carlos André

Universidade Lueji Ankode, Angola
ocarlosbwe@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-8058-7432>

Elisabete Cruz

Universidade de Évora, Centro de Investigação em Educação e Psicologia, Portugal
elisabete.cruz@uevora.pt
<https://orcid.org/0000-0002-8497-3322>

Resumo

Este artigo de Revisão Sistemática de Literatura explora o uso de Laboratórios Virtuais (LVs) no ensino secundário de ciências, com foco em três questões centrais: (1) como os LVs têm sido abordados nas aulas de ciências, (2) qual o impacto desses laboratórios no desempenho dos alunos e no desenvolvimento de competências em ciências, e (3) como eles contribuem

para superar as barreiras estruturais e de infraestrutura no ensino de ciências, especialmente em contextos socioeconômicos variados. As diferentes fases do processo de revisão incluíram: a definição de objetivos/questões, de equações de pesquisa e das bases de dados; a determinação de critérios de inclusão e de exclusão; a definição da estratégia de pesquisa; e a apresentação e discussão dos resultados. Seguindo o protocolo estabelecido foram localizados 100 artigos em 3 bases científicas (Scopus, WoS e ERIC) identificando-se apenas 4 trabalhos, publicados entre 2021 e 2023, com potencial para responder aos propósitos visados. Os resultados apurados sugerem que: (1) os LVs são abordados como complementos às aulas práticas tradicionais e alternativas viáveis aos laboratórios físicos, adaptando-se a diferentes contextos e necessidades educativas; (2) os LVs têm um impacto positivo e multifacetado no desempenho dos alunos e no desenvolvimento de competências em ciências no ensino secundário e (3) desempenham um papel crucial na superação de barreiras estruturais e de infraestrutura no ensino de ciências, proporcionando uma alternativa acessível para as experiências no ensino de Ciências, além de garantir a continuidade da aprendizagem em contextos com recursos socioeconômicos limitados.

Palavras-chave: Laboratório virtual; Ensino de ciências; Ensino Secundário; Revisão Sistemática de Literatura.

Abstract

This Systematic Literature Review article explores the use of Virtual Laboratories (VLs) in secondary science education, focusing on three central questions: (1) how have VLs been approached in science classes, (2) what is the impact of these laboratories on student performance and the development of science competencies, and (3) how do they contribute to overcoming structural and infrastructural barriers in science education, especially in varied socioeconomic contexts. The different phases of the review process included: defining objectives/questions, search equations and databases; determining inclusion and exclusion criteria; defining the search strategy; and presenting and discussing the results. Following the established protocol, 100 articles were located in 3 scientific databases (Scopus, WoS and ERIC), identifying only 4 works, published between 2021 and 2023, with the potential to respond to the intended purposes. The results suggest that: (1) VLs are approached as complements to traditional practical classes and viable alternatives to physical laboratories, adapting to different contexts and educational needs; (2) VLs have a positive and multifaceted impact on student performance and the development of science skills in secondary education and (3) they play a crucial role in overcoming structural and infrastructural barriers in science education, providing an accessible alternative for experiments, as well as ensuring continuity of learning in contexts with limited socioeconomic resources.

Keywords: Virtual laboratory; Science teaching; Secondary education; Systematic literature review.

Resumen

Este artículo de Revisión Sistemática de la Literatura explora el uso de Laboratorios Virtuales (LV) en la enseñanza secundaria de ciencias, centrándose en tres cuestiones centrales: (1) cómo se han enfocado los LV en las clases de ciencias, (2) cuál es el impacto de estos laboratorios en el rendimiento de los estudiantes y en el desarrollo de competencias científicas, y (3)

cómo contribuyen a superar las barreras estructurales y de infraestructura en la enseñanza de las ciencias, especialmente en contextos socioeconómicos variados. Las diferentes fases del proceso de revisión incluyeron: definición de objetivos/preguntas, ecuaciones de búsqueda y bases de datos; determinación de criterios de inclusión y exclusión; definición de la estrategia de búsqueda; y presentación y discusión de los resultados. Siguiendo el protocolo establecido, se localizaron 100 artículos en 3 bases de datos científicas (Scopus, WoS y ERIC), identificándose únicamente 4 trabajos, publicados entre 2021 y 2023, con potencial para responder a los propósitos previstos. Los resultados sugieren que: (1) las VL se abordan como complementos a las clases prácticas tradicionales y alternativas viables a los laboratorios físicos, adaptándose a diferentes contextos y necesidades educativas; (2) las VL tienen un impacto positivo y multifacético en el rendimiento de los estudiantes y en el desarrollo de competencias científicas en la educación secundaria; y (3) desempeñan un papel crucial en la superación de las barreras estructurales y de infraestructura en la enseñanza de las ciencias, proporcionando una alternativa accesible para los experimentos, así como garantizando la continuidad del aprendizaje en contextos con recursos socioeconómicos limitados.

Palabras clave: Laboratorio virtual; Enseñanza de las ciencias; Educación secundaria; Revisión sistemática de la literatura.

Introdução

A perspetiva construtivista, tal como proposta por Jonassen (1996), concebe a aprendizagem como um processo ativo, contextual e colaborativo. Neste enquadramento, as tecnologias digitais, quando pedagogicamente bem integradas, potenciam a aprendizagem significativa, promovendo a construção de conhecimento em contextos autênticos e participativos (Nanjappa & Grant, 2003).

Quando nos reportamos ao ensino das ciências e constatando que as escolas enfrentam obstáculos consideráveis à utilização dos laboratórios físicos, nomeadamente devido a materiais inadequados e desatualizados, à falta de fundos para equipamentos ou à modernização geral dos laboratórios (Fadda et al., 2022), os laboratórios virtuais (LVs) surgem como uma alternativa notável ou complemento à aprendizagem prática. A sua importância é amplamente discutida nos debates em curso sobre a sua eficácia na promoção do raciocínio científico, competências práticas e envolvimento geral dos alunos em disciplinas como Física, Química, Matemática e Biologia (Santos & Prudente, 2022).

Os LVs simulam as experiências que são tradicionalmente realizadas em laboratórios reais e proporcionam oportunidades de utilização de materiais, equipamentos e ferramentas virtuais que foram concebidos para reproduzir os de um laboratório real (Fadda et al., 2022). Este tipo de abordagem começou a ser explorado de forma sistemática já no início dos anos 2000, com estudos como o de Ramasundaram et al. (2005), que evidenciaram o potencial dos LVs para fomentar a aprendizagem ativa através da realização de tarefas que implicam explorar, testar hipóteses, encontrar e organizar materiais, e sintetizar conteúdos. Especificamente, no ensino das ciências, os LVs são plataformas digitais que simulam experiências reais de laboratório, permitindo que estudantes do ensino secundário realizem experiências, se envolvam com conceitos científicos por meio de simulações interativas e colaborativas, permitindo a partilha e a reflexão.

Nos últimos anos, particularmente após a pandemia de COVID-19, assistiu-se a uma intensificação da adoção de soluções digitais para garantir a continuidade do ensino, incluindo o ensino experimental, em contextos remotos ou híbridos. Esta tendência, evidenciada por organizações como a UNESCO (2021) e a OECD (2021), contribuiu para o crescimento do interesse pelos LVs em diferentes níveis de ensino. Contudo, apesar dessa expansão, o ensino secundário continua a ser pouco representado na literatura científica sobre LVs, sobretudo quando comparado com o ensino superior, onde se concentra a maioria dos estudos disponíveis (Brinson, 2015; Fadda et al., 2022; Sellberg et al, 2024).

Reconhecendo a escassez de estudos sobre LVs no ensino secundário, especialmente em contextos educativos pós-pandémicos, assim como a crescente pertinência desta abordagem no ensino das ciências, esta Revisão Sistemática de Literatura (RSL) centra-se no período entre 2021 e 2023. A finalidade é identificar e analisar práticas recentes desenvolvidas após a pandemia de COVID-19, respondendo à necessidade de compreender de que forma os LVs têm sido utilizados e com que resultados neste nível de ensino e num cenário educativo marcado por desafios acrescidos de acesso, infraestrutura e equidade.

Com base nesse propósito, delineámos três questões de investigação: (1) Como os LVs têm sido abordados no ensino secundário para as aulas de ciências? (2) Qual é o impacto dos LVs no desempenho dos alunos e no desenvolvimento de competências em ciências no ensino secundário? (3) Como os LVs contribuem para superar as barreiras estruturais e de infraestrutura no ensino de ciências em diferentes contextos socioeconómicos?

Para responder a essas questões, o artigo organiza-se em diferentes secções que visam apresentar, de forma clara e sistemática, a investigação realizada. Inicialmente, discute-se a fundamentação teórica sobre laboratórios virtuais no ensino de ciências, seguida pela explicação da metodologia adotada na RSL. Em seguida, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos a partir dos estudos analisados, respondendo às questões de investigação propostas. Por fim, são destacadas as principais conclusões, implicações educativas e sugestões para futuras pesquisas que possam contribuir para uma melhor compreensão e aplicação dos LVs no ensino das ciências no ensino secundário.

Contextualização teórica

O ensino de ciências tem passado por transformações para superar o modelo tradicional, centrado na memorização de conceitos e fórmulas, e direcionar-se ao desenvolvimento de competências científicas nos alunos, com o objetivo de formar cidadãos capazes de compreender o mundo natural, tomar decisões baseadas em factos e resolver problemas (Maldonado et al., 2022; Reis, 2024). No entanto, essas mudanças enfrentam desafios significativos, especialmente no ensino secundário, onde a predominância de metodologias descontextualizadas torna os conteúdos abstratos e desinteressantes para os alunos. Essa abordagem limita o envolvimento e prejudica a compreensão, sobretudo quando atividades experimentais que conectam teoria e quotidiano estão ausentes (Silva et al., 2018).

As atividades experimentais desempenham um papel essencial na superação desses desafios, ao conectar teoria e prática, estimulando a curiosidade e favorecendo a construção de significados por meio da interação entre saberes prévios e novos (Silveira & Vasconcelos, 2023). Contudo, a carência de materiais e laboratórios adequados prejudica a execução dessas práticas, limitando tanto o desempenho docente quanto o envolvimento discente. A falta de laboratórios bem equipados é frequentemente apontada como uma das principais razões para o desinteresse dos alunos, reforçando a necessidade de alternativas inovadoras para superar essa limitação (Silva et al., 2018).

Nas últimas duas décadas, os laboratórios virtuais (LVs) surgiram como uma dessas alternativas, exploradas inicialmente em contextos de ensino superior e de engenharia, com vista a contornar as limitações logísticas e financeiras do ensino experimental tradicional. Estudos como o de Ramasundaram et al. (2005) destacaram desde cedo o potencial dos LVs para oferecer experiências de campo simuladas, acessíveis e interativas. Posteriormente, revisões como a de Ma e Nickerson (2006) e a meta-análise de Brinson (2015) aprofundaram a comparação entre laboratórios físicos e virtuais, demonstrando que os LVs podem proporcionar ganhos de aprendizagem equivalentes ou superiores, especialmente em ambientes controlados, com uma boa estrutura pedagógica.

Apesar de robusto, esse corpo de literatura foca-se quase exclusivamente no ensino superior, revelando lacunas importantes quanto à aplicação dos LVs no ensino secundário — uma constatação reforçada por revisões mais recentes (Fadda et al., 2022; Sellberg et al., 2024). Esta ausência é particularmente relevante se considerarmos que muitos contextos escolares, especialmente em realidades social e economicamente desfavorecidas, carecem de condições para garantir práticas experimentais consistentes.

Nesse sentido, os LVs além de responderem a uma necessidade estrutural, representam também uma oportunidade para apoiar o desenvolvimento de cultura científica que chegue a todos os cidadãos, entendida não apenas como um conjunto de saberes, mas como um processo contextualizado de construção de conhecimento em permanente diálogo com a sociedade, a tecnologia e o meio ambiente (Reis, 2024).

Paralelamente, os avanços tecnológicos das últimas décadas, especialmente na área das tecnologias digitais interativas, têm expandido as possibilidades pedagógicas dos LVs. Estes ambientes virtuais ampliam o alcance da educação científica, permitindo a visualização de fenômenos complexos a nível molecular, a simulação de reações perigosas ou de grande escala e a interação com equipamentos sofisticados, muitas vezes inacessíveis em laboratórios tradicionais (Olympiou et al., 2013). Disponíveis online, os LVs democratizam o acesso ao conhecimento científico, promovendo segurança, eficiência e economia, ao mesmo tempo que permitem a repetição ilimitada de experiências e oferecem aos docentes mais tempo para orientações individualizadas.

Em contextos de ensino híbrido, os LVs integram teoria e prática, otimizando a aprendizagem, aumentando o envolvimento dos estudantes e desenvolvendo competências de resolução de problemas (Ali & Ullah, 2020; Chan et al., 2021). Geralmente incluem elementos como feedback, scaffolding (apoio gradual) e multimodalidade, que contribuem para otimizar a experiência de aprendizagem. Especificamente, ao fornecerem informações sobre desempenho dos alunos e

possibilitarem a estruturação de atividades com suporte gradual, e com informações em diversos formatos (como texto, áudio, imagem e vídeo), os LVs favorecem a compreensão conceptual e o desenvolvimento de competências científicas (Chan et al., 2021).

Além destas vantagens, os LVs oferecem respostas inclusivas, especialmente em contextos com recursos limitados e para alunos com necessidades específicas. Em ambientes desfavorecidos, onde o acesso a laboratórios físicos é restrito devido a limitações financeiras ou falta de equipamentos, os LVs proporcionam uma alternativa acessível e segura para atividades experimentais (Ali & Ullah, 2020; Fadda et al., 2022). Para alunos com necessidades específicas, as plataformas virtuais permitem a personalização, a acessibilidade (como legendas e audiodescrição) e um ambiente adaptado ao ritmo individual, promovendo maior autonomia e participação (Deriba et al., 2024).

A eficácia dos LVs depende, contudo, da forma como são integrados nas práticas pedagógicas. Como sublinham diversos estudos, o papel do professor enquanto mediador da aprendizagem é uma variável absolutamente indispensável - não tanto para orientar o uso técnico da ferramenta, mas sobretudo para criar condições didáticas que desafiem os alunos a formular hipóteses, testá-las em simulações e tirar conclusões baseadas nos dados obtidos (Brinson, 2015; Fadda et al., 2022; Chan et al., 2021; Santos & Prudente, 2022). Por sua vez, aquela mediação depende da preparação pedagógica dos professores - incluindo a familiarização com tecnologias específicas, desde simulações 2D até ambientes de realidade virtual 3D -, mas também exige infraestrutura tecnológica apropriada (Sellberg et al., 2024).

Com os avanços em realidade aumentada e inteligência artificial, os LVs apresentam possibilidades cada vez mais sofisticadas para personalizar a aprendizagem. Estas tecnologias podem superar barreiras logísticas e pedagógicas, promovendo maior acessibilidade e eficiência no ensino de ciências. No entanto, continua a ser necessária investigação empírica robusta sobre o impacto destas soluções, sobretudo no ensino secundário, de forma a orientar decisões educativas informadas e garantir uma implementação pedagogicamente eficaz (Ali & Ullah, 2020).

Método

Uma RSL caracteriza-se por objetivos bem definidos e critérios previamente estabelecidos para a inclusão de estudos, sendo conduzida por uma metodologia transparente que assegura replicabilidade. Esse tipo de revisão realiza uma busca abrangente em múltiplas fontes para minimizar vieses, avalia a qualidade metodológica dos estudos para garantir a confiabilidade das conclusões e organiza os resultados de maneira sistemática, proporcionando uma análise abrangente das evidências disponíveis (Bearman et al., 2012).

Neste estudo, foi adotado o modelo de revisão sistemática seguindo os padrões estabelecidos pela Declaração PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). A versão atualizada da declaração PRISMA, de 2020, oferece diretrizes refinadas para a elaboração de relatórios, incorporando avanços nos métodos de identificação, seleção, avaliação e síntese de estudos (Page et al., 2021). Além disso, os procedimentos metodológicos sugeridos por Donato e Donato (2019) também foram seguidos, conforme detalhado no Quadro

1. Esses procedimentos incluem: (1) definição do foco do estudo; (2) formulação das questões de investigação; (3) identificação de palavras-chave; (4) elaboração de uma estratégia de busca; (5) estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; e (6) seleção das bases de dados para localizar e identificar os estudos mais relevantes aos objetivos propostos.

Quadro 1. Protocolo de Revisão Sistemática de Literatura.

Propósito	Investigar como os laboratórios virtuais (LVs) são utilizados no ensino de ciências no ensino secundário, examinando seu impacto no desempenho e competências dos alunos, e sua contribuição para superar barreiras estruturais em diferentes contextos socioeconômicos.
Questões de investigação	Q1. Como os LVs têm sido abordados no ensino secundário para as aulas de ciências? Q2. Qual é o impacto dos LVs no desempenho dos alunos e no desenvolvimento de competências em ciências no ensino secundário? Q3. Como os LVs contribuem para superar as barreiras estruturais e de infraestrutura no ensino de ciências em diferentes contextos socioeconômicos?
Palavras-Chave	PT: Laboratório virtual, educação de ciências. EN: Virtual laboratory, science education.
Estratégia de pesquisa	PT: Pesquisa IN TÍTULO; IN TERMOS DO ASSUNTO; IN RESUMO ("Laboratório virtual") AND ("educação de ciências") EN: Search IN TITLE; IN TERMS OF SUBJECT; IN ABSTRACT ("virtual laboratory") AND ("science education")
Crítérios de inclusão e de exclusão	Crítérios de inclusão: a) Artigos que abordem especificamente a utilização de LVs como ferramentas educativas no ensino de ciências; b) Artigos que relatem estudos realizados com alunos do ensino secundário, com ênfase no ensino de ciências; c) Artigos que apresentem estudos com evidências empíricas baseadas em fontes primárias; d) Artigos publicados entre janeiro de 2021 e dezembro de 2023; e) Artigos que tenham sido publicados em revistas acadêmicas que adotam um rigoroso processo de revisão por pares; f) Artigos escritos em inglês e português; g) Artigos que ofereçam texto completo em acesso livre. Crítérios de exclusão: a) Artigos que não abordem especificamente LVs, mas sim outras tecnologias educativas, como softwares educativos ou plataformas de e-learning, que não se encaixam na temática proposta; b) Artigos que não se concentrem em alunos do ensino secundário, excluindo, por exemplo, pesquisas voltadas para a educação de infância ou ensino superior; c) Artigos que sejam baseados apenas em revisões de literatura, opiniões ou relatos anedóticos; d) Artigos publicados antes de janeiro de 2021 ou após dezembro de 2023, que não atendem ao critério de temporalidade;

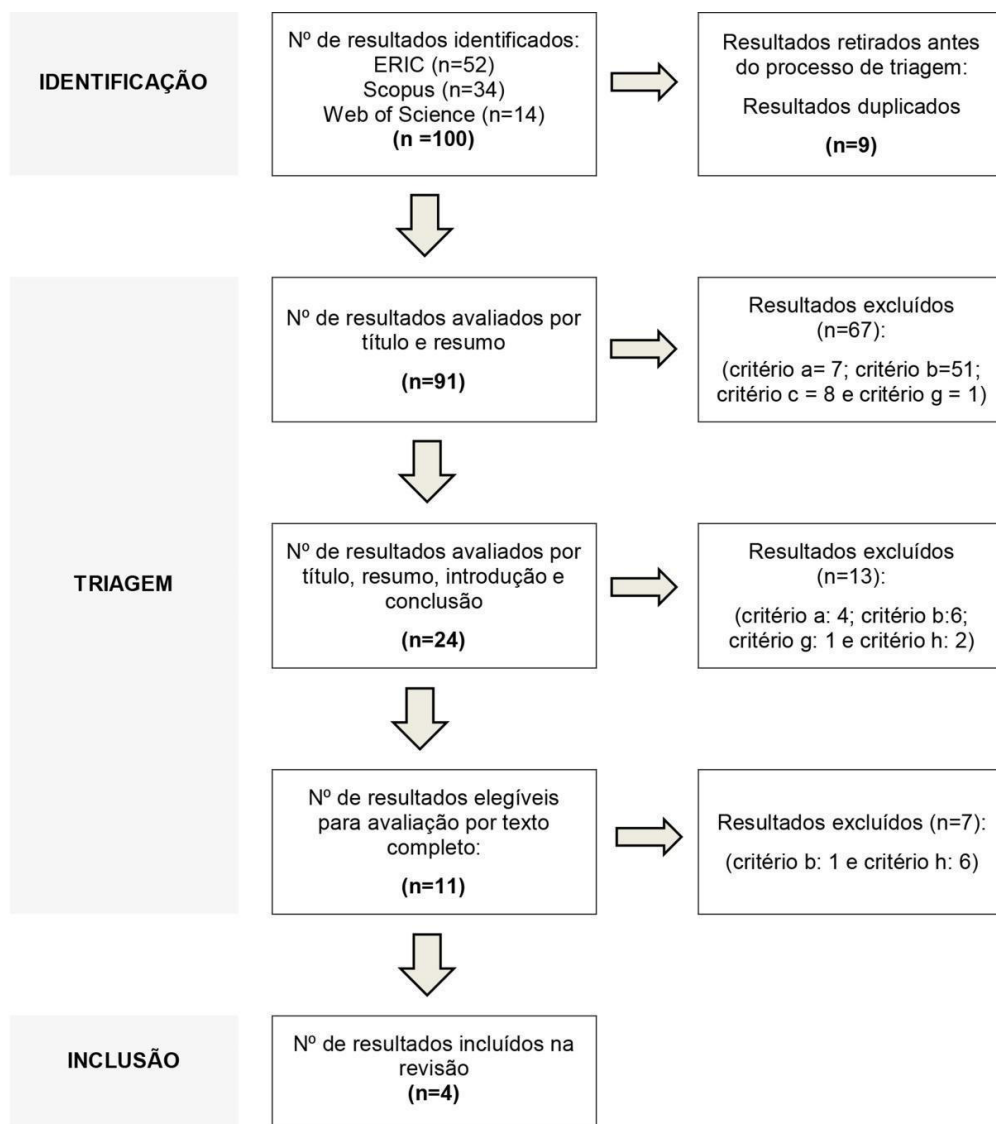
	e) Artigos publicados em revistas que não utilizam um processo de revisão por pares; f) Artigos que não estejam escritos em inglês ou português; g) Artigos que não estejam disponíveis em acesso livre; h) Estudos e artigos que não discutem ou não fornecem dados sobre o impacto dos LVs no desempenho dos alunos ou no desenvolvimento de competências e sua contribuição para superar barreiras estruturais em diferentes contextos socioeconômicos.
Bases	Scopus, Web of Science e ERIC

Fonte: Elaboração própria

Salienta-se que o recorte temporal adotado neste estudo - de janeiro de 2021 a dezembro de 2023 - teve como objetivo mapear práticas recentes emergentes no período pós-pandêmico, durante o qual se intensificou, à escala global, a integração de tecnologias digitais no ensino. Este intervalo foi ainda estrategicamente delimitado para garantir a completude do ano de 2023, uma vez que a recolha dos dados foi realizada em novembro de 2024, não sendo, por isso, possível assegurar a identificação exaustiva de publicações desse ano. Assim, para além de garantir uma cobertura cronológica consistente, esta delimitação temporal visa também responder à escassez de estudos empíricos focados na utilização de LVs no ensino de ciências ao nível do ensino secundário, tal como identificado em revisões anteriores (Brinson, 2015; Fadda et al., 2022; Sellberg et al., 2024).

Partindo desta delimitação, iniciou-se a busca nas bases de dados previamente selecionadas – Scopus, Web of Science e ERIC. Como estratégia de busca, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: em português, “Laboratório virtual” AND “Educação de ciências”, e em inglês, “Virtual laboratory” AND “Science education”. Na base de dados ERIC, foram aplicados os filtros “Peer reviewed only” e “Full text available on ERIC”, garantindo a seleção exclusiva de artigos revistos por pares e com texto completo disponível na própria plataforma. Além disso, as palavras-chave foram combinadas com os restritores de tempo: “virtual laboratory” AND “science education” pubyearmin:2021 pubyearmax:2023. Na base Web of Science, a busca foi refinada pela opção de tipo de documento “article”, garantindo que apenas artigos científicos fossem incluídos nos resultados. Ao realizar a busca com as palavras-chave em português, não foram encontrados artigos.

Como resultado, foram obtidos um total de 100 artigos: 34 da Scopus, 14 da Web of Science e 52 da ERIC. Após a remoção dos artigos duplicados, 91 artigos foram considerados para triagem inicial, sendo avaliados com base no título e resumo. De acordo com os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos, 67 artigos foram descartados nesta fase, restando 24 para uma análise mais aprofundada, que exigiu a leitura de seções adicionais, como a introdução e/ou as conclusões. Nessa etapa, 13 artigos foram excluídos, deixando 11 para análise completa do texto. Após a leitura completa, 4 artigos foram selecionados para a revisão. O fluxograma 1, baseado no “Prisma Flow Diagram” (Page et al., 2021), ilustra claramente o processo seguido para a seleção final dos 4 artigos entre os 91 provenientes da pesquisa detalhada.



Fluxograma 1. Fluxograma do processo de seleção de artigos
Fonte: Adaptado de Page et al. (2021, p.5)

Devido ao número limitado de artigos selecionados, adotou-se uma análise narrativa com uma abordagem qualitativa no contexto da revisão sistemática. O Quadro 2 (Apêndice) reúne as informações gerais dos artigos incluídos na revisão, detalhando autores, ano de publicação, título, objetivos, metodologia utilizada e as principais conclusões de cada estudo.

Resultados e sua discussão

Os estudos revistos analisam o uso de laboratórios virtuais no ensino de ciências em escolas secundárias em diferentes contextos. Manyilizu (2023) conduziu seu estudo na Escola Secundária de Dodoma, Tanzânia, com 79 alunos do segundo ano de química. Amin e Ikhsan (2021) realizaram sua pesquisa numa escola pública em Bangkalan City, Indonésia, envolvendo 81 estudantes do 11º ano do curso de ciências naturais. Padios Jr. e Tobia Jr. (2023) investigaram os efeitos de diferentes modalidades de ensino a distância em física na Escola Secundária do Aurora State College of Technology, Filipinas, com 30 alunos do 12º ano da área STEM durante a pandemia de COVID-19. Yakob et al. (2023) analisaram a viabilidade de instrumentos de avaliação autêntica com laboratórios virtuais em química, com 118 alunos do 11º ano em uma escola pública de Langsa City, Indonésia. A seguir, os resultados são apresentados conforme as três questões de investigação propostas.

Como os LVs têm sido abordados no ensino secundário para as aulas de ciências?

Os quatro artigos analisados revelam que os LVs são abordados como complementos às aulas práticas tradicionais e alternativas viáveis aos laboratórios físicos, adaptando-se a diferentes contextos e necessidades educativas.

Manyilizu (2023) destaca os LVs como ferramentas fundamentais para enriquecer as aulas práticas tradicionais, oferecendo aos estudantes uma experiência prévia que facilita a compreensão e a conexão com os conteúdos, especialmente em contextos de recursos limitados, como observado na Tanzânia. Nesse sentido, os LVs são apresentados como complementos valiosos, capazes de expandir as possibilidades de prática e exploração de conceitos, sem necessariamente substituir os laboratórios tradicionais.

Amin e Ikhsan (2021) ampliam essa discussão ao considerarem os LVs não apenas como complementos, mas também como alternativas viáveis aos laboratórios físicos em situações de escassez de recursos, como a ausência de reagentes, instrumentos adequados ou tempo. Eles argumentam que, além de proporcionar flexibilidade, essas ferramentas permitem a repetição de experiências e a visualização de processos em escalas submicroscópicas, enriquecendo significativamente a aprendizagem. Assim, os autores reconhecem a dualidade dos LVs, utilizando-os tanto para preencher lacunas quanto para aprimorar as práticas tradicionais.

Em Padios Jr. e Tobia Jr. (2023), os LVs são apresentados como uma ferramenta eficaz para complementar o ensino modular a distância, proporcionando aos alunos a oportunidade de vivenciar experiências práticas mesmo em um ambiente remoto. A flexibilidade de realizar experiências virtuais a qualquer hora e em qualquer lugar, sem depender de equipamentos físicos, torna essa ferramenta especialmente valiosa no contexto do ensino a distância, onde os alunos podem ter diferentes níveis de acesso a recursos e infraestrutura. Nesse contexto é importante ressaltar que os LVs não apenas complementam o ensino modular a distância, mas também se tornam uma solução crucial para garantir a continuidade da aprendizagem em contextos de

isolamento social, como foi com a pandemia de COVID-19, e em situações de desigualdade no acesso a recursos educativos.

Por fim, Yakob et al. (2023) destacam os LVs como uma ferramenta central na aplicação de um instrumento de avaliação autêntica no ensino de química, com o objetivo de melhorar o desempenho científico dos alunos. Neste caso, os LVs não servem apenas como complemento, mas desempenham um papel fundamental no processo de avaliação, permitindo que os alunos realizem tarefas experimentais, formulem variáveis e compreendam conceitos de maneira mais profunda.

Qual é o impacto dos LVs no desempenho dos alunos e no desenvolvimento de competências em ciências no ensino secundário?

A análise dos artigos revela que os LVs têm um impacto positivo e multifacetado no desempenho dos alunos e no desenvolvimento de competências em ciências no ensino secundário.

Manyilizu (2023) revela que a exposição prévia a um LV, seguida por práticas em papel, melhora significativamente o desempenho dos alunos em experiências práticas reais de química. O estudo demonstrou que esta ordem específica de atividades de aprendizagem é crucial para a obtenção dos resultados positivos. A pesquisa sugere que a natureza interativa dos LVs é particularmente benéfica pois facilita o seu envolvimento e conexão com o conteúdo de forma mais profunda. Além disso, estes permitem a manipulação de variáveis e a observação dos resultados em tempo real, proporcionando uma experiência de aprendizagem mais tangível e memorável.

Por sua vez, Amin e Ikhsan (2021) enfatizam que alunos que utilizaram LVs baseados em s-SL (Semi Second Life) demonstraram melhor desempenho em testes de pensamento de ordem superior, quando comparados a métodos tradicionais em laboratórios físicos. Essa superioridade sugere que a imersão e a interatividade dos LVs estimulam um envolvimento mais profundo, promovendo uma aprendizagem de qualidade superior.

Complementando essas conclusões, o estudo conduzido por Padios Jr. e Tobia Jr. (2023) explora o impacto dos LVs em contextos de ensino a distância, revelando que a combinação destes com módulos de aprendizagem (módulos fornecidos em formato digital) resulta em um desempenho significativamente melhor em física. A análise estatística confirma que essa modalidade oferece ganhos superiores, principalmente ao fornecer aos alunos a oportunidade de aplicar conceitos abstratos em contextos práticos, o que reforça a aprendizagem. O estudo também mostra que a combinação de laboratórios físicos e módulos melhora a metacognição, sugerindo que experiências práticas com materiais reais auxiliam na capacidade dos alunos de monitorizar e regular a sua própria aprendizagem.

Por fim, Yakob et al. (2023) demonstram que o uso de LVs conduz a um desempenho científico significativamente melhorado. Através da avaliação autêntica, utilizando folhas de observação e portfólios, os investigadores constataram que os alunos que utilizaram LVs demonstraram maior capacidade para formular problemas, planejar procedimentos de trabalho, analisar dados experimentais e elaborar conclusões. A visualização de conceitos abstratos e a experimentação

com diferentes variáveis oferecem aos alunos uma compreensão mais profunda dos princípios científicos, além de aumentar o seu interesse e motivação.

Assim, os resultados evidenciam que os LVs são ferramentas eficazes tanto para melhorar o desempenho académico como para desenvolver competências críticas e práticas nos alunos, tornando-se uma estratégia valiosa para o ensino de ciências no ensino secundário.

Como os LVs contribuem para superar as barreiras estruturais e de infraestrutura no ensino de ciências em diferentes contextos socioeconómicos?

Os artigos analisados sugerem que os LVs contribuem para superar os altos custos da infraestrutura dos laboratórios físicos, mesmo que de maneira implícita nos textos, proporcionando uma alternativa acessível para as experiências no ensino de Ciências, além de garantir a continuidade da aprendizagem em contextos com recursos socioeconómicos limitados.

Manyilizu (2023) argumenta que os LVs apresentam-se como uma solução promissora para superar as barreiras estruturais e de infraestrutura que impedem a realização de aulas práticas de química em escolas secundárias da Tanzânia. O autor argumenta que os LVs permitem a realização de experiências práticas sem a necessidade de investimento em infraestruturas físicas e reagentes dispendiosos, tornando o ensino prático mais acessível em contextos socioeconómicos desfavorecidos. Além disso, os LVs eliminam a necessidade da presença física de professores e alunos durante as aulas práticas, o que facilita o acesso à educação em situações de confinamento ou em locais com escassez de professores qualificados.

Já no estudo conduzido por Amin e Ikhsan (2021) numa escola secundária em Bangkalan, Indonésia (uma região classificada como 3T - fronteira, remota e subdesenvolvida), demonstrou que a utilização de um LV baseado numa plataforma modificada do Second Life (s-SL) teve um impacto positivo nas capacidades de pensamento de ordem superior dos alunos em relação ao tema do equilíbrio químico. A escassez de laboratórios de química e a falta de recursos e pessoal qualificado levaram os autores a explorar os LVs como alternativa. Os resultados indicam que os LVs podem preencher a lacuna criada pela falta de infraestruturas e recursos, permitindo que os alunos realizem trabalhos práticos, explorem conceitos complexos e desenvolvam capacidades de pensamento crítico, mesmo em contextos socioeconómicos desfavorecidos.

Ainda complementando, o trabalho realizado por Padios Jr. e Tobia Jr. (2023) numa escola secundária nas Filipinas, numa comunidade rural com rendimentos baixos, aborda a dificuldade em implementar o ensino online tradicional devido à falta de acesso à internet e computadores. Neste contexto, os LVs emergem como uma solução, permitindo aos alunos realizar experiências práticas de física sem a necessidade de laboratórios físicos. Os autores exploraram três métodos de ensino à distância: aulas apenas com ensino modular, LVs virtuais combinados com o ensino modular e laboratórios físicos combinados com o ensino modular. Os módulos, em formato PDF estático, eram enviados aos alunos por plataformas de mensagens gratuitas, possibilitando a aprendizagem offline e diminuindo os custos com dados móveis. Os LVs utilizavam um modelo de aprendizagem por inquérito guiado, recorrendo a simulações interativas PhET (um projeto da

Universidade de Colorado Boulder que disponibiliza simulações interativas gratuitas de ciências e matemática). Os resultados revelaram que os LVs melhoraram significativamente a aprendizagem e a metacognição dos alunos. A combinação de LVs com o ensino modular demonstrou-se mais eficaz do que a utilização exclusiva do ensino modular, comprovando a importância dos LVs para superar as limitações de infraestrutura e promover o ensino experimental.

Concluindo, o artigo evidencia como os LVs podem democratizar o acesso ao ensino experimental em física, especialmente em contextos socioeconômicos desfavorecidos, onde as barreiras estruturais e de infraestrutura podem impedir a implementação de laboratórios físicos.

Finalizando os artigos analisados temos o estudo dos autores Yakob et al. (2023) que aborda a necessidade de soluções alternativas para o ensino de ciências, especialmente em contextos onde os recursos são limitados. O artigo reconhece que nem todas as escolas têm acesso a laboratórios físicos bem equipados, o que pode prejudicar a aprendizagem dos alunos. Nesse sentido, o artigo apresenta os LVs como uma solução promissora, pois permitem simular experiências reais de forma interativa e envolvente, sem a necessidade de grandes investimentos em equipamentos e materiais. O estudo foca-se na utilização da plataforma de simulações interativas PhET, que é gratuita e acessível a partir de qualquer dispositivo com ligação à internet. Embora o artigo não entre em detalhes sobre os custos dos LVs em comparação com os laboratórios físicos, a utilização de uma plataforma gratuita como o PhET e a ênfase na necessidade de soluções alternativas para contextos com recursos limitados sugerem que os autores consideram os LVs uma opção mais económica.

O Quadro 3 apresenta uma síntese das principais abordagens dos LVs no ensino secundário, seus impactos no desempenho dos alunos e no desenvolvimento de competências, bem como sua contribuição para a superação de barreiras estruturais e de infraestrutura. Dessa forma, é possível visualizar como os diferentes estudos analisaram o papel dos LVs em diferentes contextos educativos.

Quadro 3. Síntese das abordagens, impactos e contribuições dos Laboratórios Virtuais no ensino de ciências no ensino secundário.

Estudo	Abordagem dos LVs no ensino secundário para as aulas de ciências	Impacto dos LVs no desempenho e desenvolvimento de competências	Contribuição dos LVs para superação de barreiras estruturais e infraestrutura
Manyilizu (2023)	Complemento às aulas práticas tradicionais, permitindo experiência prévia e facilitando a compreensão dos conteúdos.	Melhoria significativa no desempenho dos alunos em atividades práticas reais, facilitando a compreensão dos conteúdos.	Solução para escolas com poucos recursos, permitindo experimentação sem necessidade de infraestrutura física.
Amin e Ikhsan (2021)	Alternativa viável a laboratórios físicos em situações de escassez de reagentes, equipamentos e tempo.	Aprimoramento do pensamento crítico e das competências cognitivas superiores em comparação com métodos tradicionais.	Uso de LVs em regiões remotas e subdesenvolvidas, compensando a falta de laboratórios físicos e recursos materiais.

Padios Jr. e Tobia Jr. (2023)	Ferramenta eficaz no ensino a distância, proporcionando experimentação prática mesmo em ambiente remoto.	Combinação de LVs com módulos digitais melhora o desempenho acadêmico, a fixação de conceitos abstratos e a metacognição.	Alternativa eficaz para comunidades de baixa renda sem acesso contínuo à internet, viabilizando o ensino experimental.
Yakob et al. (2023)	Instrumento central na avaliação autêntica, auxiliando na formulação de variáveis e na compreensão de conceitos científicos	Fortalecimento das competências científicas, aumentando a capacidade de formular problemas, planejar procedimentos experimentais e analisar dados.	Utilização de plataformas gratuitas para democratizar o ensino de ciências, tornando as experiências laboratoriais acessíveis.

Fonte: Elaboração própria

A análise comparativa dos quatro estudos revela padrões comuns e particularidades que ampliam a compreensão sobre o uso de laboratórios virtuais no ensino de Ciências no nível secundário. Em termos de aprendizagem, há consenso quanto ao seu impacto positivo na compreensão conceptual, no pensamento abstrato e no desenvolvimento de competências científicas, como o pensamento crítico e a análise de dados, em consonância com Ramasundaram et al. (2005) e Olympiou et al. (2013). Os estudos também convergem ao apontar os LVs como alternativas viáveis para superar limitações estruturais, como a ausência de laboratórios físicos e as dificuldades do ensino remoto, o que é reforçado por Brinson (2015), ao destacar sua eficácia em contextos de baixa infraestrutura, com benefícios adicionais em acessibilidade e custo. Além disso, todos reconhecem a centralidade da mediação docente para que os LVs sejam efetivamente integrados ao ensino, como apontam Dyrberg et al. (2017), ao relacionar o apoio pedagógico ao engajamento e à autoeficácia dos estudantes. Assim, apesar das abordagens distintas, os estudos oferecem indícios consistentes do potencial dos laboratórios virtuais para enriquecer o ensino de Ciências, desde que inseridos em práticas pedagógicas planejadas e sensíveis ao contexto.

Conclusões

Este estudo explorou o uso de LVs no ensino secundário de ciências, investigando como eles têm sido abordados nas aulas, seu impacto no desempenho e competências dos alunos, e sua contribuição para superar barreiras estruturais em diferentes contextos socioeconômicos. A RSL realizada evidenciou o potencial transformador dos LVs nesta área, particularmente em contextos desafiadores em termos de recursos financeiros, infraestrutura e acesso a laboratórios físicos, sendo essencial para a superação destas barreiras (Ma & Nickerson, 2006; Brinson, 2015). Os LVs funcionam na prática do ensino das ciências tendo impacto na aprendizagem e competências dos alunos, destacando-se o seu potencial como ferramenta pedagógica alinhada com abordagens mais ativas e construtivistas, tal como referido por Ramasundaram et al. (2005).

Assim como Nanjappa e Grant (2003), que evidenciaram a relação complementar entre o construtivismo e a tecnologia referindo que a implementação de um beneficia o outro, a análise dos estudos selecionados nesta RSL revelou que os LVs têm sido utilizados de maneira eficaz como ferramentas complementares (Manyilizu, 2023; Padios Jr. & Tobia Jr., 2023; Amin & Ikhsan, 2021), alternativas (Amin & Ikhsan, 2021) ou centrais no ensino experimental (Yakob et al., 2023), contribuindo para a melhoria do desempenho acadêmico e para o desenvolvimento de competências científicas (Yakob et al., 2023), como o raciocínio hipotético-dedutivo, a análise crítica e a formulação de hipóteses (Santos & Prudente, 2022).

Desta forma, a experiência interativa proporcionada pelos LVs surge como benéfica (Manyilizu, 2023; Amin & Ikhsan, 2021), reforçando evidências já existentes na literatura sobre o seu contributo para uma aprendizagem mais ativa, significativa e centrada no aluno (Ramasundaram et al., 2005). Ao fornecer informações sobre desempenho e possibilitar a estruturação de atividades com suporte gradual e conteúdos multimodais (Chan et al., 2021), estes ambientes favorecem a articulação entre conceitos teóricos e situações reais (Silveira & Vasconcelos, 2023). Em contextos de ensino híbrido, contribuem para integrar teoria e prática, otimizando a aprendizagem e o desenvolvimento de competências de resolução de problemas (Ali & Ullah, 2020; Chan et al., 2021).

Sendo que a falta de laboratórios bem equipados é frequentemente apontada como uma das principais razões para o desinteresse dos alunos (Silva et al., 2018), os resultados mostram que os LVs não apenas enriquecem a experiência educativa ao simular experiências complexas e de difícil execução em ambientes tradicionais (Manyilizu, 2023; Amin & Ikhsan, 2021), mas também promovem um maior envolvimento dos estudantes (Ali & Ullah, 2020; Chan et al., 2021; Yakob et al., 2023).

Assim, os LVs poderão constituir um instrumento valioso para o ensino e a aprendizagem, promovendo a construção ativa do conhecimento e a autonomia do aluno. Além disso, destacam-se como soluções inclusivas e acessíveis, permitindo personalização e um ambiente adaptado promotor de autonomia e participação para alunos com necessidades específicas (Deriba et al., 2024). São flexíveis e escaláveis, sendo uma ferramenta eficaz especialmente em contextos socioeconómicos desfavorecidos e em situações de desigualdade no acesso a recursos educativos (Padios Jr. & Tobia Jr., 2023; Manyilizu, 2023; Ali & Ulla, 2020), onde a ausência de laboratórios físicos adequados comprometeria a formação científica dos estudantes (Amin & Ikhsan, 2021; Ali & Ullah, 2020; Fadda et al., 2022).

É de salientar que a plena integração dos LVs requer atenção à formação docente, visto que a preparação pedagógica e tecnológica dos professores é essencial para a implementação eficaz dessas ferramentas (Ali & Ullah, 2020). Uma vez que a familiarização com tecnologias específicas exige infraestrutura e formação tecnológica apropriada (Sellberg et al., 2024), investimentos em infraestrutura digital e o desenvolvimento de plataformas cada vez mais acessíveis e adaptáveis são cruciais para ampliar o alcance dos LVs.

Por fim, os avanços tecnológicos, como a realidade aumentada e a inteligência artificial, apresentam perspectivas promissoras para a evolução dos LVs, permitindo experiências cada vez mais imersivas e personalizadas. Contudo, para que esses avanços sejam aproveitados na sua totalidade, estudos futuros devem aprofundar a análise sobre o impacto de LVs em diferentes contextos

e disciplinas, assegurando que essas tecnologias continuem a democratizar o acesso ao ensino experimental e a preparar estudantes para os desafios científicos e tecnológicos do século XXI.

Em suma, esta RSL, ao identificar e analisar estudos que se reportam a práticas recentes, valida e expande os pontos apresentados no enquadramento teórico relativamente ao uso dos LVs no ensino das ciências e, ao mesmo tempo, avança no conhecimento sobre a sua utilização no ensino secundário - um nível de ensino historicamente menos representado nos estudos empíricos disponíveis (Brinson, 2015; Fadda et al., 2022; Sellberg et al., 2024). Particularmente após a pandemia de COVID-19, neste nível de ensino, os LVs emergem como uma resposta pertinente aos constrangimentos dos laboratórios físicos e como alternativa/complemento à aprendizagem prática, evidenciando impacto no desempenho e competências dos estudantes e permitindo a superação de barreiras estruturais e de acessibilidade.

Reconhece-se, contudo, como limitação desta RSL, o número reduzido de artigos incluídos. Mais do que uma fragilidade do presente estudo, esta limitação reflete a escassez de produção científica recente e metodologicamente rigorosa centrada no ensino secundário - lacuna essa que esta RSL procura começar a colmatar. Neste sentido, recomenda-se que futuras investigações considerem a ampliação das bases de dados analisadas e/ou o alargamento do intervalo temporal para a inclusão de estudos na amostra.

Contribuições dos autores

Conceptualização: Bruno Salgado Cole, Rute Sónia Loureiro de Moura, Osvaldo Carlos André, Thiciana Silva Sousa Cole e Elisabete Cruz; Metodologia: Thiciana Silva Sousa Cole, Bruno Salgado Cole e Rute Sónia Loureiro de Moura; Software: N/A (não aplicável); Validação: Elisabete Cruz; Análise formal: Bruno Salgado Cole, Rute Sónia Loureiro de Moura, Osvaldo Carlos André e Thiciana Silva Sousa Cole; Investigação: Bruno Salgado Cole, Rute Sónia Loureiro de Moura, Osvaldo Carlos André e Thiciana Silva Sousa Cole; Curadoria de dados: Elisabete Cruz; Escrita - Esboço original: Rute Sónia Loureiro de Moura, Thiciana Silva Sousa Cole e Bruno Salgado Cole; Escrita - Revisão & Edição: Rute Sónia Loureiro de Moura, Thiciana Silva Sousa Cole e Elisabete Cruz; Visualização: Elisabete Cruz; Supervisão: Elisabete Cruz.

Referências

- Ali, N., & Ullah, S. (2020). Review to analyze and compare virtual chemistry laboratories for their use in education. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3563–3574. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00185>
- Amin, D. I., & Ikhsan, J. (2021). Improving higher order thinking skills via semi second life. *European Journal of Educational Research*, 10(1), 261–274. <https://doi.org/10.12973/EU-JER.10.1.261>
- Bearman, M., Smith, C. D., Carbone, A., Slade, S., Baik, C., Hughes-Warrington, M., & Neumann, D. L. (2012). Systematic review methodology in higher education. *Higher Education Research and Development*, 31(5), 625–640. <https://doi.org/10.1080/07294360.2012.702735>

- Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, 87, 218–237. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003>
- Chan, P., Van Gerven, T., Dubois, J.-L., & Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*, 2, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>
- Deriba, F. G., Saqr, M., & Tukiainen, M. (2024). Assessment of accessibility in virtual laboratories: A systematic review. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1351711>
- Dyrberg, N. R., Treusch, A. H., & Wiegand, C. (2016). Virtual laboratories in science education: students' motivation and experiences in two tertiary biology courses. *Journal of Biological Education*, 51(4), 358–374. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1257498>
- Donato, H., & Donato, M. (2019). Stages for undertaking a systematic review. *Acta Medica Portuguesa*, 32(3), 227–235. <https://doi.org/10.20344/amp.11923>
- Fadda, D., Salis, C., & Vivanet, G. (2022). About the efficacy of virtual and remote laboratories in STEM education in secondary school: A second-order systematic review. *Educational, Cultural and Psychological Studies*, 51–72. <https://doi.org/10.7358/ecps-2022-026-fadd>
- Jonassen, D. (1996). O uso das novas tecnologias na educação a distância e a aprendizagem construtivista. *Em Aberto*, 16(70), 70–88. <https://doi.org/10.24109/2176-6673.emaberto.16i70>
- Maldonado, A. de J. E., Balderas, E. R., & Castro, R. D. C. (2022). Enseñanza de la ciencia: Sesiones prácticas bajo el enfoque de investigación dirigida para el fortalecimiento de competencias científicas. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, 12(24). <https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1156>
- Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), Article 7. <https://doi.org/10.1145/1132960.1132961>
- Manyilizu, M. C. (2023). Exploring gender-based effects of virtual laboratory against paper-based practices towards real chemistry practical in Tanzanian secondary schools. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 27(2), 206–221. <https://doi.org/10.1080/18117295.2023.2245997>
- Nanjappa, A., & Grant, M. (2003). Constructing on constructivism: The role of technology. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/255583024>
- OECD (2021). *The State of School Education: One Year into the COVID Pandemic*. OECD Publishing, <https://doi.org/10.1787/201dde84-en>.
- Olympiou, G., Zacharias, Z., & deJong, T. (2012). Making the invisible visible: enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41(3), 575–596. <https://doi.org/10.1007/s11251-012-9245-2>
- Padios, A. C., Jr., & Tobia, M. V., Jr. (2023). Long distance lab affairs: Physics achievement and metacognition effects of distance laboratories in a senior high school in Philippines. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 24(2), 32–46. <https://doi.org/10.17718/tojde.1086870>
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., & McKenzie, J. E. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372, 1–35. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>

- Ramasundaram, V., Grunwald, S., Mangeot, A., Comerford, N. B., & Bliss, C. M. (2005). Development of an environmental virtual field laboratory. *Computers & Education*, 45(1), 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2004.03.002>
- Reis, P. (2024). La educación en ciencias para la transformación social. In D. L. Parga Lozano, P. N. Zapata Castañeda, & R. N. Tuay-Sigua (Eds.), *Educación en ciencias y matemáticas: Contextos, desafíos y oportunidades* (pp. 143–168). Universidad Pedagógica Nacional.
- Santos, M. L., & Prudente, M. (2022). Effectiveness of virtual laboratories in science education: A meta-analysis. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(2), 150–156. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.2.1598>
- Sellberg, C., Nazari, Z., & Solberg, M. (2024). Virtual laboratories in STEM higher education: A scoping review. *Nordic Journal of Systematic Reviews in Education*, 2. <https://doi.org/10.23865/njsre.v2.5766>
- Silva, P. O. da, Krajewski, L. L., Lopes, H. S., & Nascimento, D. O. do. (2018). Os desafios no ensino e aprendizagem da física no ensino médio. *Revista Científica FAEMA*, 9(2), 829–834. <https://doi.org/10.31072/rcf.v9i2.593>
- Silveira, F. A., & Vasconcelos, A. K. P. (2023). Uma revisão sistemática da literatura da interrelação entre experimentação e aprendizagem significativa no ensino da química. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 22(3), 484–507. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=b68365c7-b4a4-3608-a37a-c3047d2c8ee6>
- UNESCO (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379707>
- Yakob, M., Sari, R. P., Hasibuan, M. P., Nahadi, N., Anwar, S., & Islami, R. A. Z. el. (2023). The feasibility of authentic assessment instrument through virtual laboratory learning and its effect on increasing students' scientific performance. *Journal of Baltic Science Education*, 22(4), 631–640. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.631>

Apêndice

Quadro 2. Informações gerais sobre os artigos revisados

Código	Autores/Ano	Título	Objetivo/ Metodologia	Conclusões
A1	Majuto Clement Manyilizu (2023)	Exploring gender-based effects of virtual laboratory against paper-based practices towards real chemistry practical in Tanzanian secondary schools	Explorar os efeitos do LV em comparação com as práticas em papel para a química. Prática real em escolas secundárias da Tanzânia, com foco nas diferenças de gênero. Research Design Estudo Experimental	A exposição combinada a LVs e práticas em papel melhora o desempenho das alunas em sessões práticas reais, especialmente para as alunas quando expostas primeiro ao LV e depois às práticas em papel antes do experimento prático real. Essa melhoria pode estar associada à natureza interativa e agradável do LV, que ajuda as alunas a se conectar e se envolver em cada etapa do processo de aprendizagem.
A2	Dwi Isnaini Amin, Jaslin Ikhsan (2021)	Improving Higher Order Thinking Skills via Semi Second Life	Investigar se um LV é eficaz na melhoria das Habilidades de Pensamento de Ordem Superior (HOTS) de estudantes do ensino secundário em relação ao tema de equilíbrio químico. Abordagem quantitativa. Modalidade de investigação quasi-experimental e delineamento de pós-teste	O uso de LVs tem um impacto significativo no desenvolvimento de HOTS dos estudantes, com diferenças marcantes entre os grupos analisados. Os autores atribuem isso a características do LV, como: a possibilidade de realizar práticas repetidas sem restrições de local ou horário; o incentivo à aprendizagem com erros, permitindo várias tentativas antes de avançar e a integração de explicações em três níveis de representação química (macroscópico, simbólico e submicroscópico), facilitando a compreensão de conceitos complexos, como o equilíbrio químico.
A3	Alfredo C. Padios Jr., Macario V. Tobia Jr. (2023)	Long distance lab affairs: Physics achievement and metacognition effects of distance laboratories in a senior high school in the Philippines	Avaliar a eficácia de diferentes modalidades de ensino a distância, incluindo laboratórios físicos e virtuais a distância, na aprendizagem de física por alunos do ensino secundário. O estudo foca-se especificamente em alunos da área de Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM).	A utilização de laboratórios virtuais como complemento ao ensino modular digital a distância é uma estratégia eficaz para o ensino de física, superando o uso exclusivo de módulos digitais. Embora todas as três modalidades de ensino a distância investigadas tenham demonstrado um aumento significativo nas pontuações de desempenho, apenas um laboratório virtual apresentou pontuações de ganho significativamente maiores em comparação com o uso

A4	Muhammad Yakob, Ratih Permiana Sari, Molani Paulina Hasibuan, Nahadi Nahadi, Sjaeful Anwar e R. Ahmad Zaky El Islami (2023)	The Feasibility of Authentic Assessment Instrument through Virtual Laboratory Learning and Its Effect on Increasing Students' Scientific Performance	Abordagem quantitativa, Investigação Quasi-experimental com pré-teste e pós-teste. Investigar a viabilidade da aplicação de instrumentos de avaliação autêntica em conjunto com a aprendizagem em laboratório virtual para promover o desenvolvimento do desempenho científico dos alunos. Abordagem quantitativa, pesquisa experimental com pré-teste e pós-teste, utilizando grupo experimental e grupo de controle.	exclusivo de módulos. Isso sugere que os laboratórios virtuais, utilizando simulações interativas como as do PhET, contribuíram para uma aprendizagem mais eficaz dos conceitos de física abordados nos módulos. A utilização de instrumentos de avaliação autêntica, como folhas de observação de tarefas e portfólios, combinada com o uso de LVs na plataforma PhET, possibilitou aos alunos demonstrar suas competências e aplicar conhecimentos em situações práticas e significativas. Essa abordagem resultou em um aumento expressivo no desempenho científico dos estudantes, evidenciando-se como uma estratégia eficaz e apropriada para o ensino de Química no nível secundário. Além disso, mostrou-se especialmente vantajosa para avaliar e promover o desenvolvimento das competências científicas dos alunos.
----	---	--	---	--

Fonte: Elaboração própria