

ABORDAGEM CTSA NO ENSINO DE CIÊNCIAS: UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA REGIONAL NO COMBATE AO AEDES AEGYPTI

Mayara Oliveira De Almeida¹, Nayane Maria De Amorim Lima²,
Thayllan Teixeira Bezerra³, Viviane Gomes Pereira Ribeiro⁴,
Malena Gomes Martins⁵, Selma Elaine Mazzetto⁶

Resumo: A formação de cidadãos críticos e engajados em problemas reais é um objetivo central do Ensino de Ciências. Alinhado à perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), este trabalho apresenta um relato de experiência focado na utilização do Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC) como agente larvicida contra o *Aedes aegypti*. A intervenção didática, realizada com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental, foi estruturada em quatro etapas interconectadas: (I) estudo teórico e contextualização do problema; (II) visita técnica ao Núcleo de Controle de Vetores (NUVET); (III) realização de atividades experimentais para validação do potencial larvicida do LCC; e (IV) culminou na socialização dos resultados na Feira de Ciências. Os resultados demonstram que esta abordagem CTSA contribuiu significativamente para o desenvolvimento de habilidades essenciais, como comunicação, organização e,

-
- 1 Laboratório de Produtos e Tecnologia em Processos (LPT), Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza-CE, Brasil. Email: mayaraoalmeida@hotmail.com.
 - 2 Laboratório de Produtos e Tecnologia em Processos (LPT), Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza-CE, Brasil. Email: nayaneal@yahoo.com.br
 - 3 Laboratório de Produtos e Tecnologia em Processos (LPT), Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza-CE, Brasil. Email: thayllanteixeirabezerra@gmail.com
 - 4 Professora no Instituto de Ciências Exatas e da Natureza (ICEN), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (UNILAB), Redenção-CE, Brasil. Email: vivianegpribeiro@unilab.edu.br
 - 5 Professora no Departamento de Química Biológica (DQB), Universidade Regional do Cariri (URCA), Campus Pimenta, Crato-CE, Brasil. Email: malena.martins@urca.br
 - 6 Professora no Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza-CE, Brasil. Email: selma@ufc.br

principalmente, o pensamento crítico na busca por soluções para problemas de saúde pública e socioambientais, utilizando recursos regionais de forma sustentável.

Palavras-chave: ensino de ciências; abordagem ctsa; *Aedes aegypti*; líquido da casca da castanha de caju (LCC).

STSE APPROACH IN SCIENCE TEACHING: THE USE OF REGIONAL BIOMASS TO COMBAT AEDES AEGYPTI

Abstract: The formation of critical citizens engaged in real-world problems is a central objective of Science Teaching. Aligned with the Science, Technology, Society, and Environment (STSE) perspective, this work presents an experience report focused on the use of Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) as a larvicidal agent against *Aedes aegypti*. The didactic intervention, conducted with 9th-grade Elementary School students, was structured into four interconnected stages: (I) theoretical study and problem contextualization; (II) a technical visit to the Vector Control Center (NUVET); (III) experimental activities to validate the larvicidal potential of CNSL; and (IV) the presentation and socialization of the results at the Science Fair. The findings demonstrate that this STSE approach significantly contributed to the development of essential skills, such as communication, organization, and, above all, critical thinking in the search for solutions to public health and socio-environmental problems, utilizing regional resources in a sustainable manner.

Keywords: science education; stse approach; *Aedes aegypti*; cashew nut shell liquid.

1 INTRODUÇÃO

O Ensino de Ciências contemporâneo possui a missão fundamental de promover a formação para a cidadania. Para alcançar esse objetivo, é essencial que as abordagens pedagógicas se ancorem em temáticas do cotidiano dos estudantes, de modo a facilitar a compreensão do conhecimento científico e a estimular reflexões críticas sobre as constantes transformações sociais e ambientais (Da Silva Junior, 2023). Nesse contexto, a perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) emerge como um referencial teórico e metodológico poderoso, pois articula o conhecimento científico com as implicações éticas, sociais e ambientais que dele decorrem, preparando os educandos para um engajamento cívico responsável.

A abordagem CTSA consolidou-se como um desdobramento do movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), que desde as décadas de 1960 e 1970 já promovia discussões críticas sobre os impactos sociais, éticos e políticos da tecnociência. A inclusão explícita da dimensão Ambiente (A) ampliou o escopo teórico e pedagógico, enfatizando a necessidade de compreender essas relações a partir de problemáticas reais, como riscos socioambientais, sustentabilidade e responsabilidade coletiva. Assim, a CTSA constitui uma tendência relevante no Ensino de Ciências por promover um ensino crítico, contextualizado e socialmente comprometido (Fernandes; Pires; Delgado-

Iglesias, 2018; Strieder; Kawamura, 2017) capacitando os estudantes a atuarem de forma responsável e consciente frente aos desafios contemporâneos.

A abordagem CTSA tem como premissa problematizar os conhecimentos a serem ensinados, aproximando o cotidiano do estudante da sala de aula. É frequente que os estudantes não consigam associar os conteúdos curriculares, muitas vezes ministrados de forma abstrata, às questões reais, virtuais ou concretas, que encontram em seu dia a dia. Nesse sentido, a CTSA surge como uma ferramenta essencial, pois auxilia na construção dos conhecimentos, habilidades e valores necessários para que os estudantes possam tomar decisões responsáveis e atuar efetivamente na solução de questões de Ciência e Tecnologia na sociedade (dos Santos; Mortimer, 2000).

Essa perspectiva está em consonância com a Base Nacional Comum Curricular-BNCC (Brasil, 2017), que propõe a discussão do papel do conhecimento científico e tecnológico na organização social, nas questões ambientais, na saúde humana e na formação cultural (p. 551). A finalidade central da abordagem CTSA no Ensino de Ciências é proporcionar uma visão integrada entre Ciência e Tecnologia, evidenciando seus impactos recíprocos na Sociedade e no Ambiente (Fernandes; Pires; Delgado-Iglesias, 2018).

É essa integração que promove o desenvolvimento do pensamento crítico, da argumentação científica, do raciocínio e da resolução de problemas, capacitando o estudante a interagir com o meio e a realizar tomadas de decisões conscientes sobre o impacto de suas escolhas. Nesse sentido, a abordagem CTSA oferece ao professor uma alternativa viável para superar o modelo tradicional de ensino, permitindo a organização dos conteúdos em torno de temas sociais relevantes, nos quais o conhecimento científico é inserido e mobilizado na medida em que se torna essencial para a análise crítica, a elaboração de propostas e, fundamentalmente, a resolução dos problemas apresentados em sala de aula (Dos Santos; Mortimer, 2002; Rebello *et al.*, 2012).

A formação de cidadãos críticos, a compreensão das relações entre ciência e seu entorno, e o entendimento dos processos científicos e suas influências na vida cotidiana são frutos de uma educação científica de qualidade, alinhada às demandas do mundo globalizado. No entanto, o domínio isolado do conhecimento científico não é suficiente para o enfrentamento dos complexos problemas socioambientais contemporâneos. A solução dessas questões exige a mobilização e a articulação desse conhecimento com outras habilidades, valores e atitudes, incluindo aspectos tecnológicos, éticos, políticos e culturais (Hodson, 2011; Worldwatch Institute, 2014; UNESCO, 2022).

Nessa perspectiva, e buscando aplicar a abordagem CTSA, este trabalho optou por desenvolver uma temática da área da saúde, escolhendo as arboviroses urbanas transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*. A escolha se justifica pela gravidade dos índices de infestação no país, em especial na cidade de Fortaleza-CE, permitindo contextualizar o ensino a partir das vivências diretas dos estudantes. A região Nordeste do país concentra um alto

número de casos confirmados e em investigação de Dengue, Chikungunya e Zika. Além disso, a Dengue representa um dos maiores problemas de saúde pública no mundo tropical, estando sua proliferação diretamente ligada a fatores ambientais, socioeconômicos e de infraestrutura (Marques *et al.*, 2022; Mota *et al.*, 2024; Silva; Brasil, 2024).

A complexidade da Dengue demanda não apenas ações sanitárias e comportamentais, mas também o investimento em soluções tecnológicas avançadas. Nesse sentido, um marco recente na Saúde Pública brasileira foi a aprovação pela ANVISA, em 2025, da vacina 100% nacional contra a Dengue, desenvolvida pelo Instituto Butantan (Brasil, 2025). Contudo, na perspectiva CTSA, o enfrentamento das arboviroses não pode ser solucionado exclusivamente pela inovação tecnológica. A persistência dos altos índices de infestação e a ligação direta da doença com fatores de infraestrutura e educação reforçam a necessidade de soluções complementares, regionais e de baixo custo, que promovam o engajamento comunitário e a sustentabilidade no controle do vetor.

Seguindo essa tendência, buscou-se articular a construção do conhecimento dos estudantes através da abordagem CTSA, com foco no combate às larvas do mosquito *Aedes aegypti*. Para tal, optou-se pela investigação do potencial larvicida do LCC, uma biomassa abundante e única da região Nordeste do Brasil. O estudo envolveu a preparação e aplicação de microcápsulas de pectina cítrica contendo o LCC, fundamentando-se em pesquisas anteriores que já comprovam a eficácia do LCC como potencial larvicida no combate à Dengue Mazzetto *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2019; Lomonaco; Mele; Mazzetto, 2017).

Neste cenário, o presente artigo tem como objetivo apresentar um relato de experiência dessa intervenção didática, baseada na abordagem CTSA, que articulou o conhecimento sobre arboviroses urbanas com a investigação do LCC microencapsulado no combate ao *Aedes aegypti*. O foco do trabalho foi indicar a contribuição para a formação crítica e o desenvolvimento de habilidades de pesquisa em estudantes do Ensino Fundamental, evidenciando a viabilidade de integrar tecnologia de baixo custo com a promoção da cidadania.

2 METODOLOGIA

Se configura como um relato de experiência de natureza qualitativa. Os dados foram coletados durante a intervenção didática com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental, e consistiu na aplicação de uma sequência de atividades experimentais e sociais. A análise das informações seguiu a abordagem da Análise de Conteúdo (Bardin, 2016), estruturada em três fases: i) pré-análise (organização do corpus); ii) exploração do material (codificação dos registros); e iii) tratamento dos resultados e inferência. O critério de categorização baseou-se na recorrência temática e na relevância frente aos objetivos da abordagem

CTSA. Assim, os dados foram agrupados em três categorias analíticas definidas *a posteriori*: 1) Percepção socioambiental e de saúde pública (focada nos relatos sobre arboviroses e visita ao NUVET); 2) Relação entre conhecimento científico e tecnologia regional (focada na investigação do LCC e microencapsulamento); e 3) Engajamento, protagonismo e motivação acadêmica (focada nas atitudes dos estudantes e na conexão escola-universidade). Esta sistemática permitiu a descrição sistemática das ideias e a interpretação fundamentada dos dados obtidos.

O estudo foi realizado em uma escola pública de grande porte da rede Municipal de Ensino de Fortaleza/CE, Escola Municipal Manuel Lima Soares, que atende aproximadamente 900 estudantes (Ensino Fundamental, EJA e Educação Infantil). A intervenção didática envolveu os 35 estudantes do 9º ano em atividades desenvolvidas em diferentes espaços: a escola, o Laboratório de Produtos e Tecnologia em Processos da Universidade Federal do Ceará (LPT/UFC) e, notadamente, o Núcleo de Controle de Vetores (NUVET) da Secretaria Municipal de Saúde de Fortaleza (SMS), onde foi conduzida uma visita técnica essencial para o enquadramento do problema.

Na intervenção, a experimentação foi concebida não como atividade prática ilustrativa, mas como uma estratégia pedagógica de caráter investigativo e contextualizado conforme preconizado pela Educação Científica Crítica (Chassot, 2016; De Carvalho, 2013; Santos; Schnetzler, 2003; Sasseron; 2020) e alinhada aos pressupostos da Abordagem CTSA. Essa perspectiva posicionou o estudante como protagonista no processo de formular hipóteses, testar ideias e construir significados, promovendo a essencial integração Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) na realidade do combate ao *Aedes aegypti*. A coleta de dados se baseou em uma abordagem qualitativa com observação participante (Zanette; 2017) e no registro sistemático das atividades pelos estudantes e professor em cadernos de campo/pesquisa, que serviram como principais fontes de análise.

Etapas da intervenção didática: Foi estruturada ao longo de dois meses e organizada em quatro momentos principais, concebidos sob a ótica da CTSA para integrar teoria e prática social, de acordo com a seguinte sequência didática: (I) Contextualização e discussão inicial da temática com os estudantes; (II) Visita Técnica (conexão com a realidade social/institucional), (III) Atividades Experimentais (investigação do LCC/Tecnologia), e (IV) Apresentação dos Resultados (comunicação e tomada de decisão). Durante todo o processo, os estudantes mantiveram registros detalhados de suas observações, discussões e conclusões em seus cadernos de campo, que constituíram o corpus central da análise qualitativa.

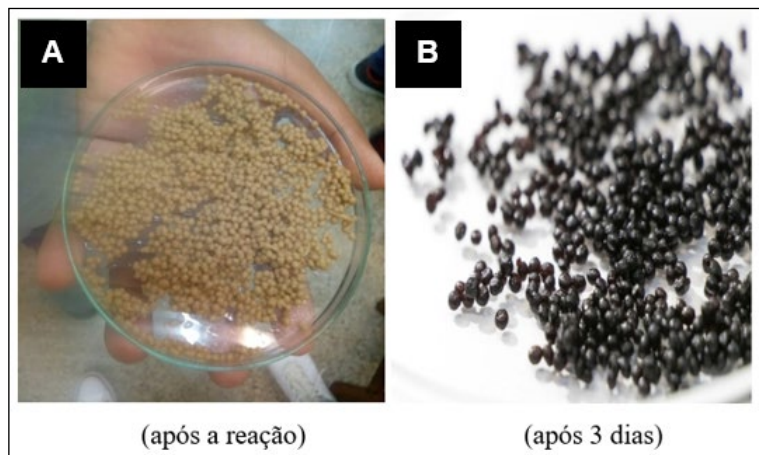
Contextualização e discussão inicial da temática: O primeiro momento consistiu em aulas expositivas dialogadas para estabelecer a base teórico-conceitual do projeto. O conteúdo foi dividido em dois eixos, explicitamente alinhados à perspectiva CTSA: (1) O Caju e o LCC: Abordou-se a cadeia

produtiva (cultivo e agronegócio), a química da biomassa e as implicações socioambientais do descarte, destacando-se as potencialidades tecnológicas do LCC. Esta discussão foi enriquecida por um vídeo sobre o beneficiamento da castanha e uma demonstração experimental de Cromatografia. (2) *Aedes aegypti* e a Saúde Pública: Foram tratados o vetor, as arboviroses e a gravidade da situação epidemiológica local. A novidade e a forte implicação social e ambiental dos temas estimularam questionamentos espontâneos e mediações construtivistas, promovendo a autonomia intelectual e a reflexão crítica dos estudantes.

Visita técnica: O segundo momento consistiu na visita técnica ao NUVET-CE, órgão da Secretaria de Saúde do Ceará responsável pelo controle de endemias. Esta atividade, essencial na perspectiva CTSA para conectar o conteúdo à prática institucional, envolveu quatro estudantes devido a restrições de acesso ao órgão. Na visita, os estudantes aprofundaram-se no ciclo de vida e nas estratégias de prevenção do *Aedes aegypti*, com forte ênfase na mobilização social. As informações detalhadas foram registradas pelos participantes para posterior socialização e discussão com o restante da turma.

Atividades experimentais: Foi conduzido com o rigor metodológico e a postura de imparcialidade crítica exigidos pela investigação em campo CTSA. Foram realizadas duas experimentações centrais: (1) Eficiência do Larvicida (Escola): Avaliou-se a eficácia larvicida do LCC através da comparação direta com a água sanitária e o detergente (produtos sugeridos por agentes de endemias). Larvas de *Aedes aegypti* de 3º estágio, fornecidas pelo NUVET, foram monitoradas pelos estudantes, que registraram sistematicamente a mortalidade em cada tratamento; (2) Encapsulamento Tecnológico do LCC (UFC): Realizada no LPT-UFC, esta atividade aprofundou a compreensão científica e tecnológica dos estudantes sobre o encapsulamento do LCC. O objetivo foi demonstrar a formação de microcápsulas em matriz de pectina cítrica (polissacarídeo natural) pela técnica de extrusão. O protocolo envolveu a preparação da emulsão encapsulante (pectina, água, Tween 80, LCC) e seu gotejamento em solução reticulante de cloreto de cálcio, visando o estudo da liberação controlada do larvicida, Figura 1.

Figura 1 - Microcápsulas de pectina cítrica contendo o LCC: (A) Imediatamente após a reação e (B) Após três dias para secagem



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As microcápsulas de LCC foram então entregues ao NUVET para a realização dos testes larvicidas em ambiente controlado. Este procedimento, que totalizou 168 horas de monitoramento, seguiu um protocolo rigoroso: 50 larvas de *Aedes aegypti* de terceiro estágio (idade ideal para avaliação) foram transferidas para béqueres com água e tratadas com as micropartículas de LCC encapsulado. Paralelamente, utilizou-se um grupo controle (microcápsulas sem LCC – apenas Pectina/ CaCl_2). A mortalidade das larvas foi monitorada e contabilizada a cada 24 horas, durante 7 dias, fornecendo os dados de eficácia tecnológica e ambiental.

Apresentação dos resultados: O quarto e último momento marcou o ápice da intervenção. Os estudantes socializaram suas descobertas e conclusões na Feira de Ciências, em um processo avaliativo que integrou a análise da autonomia, do trabalho em equipe, da apropriação conceitual e, fundamentalmente, da consciência cidadã desenvolvida. Essa etapa final permitiu a coleta de dados sobre a dimensão atitudinal da abordagem CTSA, encerrando o ciclo de investigação e reflexão sobre um problema socioambiental real.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa, de pesquisa e contextualização, estabeleceu o ponto de partida para a análise da apropriação conceitual e crítica dos estudantes. A orientação inicial incentivou a seleção de fontes confiáveis (jornais, artigos e vídeos institucionais), visando desenvolver a autonomia e a curadoria da informação, aspectos cruciais da dimensão ética da CTSA. A análise das

produções autorais demonstrou que os estudantes foram capazes de abordar os três eixos temáticos propostos: (1) Características biológicas do *Aedes aegypti*; (2) Aspectos clínicos, epidemiológicos e sociais das arboviroses; e (3) Estratégias de prevenção e controle.

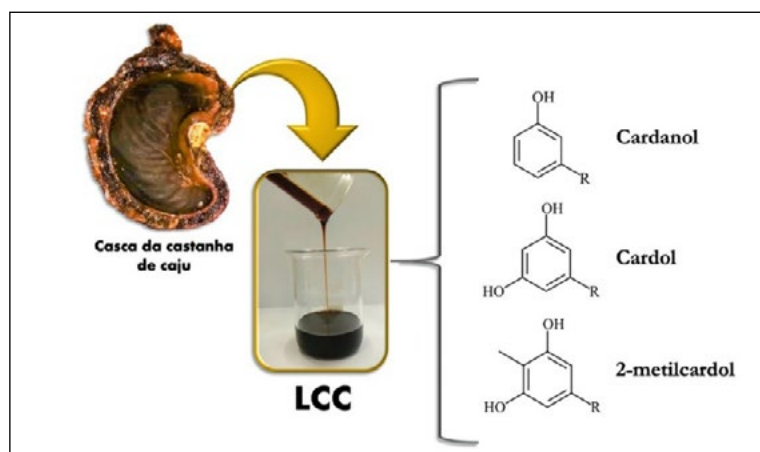
Os resultados da intervenção evidenciaram o desenvolvimento de um pensamento crítico-reflexivo aplicado à realidade. Ao interpretar causas e consequências, os estudantes não apenas sintetizaram as informações, mas articularam o conhecimento científico à problemática de suas comunidades e às condições socioambientais que favorecem a disseminação das doenças. Essa postura, ao conectar a ciência à busca por soluções locais, confirmou o papel da pesquisa como um instrumento formativo que fortalece a consciência cidadã e a tomada de decisão (Brasil, 2017).

Dando continuidade à sequência didática, o caju e o LCC foram introduzidos para estabelecer a relevância da intervenção na perspectiva CTSA. A escolha do LCC foi justificada por sua natureza endêmica da região Nordeste, sua elevada importância socioeconômica e o fato de gerar grandes volumes de resíduo industrial, conectando o conhecimento científico a uma problemática local e ambiental (Embrapa Agroindústria Tropical, 2016; Lomonaco; Mele; Mazzetto, 2017; Mazzetto; Lomonaco, 2009).

Para o aprofundamento do conhecimento, os autores utilizaram uma abordagem integrada, explorando o conteúdo curricular de Separação de Misturas para ilustrar os constituintes do LCC (cardanol, cardol e 2-metilcardol) e sua relevância tecnológica (Mazzetto; Lomonaco, 2009; Lima *et al.*, 2019, 2020; Martins *et al.*, 2025a, 2025b). Essa discussão foi complementada pela exibição de um vídeo sobre Cromatografia em Coluna, técnica utilizada na separação desses constituintes.

Essa integração entre o conhecimento químico e a tecnologia foi fortalecida pela prática e contexto regional. Os estudantes puderam visualizar os aspectos físicos do LCC (líquido escuro, viscoso e cáustico) através do manuseio cuidadoso e da abertura das cascas da castanha, encontrando o mesocarpo esponjoso onde o LCC é armazenado, Figura 2. Essa imersão no tema, combinando a química do resíduo (Separação de Misturas), a tecnologia (Cromatografia, uso potencial do LCC) e o contexto socioeconômico, reforçou a visão da ciência como prática situada e contextualizada.

Figura 2 - Corte transversal da castanha de caju, o LCC técnico e seus constituintes



Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

As observações registradas durante as discussões revelaram um elevado engajamento e motivação dos estudantes, diretamente relacionados à abordagem CTSA. O interesse foi impulsionado pela oportunidade de explorar um método de separação de misturas não convencional (Cromatografia/LCC), diferente do proposto pelo livro didático, e pelo manuseio contextualizado do LCC e das castanhas.

Essa abordagem prática e contextualizada localizou o conteúdo em uma temática regional de importância socioeconômica. Os dados iniciais sinalizam que os estudantes evidenciaram percepções aguçadas sobre as implicações socioambientais do tema e a interdependência entre os desafios do desenvolvimento sustentável e as questões de saúde pública. Tais indícios sugerem um avanço no desenvolvimento da consciência cidadã e da autonomia intelectual promovidas pela intervenção, através da abordagem CTSA e da experimentação contextualizada.

Esses indícios de avanço na criticidade são corroborados pela literatura sobre o enfoque CTSA. Auler & Bazzo, 2001 e dos Santos, 2007, definem CTSA como uma metodologia eficaz para promover a alfabetização científica e a cidadania. A intervenção, ao conectar o conhecimento à realidade socioambiental (LCC e *Aedes aegypti*), estimulou o senso crítico e a capacidade de tomada de decisão responsável, objetivos centrais da abordagem. Ademais, pesquisas mais recentes reforçam essa relevância, apontando que a contextualização e a interdisciplinaridade são fundamentais para que o estudante desenvolva a reflexão sobre problemas reais e a autonomia (Camillo; Graffunder; Timmermann, 2023). Dessa forma, as observações mostram que a CTSA é um caminho pertinente para uma alfabetização científica e tecnológica

que, de fato, engaje o estudante no exercício pleno da cidadania (Amaral; Da Rosa; Locatelli, 2019; Fernandes; Fernandes; Santos, 2024).

Com o aprofundamento do conhecimento sobre o LCC e os aspectos gerais das doenças transmitidas pelo *Aedes aegypti*, a intervenção didática avançou para a Fase II: Visita Técnica ao NUVET (Núcleo de Vigilância Entomológica). O objetivo central dessa etapa foi a investigação prática do vetor. Nas dependências do Laboratório de Entomologia, os estudantes puderam observar diretamente em microscópio as diversas fases do ciclo de vida do mosquito (ovo, larva, pupa e adulto). Os técnicos do NUVET detalharam os aspectos críticos de reprodução, proliferação e transmissão do vetor, além das estratégias de prevenção e controle. A visita ainda ampliou o escopo, fornecendo informações sobre vetores de outras doenças endêmicas, como Esquistossomose, Doença de Chagas e Calazar.

A visita técnica ao NUVET atuou como um espaço de interação social e de mediação do conhecimento. Essa abordagem permitiu que os estudantes construíssem novos significados a partir do contato direto com as práticas reais de vigilância e controle de vetores. A luz da perspectiva sociointeracionista, a aprendizagem se consolida por meio da observação orientada, do diálogo e da troca de experiências (Mortimer; Scott, 2002; Vygotsky, 2007;). A experiência em um ambiente não formal é crucial para que o estudante relacione o conhecimento científico com o cotidiano e impacte atitudes e comportamentos (De Arruda *et al.*, 2021; Falk; Dierking, 2010; Moreira; Plese; Sanches, 2024).

Desse modo, a atividade ampliou a compreensão dos estudantes sobre a interconexão entre ciência, saúde pública e realidade comunitária, reforçando a validade da problematização de temas reais para o desenvolvimento da autonomia e de interpretações próprias no enfrentamento das arboviroses. Essa interação entre estudantes, professores e profissionais do NUVET permitiu que os conteúdos previamente trabalhados ganhassem novos sentidos. O processo promoveu engajamento dos estudantes em uma construção ativa de conhecimento, ancorada em situações concretas do cotidiano, como evidenciado pelos relatos a seguir:

Quando fomos ao NUVET, tivemos um ótimo aprendizado. Vimos várias espécies de insetos, o seu desenvolvimento e algumas curiosidades. Os funcionários também foram ótimos e nos ajudaram a entender todo o ciclo do mosquito *Aedes aegypti*. (Estudante A).

A visita ao NUVET foi importante para que todos os estudantes da escola pudessem ficar conhecendo os cuidados que devemos ter no combate ao mosquito causador de tantas doenças. (Estudante B).

O impacto da visita técnica pôde ser inferido a partir das falas dos estudantes, as quais sugerem a eficácia da experiência em integrar teoria e

prática. As opiniões indicam que a atividade possibilitou tanto a construção de conhecimento conceitual quanto o desenvolvimento da consciência social sobre o problema das arboviroses. O Estudante A parece reforçar o aspecto cognitivo e observacional da visita, destacando o ótimo aprendizado e a visualização do desenvolvimento e algumas curiosidades do *Aedes aegypti*. Esta observação direta contribui para validar o papel da visita como um espaço de mediação (Vygotsky, 2007). Por sua vez, a fala do Estudante B aponta para a dimensão da saúde pública e da atitude, ao afirmar que a visita foi importante para conhecer os cuidados que devemos ter no combate ao mosquito. Este relato é um indício de que o contato com a realidade da vigilância favoreceu a mudança de atitude esperada em ambientes não formais (Falk; Dierking, 2010).

A literatura ratifica essas observações ao defender que a visita técnica é essencial na formação estudantil, pois desenvolve o senso crítico por meio da construção do conhecimento ancorada na realidade (Cascais; Terán, 2014; Silva; Farias; Muhle, 2024; Viceiro; Diniz, 2009). Ao proporcionar o contato direto com contextos reais, essa prática promove mudanças de atitude e a aquisição de saberes complexos de forma interdisciplinar. Tal abordagem é fundamental para consolidar uma visão sistêmica, potencializando o engajamento dos estudantes em temas socioambientais complexos.

Devido às restrições logísticas, a visita técnica ao NUVET não pôde ser estendida a todos os estudantes. Para mitigar esta limitação e estender o conhecimento, os participantes realizaram um seminário na escola para os demais colegas. Esta etapa serviu como uma extensão da mediação social, na qual os estudantes apontaram indícios a construção do conhecimento e o desenvolvimento da oralidade em público. Nessa avaliação, os autores do trabalho puderam inferir que o fato de terem que apresentar o conteúdo a outros, transferindo o saber adquirido, contribuiu para o desenvolvimento da autonomia no processo educativo. Observou-se, também, uma diferença notória na desenvoltura e no aprofundamento do conhecimento por parte dos participantes em relação aos demais. Este resultado reforça a premissa de que a prática de campo estimula o senso crítico e a capacidade de organização do saber, conforme defendido por Moreira (Moreira, 2021).

Dando continuidade a intervenção didática, a Fase III foi dedicada à experimentação do larvicida, em sala de aula, para validação prática do conhecimento adquirido. O primeiro experimento demonstrou a atividade larvicida do LCC, comparando-o com produtos de limpeza domésticos (detergente e água sanitária), conforme o Guia Básico de Dengue/SUCEN-SP (SUCEN, 2024).

O resultado foi significativo: o LCC solubilizado causou 100% de mortalidade das larvas em apenas 10 minutos, um desempenho superior aos demais produtos, que apresentaram mortalidade parcial a partir de 38 minutos. Essa constatação permitiu aos estudantes verificarem o potencial efetivo do

LCC como um subproduto regional para o controle de vetores, crucial para a aproximação entre teoria e prática e o reforço da aprendizagem contextualizada.

Embora os resultados da primeira experimentação tenham comprovado a alta velocidade de ação do LCC (100% de mortalidade em 10 minutos), os estudantes perceberam que apenas a sua aplicação direta não seria suficiente para o controle eficaz do vetor. Baseado no conhecimento adquirido durante a visita técnica ao NUVET, eles recordaram que os ovos do *Aedes aegypti* são extremamente resistentes ao ressecamento, podendo sobreviver por longos períodos (aproximadamente 450 dias) em ambientes secos, devido a um processo natural de impermeabilização que protege o embrião da desidratação (Facchinelli; Athanase; McCall, 2023). Esta resistência permite que os ovos resistam até o período chuvoso para eclosão, elevando o risco de infestação.

Diante da análise dos resultados, e após discussões mediadas pelos autores do trabalho sobre a eficácia do larvicida, os estudantes raciocinaram que a ação rápida do LCC não seria suficiente para permanecer ativo por longos períodos no ambiente, sendo ineficaz contra os ovos resistentes do *Aedes aegypti*. Assim, o larvicida necessitava de uma durabilidade superior ou igual à resistência biológica dos ovos. Nesse ponto, os estudantes realizaram uma analogia crucial, comparando a resistência natural do ovo à necessidade de proteção do larvicida. Eles verbalizaram que a melhor solução seria: Assim como os ovos são protegidos por uma capa para resistir à seca, o LCC também precisava de uma proteção externa para ter maior durabilidade. Esta correlação lógica demonstrou a manifestação de um pensamento crítico sob a ótica da abordagem CTSA (Auler; Delizoicov, 2001; Dos Santos; Mortimer, 2000; Gomes; Hussein, 2025), pois articularam um problema biológico a uma necessidade tecnológica.

A partir dessa percepção dos estudantes, os autores do trabalho introduziram, via mediação pedagógica, o conceito de microencapsulamento. Os estudantes, então, compreenderam a importância da técnica, que consiste em revestir o LCC com uma película protetora para conferir durabilidade e liberação lenta, como uma estratégia essencial para combater a persistência do vetor e impactar a saúde pública (Auler; Delizoicov, 2001). Este raciocínio justificou a próxima etapa da pesquisa, focada na experimentação com o LCC microencapsulado.

A etapa de experimentação foi realizada nas dependências do Laboratório de Produtos e Tecnologia em Processos da Universidade Federal do Ceará (UFC), reconhecido por sua expertise consolidada no desenvolvimento e aplicação tecnológica do LCC (Mazzetto, Lomonaco, 2009; Lomonaco; Mele; Mazzetto, 2017; Almeida *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2019, 2020; Pereira *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2023; Martins *et al.*, 2025b, 2025a; Mazzetto). Antes de iniciar as atividades experimentais, e considerando o rigor do ambiente universitário, os estudantes receberam instruções detalhadas de biossegurança e manuseio de reagentes. O trabalho foi integralmente desenvolvido em capelas com

sistema de exaustão e fluxo de ar controlado, e os estudantes foram munidos de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) necessários para garantir a máxima segurança e integridade durante todo o processo.

O experimento foi conduzido com o auxílio dos professores do LPT e estudantes de pós-graduação. Para a formação das microcápsulas, foi utilizada a pectina cítrica (um polímero natural de polissacarídeo), escolhida por sua menor solubilidade em água e pela baixa interação com o LCC, características ideais para criar uma membrana protetora e resistente, conforme exigido pela etapa anterior da pesquisa. Durante a fabricação das microcápsulas, o comportamento dos estudantes passou por uma transição notória. Embora tenham apresentado apreensão inicial devido ao rigor do ambiente universitário, a orientação adequada converteu esse receio em uma participação investigativa e interessada. Essa mudança de postura, do medo à participação ativa, concretiza um dos objetivos da abordagem CTSA (Gomes; Hussein, 2025): o empoderamento dos estudantes na aplicação prática do conhecimento para resolver problemas sociocientíficos.

Essa imersão configurou-se como uma experiência marcante, conectando a teoria da sala de aula à solução tecnológica que os próprios discentes justificaram como necessária. Os relatos a seguir ilustram o impacto dessa vivência na percepção sobre ciência e futuro acadêmico:

Na UFC visitamos um laboratório de Química, manuseamos alguns equipamentos e criamos as micropartículas do LCC. Com a visita, pude conhecer parte da universidade, achei muito interessante e foi o que me trouxe motivação para ingressar na universidade. (Estudante C).

Eu nunca tinha visitado um laboratório antes e eu realmente me encantei. Espero que tenham mais aulas com experimentos. (Estudante D).

Esses relatos ilustram o impacto da conexão Escola-Universidade e da imersão em laboratório de pesquisa, contribuindo diretamente para a motivação acadêmica e para a construção de conceitos científicos sólidos. Vale ressaltar que o procedimento experimental foi conduzido sob a perspectiva do ensino investigativo, inerente à abordagem CTSA. Desta forma, cada etapa, desde a escolha dos materiais (como a pectina) até a interpretação dos resultados foi planejada, analisada e discutida pelos próprios estudantes e autores do trabalho. Essa participação ativa e o foco na resolução de um problema real de saúde pública favoreceram a aprendizagem significativa (Ausubel, 1963; Moreira, 2012), pois o conhecimento sobre o microencapsulamento e a persistência do vetor foi construído em um contexto de relevância social e tecnológica, tornando-o mais duradouro e aplicável à realidade dos estudantes.

Além disso, essa metodologia, fortemente baseada nos princípios da abordagem CTSA, está plenamente alinhada às diretrizes da BNCC, em especial no que se refere ao letramento científico. A BNCC corrobora que o processo investigativo deve ser mantido como elemento central na formação dos estudantes, através de situações de aprendizagem que partam de questões desafiadoras. O objetivo é, justamente, estimular o interesse e a curiosidade científica dos estudantes, possibilitando-lhes definir e analisar problemas, representar resultados, comunicar conclusões e propor intervenções, ações que foram exercitadas pelos estudantes durante todas as etapas do projeto (Brasil, 2017).

Com as microcápsulas de LCC prontas, a etapa seguinte da investigação foi a comprovação da sua eficácia larvicida prolongada, verificando se a barreira de pectina desenvolvida pelos estudantes resultava na esperada liberação controlada do LCC, mantendo suas propriedades larvicidas iniciais. Para tal, o material foi encaminhado ao NUVET, onde técnicos especializados realizaram a avaliação da atividade larvicida em amostras de larvas do mosquito ao longo de 7 dias.

O resultado demonstrou uma mortalidade de cerca de 50% das larvas adicionadas no período de observação. Cientificamente, este resultado foi altamente relevante, pois sinaliza a ocorrência da desejada liberação lenta e controlada do larvicida. Este mecanismo de liberação permitiu que o composto ativo permanecesse no ambiente por mais tempo, garantindo um processo de prevenção duradouro contra a eclosão dos ovos do mosquito. Com a obtenção e análise desses resultados, os estudantes completaram o ciclo da investigação científica completo dentro da abordagem CTSA, passando da identificação do problema à proposição da solução e, finalmente, à validação experimental da sua eficácia. Essa trajetória investigativa, que vai da teoria à intervenção prática, é a marca central de uma educação em ciências crítica e eficaz (Dos Santos, 2007a, 2007b; Gomes; Hussein, 2025; Sasseron; De Carvalho, 2011), consolidando uma visão integrada e prática da Educação em Ciências.

Após o desenvolvimento e a validação de todas as etapas do trabalho, os resultados foram apresentados à comunidade escolar, reunindo discentes, professores, núcleo gestor, funcionários, responsáveis pelos estudantes e membros da comunidade do entorno. Durante a apresentação, foi nítido o grande entusiasmo dos estudantes e a atenção e empolgação do público, reforçando a importância de eventos de divulgação científica para o aprendizado. Observou-se que a experiência não apenas promoveu o conhecimento científico, mas também desenvolveu habilidades transversais essenciais nos estudantes, como a comunicação escrita e oral, a desenvoltura, a organização do pensamento crítico-reflexivo e a pesquisa científica.

Em função da alta representatividade do trabalho no âmbito escolar, os autores submeteram um resumo para a IX Feira Municipal de Ciências e Cultura de Fortaleza. O trabalho foi aceito, destacando-se entre os 50 melhores

dentre as 289 escolas concorrentes na Etapa Distrital, sendo selecionado para a etapa subsequente. Este reconhecimento institucional e o sucesso das várias etapas do projeto foi um marco para a escola, localizada em um bairro periférico, que nunca havia participado ou tido um trabalho aceito na referida Feira. A visibilidade e as manifestações de interesse geradas pelo projeto demonstram a capacidade da abordagem CTSA de mudar positivamente a rotina e a postura de toda a comunidade escolar.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho evidenciou que a estruturação de uma intervenção didática intencional, alinhada à Abordagem CTSA, é capaz de transformar desafios de saúde pública em objetos de investigação científica escolar. A articulação entre Escola, Universidade e órgãos de saúde (NUVET) permitiu que os estudantes deixassem a posição de espectadores para atuarem como proponentes de soluções tecnológicas sustentáveis e de baixo custo.

A imersão em ambientes de pesquisa de alto nível, como o laboratório da UFC, consolidou-se como o diferencial para a promoção de uma aprendizagem significativa. Para além do domínio de conteúdos curriculares, observou-se o fortalecimento da autoestima e da motivação acadêmica, especialmente pelo caráter inédito da participação de uma escola periférica em feiras científicas municipais. A eficácia larvívora alcançada (50% de mortalidade em 7 dias) validou a hipótese tecnológica de liberação controlada, completando o ciclo da investigação científica sob o olhar crítico dos discentes.

Em suma, o projeto demonstra que o Ensino de Ciências, quando contextualizado e socialmente comprometido, torna-se uma ferramenta de emancipação. A integração da Abordagem CTSA com o Ensino Investigativo não apenas produziu resultados técnicos válidos, mas, fundamentalmente, incentivou jovens a vislumbrarem a ciência como um caminho viável para o seu futuro acadêmico e cidadão.

5 CONFLITOS DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Mayara O. *et al.* Cardol-derived organophosphorothioates as inhibitors of acetylcholinesterase for dengue vector control. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 12, p. 2634–2641, 2019.

AMARAL, Luana Zanelato; DA ROSA, Cleci T. Werner; LOCATELLI, Aline. Educação em Ciências/Química e Alfabetização Científica na Perspectiva da Formação Cidadã: Características e Tendências das Pesquisas Nacionais. **REAMEC**, v. 7, n. 3, p. 297–324, 2019.

AULER, Décio; BAZZO, Walter Antonio. Reflexões para a Implementação do Movimento CTS no Contexto Educacional Brasileiro. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 1, p. 1, 2001.

AULER, Décio; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização Científico-Tecnológica Para quê? **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 3, n. 1, p. 13, jun. 2001.

AUSUBEL, David P. **Teoria da Aprendizagem Significativa**. Nova York: Gruner & Stratton, 1963.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. **Ministério da Educação**, p. 1–154, 2017.

BRASIL. **Anvisa conclui estudo técnico para primeira vacina nacional contra dengue**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2025/novembro/anvisa-conclui-estudo-tecnico-para-primeira-vacina-nacional-contra-a-dengue>>. Acesso em: 6 jan. 2026.

CAMILLO, Cíntia Moralles; GRAFFUNDER, Karine Gehrke; TIMMERMAN, Rafael de Souza. Análise de propostas didáticas que envolvem a interdisciplinaridade e a contextualização no Ensino de ciências. **Revista Contexto & Educação**, v. 38, n. 120, p. e12574, 25 ago. 2023.

CASCAIS, Maria das Graças Alves; TERÁN, Augusto Fachín. Educação formal, informal e não formal na educação em ciências. **Ciência em Tela**, v. 7, p. 1–10, 2014.

CHASSOT, Attico. **A Ciência Através dos Tempos**. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2002.

DA SILVA JUNIOR, Edvargue Amaro. A experimentação no ensino das Ciências da Natureza frente aos desafios da educação contemporânea. **Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFG**, v. 8, n. 1, p. 57–71, 2023.

DA SILVA, Kássia Teixeira *et al.* Bio-based novolac resins from cashew nut processing waste: Alternative resource for the development of high-value sustainable products. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 140, n. 13, 5 abr. 2023.

DE ARRUDA, Adriana Lúcia *et al.* Espaços não-formais na Educação. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 9, p. 1370–1380, 5 out. 2021.

DE CARVALHO, Anna Maria Pessoa. **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2013.

DOS SANTOS, Wildson Luiz Pereira. Educação Científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, n. 36, p. 474–550, 2007a.

DOS SANTOS, Wildson Luiz Pereira. Contextualização no Ensino de Ciências por meio de Temas CTS em uma Perspectiva Crítica. **Ciência & Ensino**, v. 1, p. 1–12, nov. 2007b.

DOS SANTOS, Wildson Luiz Pereira; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciência**, n. 2, p. 110–132, 2000.

EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL. **Sistema de Produção do Cajú**. 2025. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportle...>.

FACCHINELLI, Luca; ATHANASE, Badolo; MCCALL, Philip J. Biology and Behaviour of *Aedes aegypti* in the Human Environment: Opportunities for Vector Control of Arbovirus Transmission. **Viruses**, v. 15, n. 3, p. 1, 1 mar. 2023.

FALK, John H.; DIERKING, Lynn D. The 95 Percent Solution: School is not where most Americans learn most of their science. **American Scientist**, v. 1. nov. 2010.

FERNANDES, Geraldo Wellington Rocha; FERNANDES, Iury Henrique; SANTOS, Danilo Lopes. Alfabetização Científica e Tecnológica como Transformação Social: Uma reflexão para a sua Promoção no Ensino de Ciências a partir de uma tecnologia social. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 26, n. 53183, p. 1–21, 30 set. 2024.

FERNANDES, Isabel Marília Borges; PIRES, Delmina Maria; DELGADO-IGLESIAS, Jaime. Perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade, Ambiente (CTSA) nos manuais escolares portugueses de Ciências Naturais do 6º ano de escolaridade. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 24, n. 4, p. 875–890, dez. 2018.

GATTI, Bernadete Angelina. **Grupo Focal na Pesquisa em Ciências Sociais e Humanas**. Brasília: Líber Livro. Série Pesquisa em Educação., 2005. v. 7

GOMES, Izabele; HUSSEIN, Fabiana R. G. e Silva. CTSA no Ensino de Ciências: Uma Revisão Sistemática das Propostas Educacionais Presente na Literatura. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 25, n. 55152, p. 1–27, 14 mar. 2025.

HODSON, Derek. **Looking to the Future: Building a Curriculum for Social Activism**. Toronto: Sense Publishers, 2011.

INSTITUTO BUTANTAN. **Vacina da dengue do Instituto Butantan, primeira do mundo em dose única, é aprovada pela Anvisa**. 2025. Disponível em: <<https://butantan.gov.br/noticias/vacina-da-dengue-do-instituto-butantan-primeira-do-mundo-em-dose-unica-e-aprovada-pela-anvisa>>. Acesso em: 6 jan. 2026.

LIMA, Nayane Maria Amorim *et al.* Photodynamic effect of palladium porphyrin derived from cashew nut shell liquid against promastigote forms of *Leishmania braziliensis*. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy**, v. 33, 1 mar. 2021.

LIMA, Nayane Maria de Amorim *et al.* Light-emitting porphyrin derivative obtained from a subproduct of the cashew nut shell liquid: A promising material for OLED applications. **Materials**, v. 12, n. 7, 2019.

LOMONACO, Diego *et al.* Study of technical CNSL and its main components as new green larvicides. **Green Chemistry**, v. 11, n. 1, p. 31–33, 1 jan. 2009.

LOMONACO, Diego; MELE, Giuseppe; MAZZETTO, Selma E. Cashew nutshell liquid (CNSL): From an agro-industrial waste to a sustainable alternative to petrochemical resources. **Cashew Nut Shell Liquid: A Goldfield for Functional Materials**. Springer International Publishing, 2017. p. 19–38.

MARTINS, Malena Gomes *et al.* Innovative approach to corrosion protection using cardanol and vanillin porphyrins in alkyd resins. **Journal of Polymer Research**, v. 32, n. 2, 1 fev. 2025a.

MARTINS, Malena Gomes *et al.* Photocatalytic Applications of Cardanol-Derived meso-Metalloporphyrins Based g-C₃N₄ Nanocomposites. **Catalysis Letters**, v. 155, n. 2, 1 fev. 2025b.

MAZZETTO, Selma Elaine; LOMONACO, Diego. Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 732–741, 2009.

MOREIRA, Júnior da Costa; PLESE, Luís Pedro de Melo; SANCHES, Keila Lima. Espaços não formais de educação: importância e contribuições para Educação Profissional e Tecnológica. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, v. 3, n. 24, p. e15211, 20 nov. 2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal Aprendizagem Significativa?** Laguna: Currículum, 2012. v. 2

MOREIRA, Marco Antonio. Ensino de Ciências: Críticas e Desafios. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, 2021.

PEREIRA, Rita C. S. *et al.* From biomass to eco-friendly composites: polyurethanes based on cashew nutshell liquid reinforced with coconut husk fiber. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2022.

REBELLO, Gabriel Antonio Fontes *et al.* Nanotecnologia, um tema para o ensino médio. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 1, p. 3–9, 2012.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; SCHNETZLER, Roseli Pacheco. **Educação em Química: compromissos com a cidadania**. 3. ed. Editora Unijuí, 2003. v. 1

SASSERON, Lucia Helena; DE CARVALHO, Anna Maria Pessoa. Alfabetização Científica: Uma revisão Bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.

SILVA, Renata Priscila; FARIAS, Carmen Roselaine de Oliveira; MUHLE, Rita Paradedá. Da prática de campo da tradição naturalista da Biologia à aula de campo na escola: distanciamentos e aproximações. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 30, n. 240038, p. 1–16, 2024.

STRIEDER, Roseline Beatriz; KAWAMURA, Maria Regina Dubeux. Educação CTS: parâmetros e propósitos brasileiros. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 27, 30 maio 2017.

SUCEN. **Guia Básico de Dengue**. São Paulo: SUCEN-SP, 2019.

THE WORLDWATCH INSTITUTE. **Gobernar para la sostenibilidad. La Situación del Mundo**. Barcelona: Icaria Editorial, 2014.

VICEIRO, Alessandra Aparecida; DINIZ, Renato Eugênio da Silva. As Atividades de Campo no Ensino de Ciências: Reflexões a Partir das Perspectivas de um Grupo de Professores. NARDI, R. (Org.). **Ensino de Ciências e Matemática**. UNESP ed. São Paulo: Scielo Books, 2009. p. 27–42.

VYGOTSKI, L. S. **A Formação Social da Mente**. 4. ed. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora Ltda, 1991.