



VINÍCIUS HENRIQUE SOUZA

**LIMITES DA EDUCAÇÃO CTSA TRADICIONAL FRENTE À
CRISE SOCIOAMBIENTAL**

**LAVRAS – MG
2025**

VINÍCIUS HENRIQUE SOUZA

**LIMITES DA EDUCAÇÃO CTSA TRADICIONAL FRENTE À CRISE
SOCIOAMBIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Ambiental, área de concentração em História e Filosofia da Ciência, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. DSc. Alexandre Bagdonas

Coorientador

Prof. DSc. Breno Pascal de Lacerda Brito

**LAVRAS – MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Vinícius Henrique.

Limites da Educação CTSA tradicional frente à crise socioambiental / Vinícius Henrique Souza. - 2025.

82 p.

Orientador: Alexandre Bagdonas

Coorientador: Breno Pascal de Lacerda Brito

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Educação CTSA. 2. Crise Socioambiental. 3. Marxismo. I. Bagdonas, Alexandre. II. Brito, Breno Pascal de Lacerda. III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

VINÍCIUS HENRIQUE SOUZA

**LIMITES DA EDUCAÇÃO CTSA TRADICIONAL FRENTE À CRISE
SOCIOAMBIENTAL**

**THE LIMITS OF TRADITIONAL STSE EDUCATION IN THE FACE OF THE
SOCIO-ENVIRONMENTAL CRISIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Ambiental, área de concentração em História e Filosofia da Ciência, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de dezembro de 2025.

DSc. Frederik Moreira dos Santos UFBA

DSc. Guilherme da Silva Lima UFMG

DSc. Laíse Vieira Gonçalves Ribeiro UFLA

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE BAGDONAS HENRIQUE**
Data: 19/01/2026 15:14:33-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Orientador
Prof. DSc. Alexandre Bagdonas

Coorientador
Prof. DSc. Breno Pascal de Lacerda Brito

**LAVRAS – MG
2025**

*A Marcos e Mateus, irmãos que a vida me deu,
A Ana, Edu, Gui e Bruno, queridos amigos,
A ela, minha gatinha e eterna metade,
A todos que me apoiaram e acreditaram,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer ao meu melhor amigo e irmão que a vida me deu, Marcos Lúcio, do qual eu não poderia ser mais grato. Obrigado pela companhia, pelas conversas e pelas mesmas broncas de sempre, pelas incontáveis horas de discord, por comprar – quase – todas as minhas ideias malucas, pela presença e parceria. Tamo junto.

Agradeço aos meus companheiros de prodocência – nossa querida salinha de estudos no fundo do departamento – Ana Lima, minha melhor amiga e Mateus “Canudo”, meu irmão mais velho de outra família, respectivamente. Obrigado por serem minha companhia nesse trajeto de mestrado, por terem me escutado falar incansavelmente sobre assuntos aleatórios, pelos quadros rabiscados, pelas teorias compartilhadas e pelos cafês.

Agradeço aos meus demais amigos que essa vida me deu, em especial, Eduardo Bravo, Guilherme Rafael e Bruno Rezende, obrigado por todas as cervejas e momentos de descontração, pelas conversas, recomendações e conversas fiadas, que aliviam fardos muitas vezes pouco aparentes, que faz a vida ser mais leve.

Agradeço ao meu parceiro de café pós-almoço, Prof. Dr. Jefferson Adriano Neves, exemplo de professor, obrigado pelas nossas conversas sobre os mais diversos assuntos e, principalmente, por jogar conversa fora nessa uma horinha sagrada depois do almoço.

Agradeço ao meu psicólogo Lucas Ramos, excelente profissional e pessoa incrível, que conseguiu me mostrar que sempre há uma saída, que sempre tem um jeito, obrigado por me fazer entender que somos mais do que a vida fez com a gente.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Bagdonas, obrigado por toda a paciência em lidar comigo e por me mostrar o caminho das pedras. Agradeço também ao meu coorientador e camarada Prof. Dr. Breno Brito, obrigado por ter aceitado essa coorientação, por responder meus áudios de 7 min. com outro de 15 min. e por sempre acreditar que eu sou muito mais capaz do que realmente sou.

Agradeço aos professores Prof. Dr. Antônio Marcelo, Prof. Dr. Antônio Nascimento Júnior, Profa. Dra. Laíse Ribeiro, Profa. Dra. Marina Festozo. Agradeço às secretárias do DFM/DMM Maria e Magali.

Agradeço a todos que constroem o Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Ambiental – PPGECA. Agradeço à UFLA por toda a estrutura e à FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos, que tornou possível a realização do Mestrado.

Por fim, agradeço aos meus pais, sem os quais nada disso poderia ter acontecido.

*“Eu deixarei que morra em mim o desejo de amar os teus olhos que são doces
Porque nada te poderei dar senão a mágoa de me veres eternamente exausto.*

*No entanto a tua presença é qualquer coisa como a luz e a vida
E eu sinto que em meu gesto existe o teu gesto e em minha voz a tua voz.”*

(Ausência - Vinícius de Moraes)

RESUMO

Nesta dissertação realizamos uma análise do campo da Educação CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente) no contexto da crise socioambiental contemporânea, propondo uma radicalização da crítica do campo baseada em um referencial marxista. A investigação, desenvolvida na estrutura multipaper, é composta por duas pesquisas complementares – uma revisão bibliográfica sistematizada que mapeou e analisou 23 trabalhos da produção nacional entre 2014 e 2024, e um ensaio teórico que responde às lacunas identificadas. Para a realização da revisão bibliográfica, utilizamos as seguintes bases de dados: Portal de Periódicos da Capes, SciELO e Scopus, selecionamos artigos em português do Brasil, revisados por pares, que se filiem explicitamente à Educação CTSA e que trataram da temática ambiental de forma central. Os resultados da revisão mostram que a maior parte dos artigos analisados (17 dos 23) apresenta dificuldades em articular concretamente a problemática socioambiental com as estruturas econômicas, políticas e sociais capitalistas, predominando visões de Meio Ambiente que aproximam-se das macrotendências conservadoras da Educação Ambiental, que ao reduzirem a crise socioambiental à questões administrativas e individualizadoras, acabam por despolitizar sua análise. O ensaio teórico, diante desse diagnóstico, avança na construção de uma fundamentação para uma Educação CTSA Radical, articulando categorias do referencial marxista – tanto da crítica da economia política marxista, quanto da ecologia marxista – para compreender a crise socioambiental como expressão da própria dinâmica de acumulação capitalista e o desenvolvimento científico-tecnológico estando estruturalmente condicionado por essa lógica.

Palavras-chave: Educação CTSA; Crise Socioambiental; Marxismo.

ABSTRACT

In this dissertation, we conduct an analysis of the field of STSE Education (Science, Technology, Society, and Environment) within the context of the contemporary socio-environmental crisis, proposing a radicalization of the field's critique based on a Marxist framework. The investigation, developed in a multi-paper structure, consists of two complementary studies – a systematic literature review that mapped and analyzed 23 works from Brazilian national production between 2014 and 2024, and a theoretical essay that addresses the identified gaps. To carry out the literature review, we used the following databases: Capes Journal Portal, SciELO, and Scopus, selecting Brazilian Portuguese articles, peer-reviewed, that explicitly align themselves with STSE Education and centrally address the environmental theme. The review results show that most of the analyzed articles (17 out of 23) present difficulties in concretely articulating the socio-environmental issue with capitalist economic, political, and social structures, with prevailing views of the Environment that approach the conservative macro-tendencies of Environmental Education. By reducing the socio-environmental crisis to administrative and individualizing issues, these views end up depoliticizing its analysis. The theoretical essay, in light of this diagnosis, advances the construction of a foundation for a Radical STSE Education, articulating categories from the Marxist framework – both from the critique of Marxist political economy and from Marxist ecology – to understand the socio-environmental crisis as an expression of the very dynamics of capitalist accumulation, with scientific and technological development being structurally conditioned by this logic.

Keywords: STSE Education; Socio-Environmental Crisis; Marxism.

INDICADORES DE IMPACTO

Esta dissertação apresenta impactos em potencial nos campos educacional, social e ambiental, ao propor uma radicalização crítica do campo da Educação CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente) com base no referencial marxista. Ao diagnosticar as limitações da produção nacional recente na articulação entre crise socioambiental e estruturas capitalistas, e ao avançar na fundamentação de uma Educação CTSA Radical, o trabalho oferece subsídios teóricos para a transformação de práticas pedagógicas e políticas educacionais. Os impactos sociais e culturais manifestam-se na promoção de uma educação científica crítica, capaz de formar cidadãos e educadores para uma compreensão estrutural da crise socioambiental, superando visões individualizantes e tecnicistas. No âmbito extensionista, a pesquisa dialoga indiretamente com a sociedade por meio da divulgação científica e da formação de professores, podendo beneficiar comunidades educacionais e grupos sociais em contextos de vulnerabilidade socioambiental, como atingidos por crimes ambientais. O território de abrangência prioritária é o Brasil, com ênfase em educadores, estudantes da educação básica e superior e movimentos sociais. A área temática de enquadramento principal é a Educação, com forte interface com Meio Ambiente e Direitos Humanos e Justiça. Os resultados alinham-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial ao ODS 4 (Educação de Qualidade), ao fomentar uma educação inclusiva e crítica, e ao ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao questionar o modelo de desenvolvimento hegemônico. Ademais, contribui para o ODS 10 (Redução das Desigualdades) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao evidenciar as assimetrias do imperialismo ecológico e a urgência de respostas estruturais à crise socioambiental.

IMPACT INDICATORS

This dissertation presents potential impacts in the educational, social, and environmental fields by proposing a critical radicalization of the STSE Education (Science, Technology, Society, and Environment) field based on a Marxist framework. By diagnosing the limitations of recent national production in articulating the socio-environmental crisis with capitalist structures, and by advancing the theoretical foundation for a Radical STSE Education, this work provides theoretical subsidies for the transformation of pedagogical practices and educational policies. The social and cultural impacts are manifested in the promotion of a critical science education, capable of training citizens and educators for a structural understanding of the socio-environmental crisis, overcoming individualizing and technocratic views. In the context of outreach, the research indirectly dialogues with society through scientific dissemination and teacher training, potentially benefiting educational communities and social groups in contexts of socio-environmental vulnerability, such as those affected by environmental crimes. The primary territory of focus is Brazil, with an emphasis on educators, basic and higher education students, and social movements. The main thematic area of focus is Education, with a strong interface with Environment and Human rights and justice. The results are aligned with the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs), in particular SDG 4 (Quality Education), by fostering an inclusive and critical education, and SDG 12 (Responsible Consumption and Production), by questioning the hegemonic development model. Furthermore, it contributes to SDG 10 (Reduced Inequalities) and SDG 13 (Climate Action), by highlighting the asymmetries of ecological imperialism and the urgency of structural responses to the socio-environmental crisis.

SUMÁRIO

1. Introdução Geral.....	11
1.1 O movimento CTSA na Educação Científica.....	11
1.2. A crise socioambiental como central para a Educação CTSA.....	17
ARTIGO 1 - Revisão Bibliográfica do campo da Educação CTSA Brasileira (2014-2024) – Perspectivas sobre a Crise Socioambiental.....	20
1. Introdução.....	20
2. Metodologia.....	24
2.1 Bases de dados, critérios e identificação dos trabalhos.....	25
2.2 Categorias de análise.....	26
3. Constituição do Corpus.....	29
4. Resultados e Discussões.....	31
4.1 Questões Ambientais e a Organização da Sociedade.....	34
4.2 Visões de Meio Ambiente com base na Educação Ambiental.....	39
5. Considerações Finais.....	45
Referências.....	46
ARTIGO 2 - A crise socioambiental e o desenvolvimento C&T – por uma Educação CTSA Radical.....	50
1. Introdução.....	50
2. Algumas categorias basilares do referencial marxista.....	54
3. O desenvolvimento C&T e a crise socioambiental.....	60
3.1 Subordinação do desenvolvimento C&T à acumulação de capital.....	60
3.2 Ruptura Metabólica e Paradoxo da Eficiência.....	62
3.3 Imperialismo Ecológico e a negociação dos “direitos” de poluir.....	65
4. Por uma Educação CTSA Radical – a radicalização da crítica.....	69
5. Considerações Finais.....	73
Referências.....	74
Considerações Finais Gerais.....	77
Referências Gerais.....	78

1. Introdução Geral

1.1 O movimento CTSA na Educação Científica

O movimento CTSA, de forma geral, tem suas raízes em uma insatisfação generalizada em relação aos rumos que a sociedade tomou em nome do desenvolvimento científico e tecnológico. Nessa perspectiva, a crítica em relação às concepções neutras da C&T, bem como seus propósitos e interferências na sociedade é essencial para uma compreensão aprofundada das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Assim, é constituído um campo de estudos sobre a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade que, possuindo caráter interdisciplinar, abrange diversas áreas como: sociologia do conhecimento científico, filosofia da ciência e tecnologia, economia e educação (Linginsen, 2007; Strieder, 2012; Lima Junior et al., 2014).

A partir do destaque a perspectiva social da ciência, a diversidade das perspectivas dentro do movimento CTSA possuem algumas bases comuns (García et al., 1996; apud Strieder, 2012; Cerezo, 1988).

- i) crítica à concepção de ciência como atividade pura e neutra;
- ii) crítica à concepção de tecnologia como ciência aplicada e neutra;
- iii) crítica à tecnocracia
- iv) promoção e reconhecimento da importância da participação pública nas tomadas de decisões.

É fundamental destacar que, como aponta Santos (2008) observa-se que o movimento CTSA surgiu nos chamados países de “desenvolvidos”, nos países centrais do sistema capitalista, em que a preocupação se voltava aos impactos tecnológicos na sociedade e suas consequências ambientais. Nos países “em desenvolvimento”, periféricos do sistema capitalista, além desses problemas, a dominação do atual modelo de desenvolvimento acarreta em uma sujeição política-econômica aos países centrais do capitalismo o que gera, do ponto de vista global, uma divisão desigual do trabalho e da concentração de capital. Dessa forma, os países periféricos concentram a atividade produtiva da extração de matérias primas e sua exportação aos países centrais, que ocupam lugar privilegiado na dinâmica do capitalismo global por deter o controle do monopólio da tecnologia.

Nesse contexto de distinção do movimento CTSA nos países de “primeiro” e de “terceiro” mundo, também em meados de 1960/1970 surge na América Latina o que Dagnino, Thomas e Davyt (1996) denominam por Pensamento Latinoamericano em Ciência, Tecnologia e Sociedade (PLACTS), que tinha como foco a crítica às políticas relacionadas à C&T implementadas na região, que desconsideravam demandas locais, visto que eram advindas dos países centrais do sistema capitalista, através da importação/transferência de tecnologia. Essas políticas baseavam-se no modelo linear de desenvolvimento, em que se acredita que o desenvolvimento científico, gera desenvolvimento tecnológico, que gera desenvolvimento econômico, findando no desenvolvimento social; dessa forma, mascara-se as origens do problema de desigualdade social e atribui uma perspectiva salvacionista à C&T (Linsingen, 2007; Auler; Delizoicov, 2015).

Tanto no contexto dos países centrais e periféricos o desenvolvimento dos estudos em CTSA se deu em três frentes principais: no *campo acadêmico*, com o estudo da natureza social da ciência e tecnologia; no *campo das políticas públicas*, com a defesa de uma maior participação social nas tomadas de decisões e no *campo da educação*, através da defesa de um ensino contextualizado, voltado para a formação cidadã e o entendimento das relações entre ciência, tecnologia e sociedade; motivado sobretudo pela indignação por parte dos educadores que viam o ensino demasiadamente focado na formação de cientistas (Cerezo, 1988; Santos, 2012; Strieder, 2012).

No campo da educação científica, a abordagem CTSA visa promover a conexão dos conteúdos científicos com problemas sociais e ambientais; de modo que os conteúdos científicos sejam abordados de forma interdisciplinar e contextualizada com suas realidades particulares das(os) estudantes e com os problemas da sociedade contemporânea de modo geral, através da discussão conjunta de seus aspectos sociais, políticos e econômicos. Dessa forma, pretende-se auxiliar as alunas e os alunos no desenvolvimento de conhecimentos, valores e habilidades que os preparem a participar de forma ativa do diálogo sobre as implicações sociais, éticas e ambientais da C&T em suas vidas e na sociedade em geral (Auler; Delizoicov, 2001; Linsingen, 2007; Santos, 2012; Conrado, 2017).

As propostas que possuem como base a educação CTSA e que se utilizam desse movimento para estruturar ações pedagógicas, acabam diferindo em suas estratégias, abordagens, pressupostos e objetivos; tanto no que diz respeito a como articular os conteúdos científicos com as discussões características de CTSA, quanto em relação aos pressupostos

políticos sobre a relação entre ciência e sociedade que guiam a elaboração e desenvolvimento de atividades didáticas. Nesse sentido, existem diversas classificações com o objetivo de organizar/categorizar as propostas de educação CTSA, como as de López e Cerezo (1996), Aikenhead (1994), Pedretti e Nazir (2011) e Auler e Delizoicov (2001).

López e Cerezo (1996) olhando para a forma que os conteúdos científicos e as discussões CTSA são articuladas, classificam os materiais em três categorias: i) *Enxerto CTSA*, em que temas CTSA são introduzidos de forma secundária sem alterar a abordagem tradicional dos conteúdos; ii) *Ciência por meio de CTSA*, em que os conteúdos científicos são abordados a partir de temas CTSA, que por sua vez possuem mais destaque; iii) *CTSA puro*, em que as discussões CTSA são o foco central e os conteúdos científicos possuem uma posição secundária.

Aikenhead (1994) também olhando para a relação entre os conteúdos científicos e a discussão CTSA, classifica os materiais em oito categorias indo desde a utilização do conteúdo CTS enquanto elemento motivador e esporádico para o estudo dos conteúdos científicos, até o estudo do conteúdo CTS por um viés sociológico, em que os conteúdos científicos se apresentam de forma secundária:

i) *Motivação pelo conteúdo CTSA*, conteúdo científico escolar tradicional, mas com menção a discussões CTSA com o objetivo de tornar a aula mais interessante. Estudantes não são avaliados no conteúdo CTSA.

ii) *Infusão casual de conteúdo CTSA*, conteúdo científico escolar tradicional, com breve estudo de discussões CTSA associados ao tópico de ciências, conteúdo CTSA não segue temas coesos. Estudantes são avaliados principalmente no conteúdo de ciência e de forma superficial nas discussões CTSA (5%/95%).

iii) *Infusão proposital de conteúdo CTSA*, conteúdo científico escolar tradicional, com pequenos estudos das discussões CTSA integradas aos tópicos de ciências, conteúdo CTSA forma temas coesos. Estudantes são avaliados em certa medida pelo seu entendimento das discussões CTSA (10%/90%).

iv) *Disciplina única através do conteúdo CTSA*, o conteúdo CTSA serve como organizador para o conteúdo de ciências, entretanto o conteúdo científico é disciplinar e único (física, química ou biologia). Estudantes são avaliados em sua compreensão das discussões CTSA, mas não tão extensivamente quanto no conteúdo científico (20%/80%).

v) *Ciência através do conteúdo CTSA*, conteúdo CTSA serve como organizador para o conteúdo de ciências, o conteúdo de ciências é tratado de forma multidisciplinar, guiado pelas discussões CTSA. Estudantes são avaliados em sua compreensão das discussões CTSA, mas não tão extensivamente quanto no conteúdo científico (30%/70%).

vi) *Ciência junto com o conteúdo CTSA*, conteúdo CTSA é o foco do processo de ensino, o conteúdo científico enriquece a aprendizagem. Estudantes são avaliados de forma parêlha entre discussões CTSA e conteúdo científico (50%/50%).

vii) *Infusão das ciências no conteúdo CTSA*, conteúdo CTSA é o foco do processo de ensino, o conteúdo científico relevante é mencionado mas não ensinado sistematicamente, pode-se dar ênfase a princípios científicos amplos. Estudantes são avaliados principalmente nas discussões CTSA e parcialmente no conteúdo de ciências (80%/20%).

viii) *Conteúdo CTSA*, conteúdo CTSA é o foco do processo de ensino-aprendizagem, em geral um grande problema social-tecnológico é estudado, o conteúdo científico é mencionado apenas para indicar vínculo existente com a ciência. Estudantes não são avaliados de forma apreciável no conteúdo de ciências.

Pedretti e Nazir (2011) identificam diversas correntes na educação CTSA, cada uma possuindo diferentes perspectivas, focos e objetivos para a educação científica, essas correntes não possuem uma relação hierarquizada entre si, cada uma possui suas próprias potencialidades e limitações. Essas tendências abordam diferentes aspectos da educação CTSA e dessa forma, mesmo que algumas possam parecer contraditórias, podem influenciar uma mesma proposta educacional em diferentes níveis:

i) *aplicação/design*, em que o foco é a aplicação de conhecimentos científicos para resolver problemas do cotidiano;

ii) *histórica*, em que o foco é o entendimento da influência social no desenvolvimento histórico da ciência;

iii) *raciocínio lógico*, em que o foco é utilizar a ciência para analisar questões sociocientíficas e/ou se posicionar em relação à elas;

iv) *valores*, em que o foco é entendimento e tomada de decisão a respeito de questões sociocientíficas com base em valores éticos e morais;

v) *sociocultural*, em que é feita uma abordagem sociológica da ciência e da tecnologia, as entendendo enquanto uma prática social imersa em questões econômicas, políticas e culturais;

vi) *justiça socioambiental*, em que o foco não é apenas entender o impacto da ciência e da tecnologia na sociedade e no meio ambiente, mas também criticar e solucionar esses problemas através de ações políticas.

Auler e Delizoicov (2001), no que diz respeito à como as propostas lidam com as relações de poder envolvidas nas tomadas de decisões envolvendo C&T e a sociedade, classificam as proposta e perspectivas CTSA em relação a como elas se posicionam em relação ao que os autores identificam como *neutralidade científica*, sintetizada em três *mitos*, que são denominados dessa forma por distanciarem-se de uma reflexão e apreensão crítica. São eles:

i) *Superioridade do modelo de decisões tecnocráticas*, que consiste na crença de que as decisões de cunho político-social devem ser tomadas por especialistas, pois estes conseguem ser imparciais e neutros frente aos problemas da sociedade. Sendo capazes de deixar seus interesses de lado e dessa forma, conseguiriam tomar as decisões corretas. Entretanto, é necessário lembrar que, a C&T não está desvinculada de sua raiz social, que é o que daria base para esse mito, bem como não é possível separar os cientistas de suas subjetividades; assim, existem cientistas com opiniões diferentes, e por vezes antagônicas, em relação às implicações científicas-tecnológicas e ao seu uso.

ii) *Perspectiva salvacionista da C&T*, que consiste na crença de que o desenvolvimento científico-tecnológico sempre acarreta em progresso e resolução de problemas de cunho social, através da concepção linear de desenvolvimento (por ordem de desencadeamento: científico, tecnológico, econômico e social). O desenvolvimento da C&T pode levar, por exemplo, a uma maior produção de alimentos, moradia e medicamentos, mas isso não garante sua distribuição. Ou seja, a C&T influencia, mas não determina a forma que os bens se organizam na sociedade; dessa forma, o investimento nessas áreas não garante necessariamente melhores condições de trabalho, moradia e saúde para todos e todas.

iii) *Determinismo Tecnológico*, que consiste na crença de que o desenvolvimento científico-tecnológico segue uma lógica própria e a parte da sociedade, influenciando-a mas não sendo influenciada por ela. Dessa forma, a sociedade estaria condicionada às demandas e

imposições da tecnologia, sob uma perspectiva de que não há nada que se possa fazer. Ignorando, dessa forma, o processo dialético entre tecnologia e sociedade, em que a adoção de novas tecnologias modifica a estrutura da sociedade e que a sociedade impõe demandas ao desenvolvimento tecnológico.

Com base nisso, Auler e Delizoicov (2001) identificam duas tendências em relação à alfabetização científica e tecnológica: a *ampliada* e a *reducionista*. A tendência *reducionista* busca apoio da sociedade nas práticas e perspectivas científicas e tecnocráticas envolvidas no desenvolvimento científico-tecnológico, através da consolidação dos mitos da neutralidade científica, através da perspectiva de que os conteúdos científicos são fins em si mesmos. Já a perspectiva *ampliada* busca problematizar essa concepção de neutralidade, também sendo democrática devido à busca pelo entendimento e participação autêntica da sociedade nos problemas e controvérsias relacionadas à C&T, pois entendem que os conteúdos científicos são caminhos para proporcionar discussões de temas socialmente relevantes.

Cabe destacar que, no debate dos impactos do desenvolvimento C&T na sua relação com a sociedade e com o meio ambiente, surgem debates sobre a própria nomenclatura do campo. Assim, em relação à denominação do campo, se CTS ou CTSA, em um primeiro momento, a disputa diz respeito à: ou dar maior enfoque às questões ambientais através da adjetivação (Vilches *et al.*, 2011), ou a considerar que apenas a perspectiva CTS já engloba em seus pressupostos a preocupação ambiental (Santos, 2011). Entretanto, Luz, Queiroz e Prudêncio (2019), por meio de uma revisão bibliográfica, identificaram quatro formas distintas com que as pesquisas na área de educação científica tratam a relação entre as perspectivas CTS e CTSA, sendo elas :

i) *Como sinônimos*, em que os termos são utilizados com o mesmo sentido sem distinção;

ii) *Como complementares*, em que as perspectivas são diferentes, mas se complementam no sentido de que a perspectiva CTSA pode contribuir com debates sobre o Meio Ambiente para a perspectiva CTS;

iii) *CTSA como evolução de CTS*, em que a perspectiva CTSA ao resgatar/englobar questões socioambientais para a perspectiva CTS acaba por superá-la e ressignificá-la;

iv) *De forma aproblemática*, em que a relação entre CTS e CTSA não são explicitadas e não são feitas justificativas de filiação a uma ou outra perspectiva.

Nesta pesquisa, entendemos a relação entre CTS e CTSA de forma que mescele os pontos i) *como sinônimos* e iv) *CTSA como evolução de CTS*; pois concordamos com Santos (2011) no entendimento de que as preocupações ambientais já estão, de certa forma, presente nos pressupostos do movimento CTS; entretanto, entendemos que faz-se necessária a adjetivação, através da letra “A”, para dar destaque à perspectiva ambiental no movimento, visto às emergências dos problemas socioambientais. Dessa forma, advogamos pela utilização da sigla CTSA em detrimento da sigla CTS.

1.2. A crise socioambiental como central para a Educação CTSA

Esse debate sobre a nomenclatura do campo, evidencia que a problemática socioambiental não se constitui como um tema periférico, mas sim como um elemento central para o campo na contemporaneidade e, para que a Educação CTSA realize seu compromisso crítico, é necessário aprofundar o entendimento sobre a crise socioambiental contemporânea. Esta crise, que se manifesta em fenômenos como as Mudanças Climáticas, a poluição generalizada do solo, do ar e das águas, o crescente aumento da produção de resíduos sólidos, bem como os crimes ambientais como os de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), não pode ser compreendida estando dissociadas das estruturas econômicas, políticas e sociais da sociedade, visto que, como apontam Loureiro e Layrargues (2013) sua origem encontra-se nos conflitos sociais inerentes ao modelo hegemônico de desenvolvimento. Nesse contexto, o desenvolvimento C&T não são entidades autônomas que ocasionalmente causam impactos, mas que estão imbricadas na gênese e na aceleração dessa crise, visto que, na sociedade capitalista, o desenvolvimento C&T é condicionado pela lógica da acumulação infinita de capital, que se choca com os limites materiais finitos do planeta (Trein, 2012; Loureiro, 2016).

O compromisso com uma formação cidadã crítica assumida pela Educação CTSA, necessita que o campo não se limite a apontar a “má gestão” dos “recursos” naturais ou a incentivar mudanças comportamentais individuais isoladas, abordagens essas que podem reforçar visões fragmentadas e/ou despolitizantes. Em congruência com o combate aos *mitos da neutralidade científica* (como destacado por Auler e Delizoicov (2001)), o campo precisa realizar uma análise concreta, que identifique os agentes, os setores econômicos e os interesses de classe que perpetuam a lógica predatória para com os seres humanos e o meio ambiente. Ou seja, cumpre à Educação CTSA radicalizar sua crítica, conectando os problemas socioambientais contemporâneos, o desenvolvimento C&T e às estruturas sociais que os condicionam. A partir dos debates teóricos do campo, suspeitamos que parte significativa da

produção acadêmica não tem realizado esta conexão estrutural, como já apontava Santos (2011) sobre a necessidade de ressignificação do campo da Educação CTSA: “Ressignificar, então, o movimento CTS é um passo importante no resgate dos seus objetivos primordiais de crítica à visão de neutralidade científica, descompromissada com seu papel social.” (p. 38).

Diante dessa suspeita sobre a necessidade de radicalização da crítica da Educação CTSA para analisar e enfrentar as raízes estruturais da crise socioambiental, é que posicionamos essa dissertação. Nosso objetivo geral é duplo: i) primeiramente realizar um diagnóstico crítico do campo da Educação CTSA no Brasil na última década, investigando em que medida sua produção recente incorpora ou não uma perspectiva estrutural sobre a crise socioambiental e/ou a problemática ambiental; e ii) com base nesse diagnóstico, propor uma fundamentação teórica que radicalize o potencial crítico do campo, reposicionando sua práxis frente à gravidade do contexto socioambiental contemporâneo.

Propomos, para tanto, uma aproximação entre a Educação CTSA e o referencial teórico marxista, no intuito de desenvolver os contornos de uma Educação CTSA *Radical*. Essa aproximação esta que justifica-se pois historicamente a tradição marxista vem se dedicando à análise e à crítica da sociedade capitalista, de suas contradições, de sua estrutura e dinâmica, visando sua superação. A proposta de uma Educação CTSA *Radical* compreende a crise socioambiental não como um fenômeno acidental ou um conjunto de externalidades, mas como uma expressão inerentes à lógica de acumulação capitalista – o desenvolvimento C&T, nessa perspectiva, é entendido como estando condicionado à dinâmica de valorização do capital, sendo, portanto, uma categoria central na compreensão da crise socioambiental.

O primeiro artigo que compõe esta dissertação, intitulado **Revisão Bibliográfica do campo da Educação CTSA Brasileira (2014-2024) – Perspectivas sobre a Crise Socioambiental**, consiste em um Revisão Sistematizada, em que analisamos 23 artigos selecionados a partir de critérios explicitados. Em que identificamos, como comentado anteriormente, que a maioria dos trabalhos (17 dos 23 artigos analisados) apresentam dificuldades em estabelecer relações concretas entre a crise socioambiental e as estruturas econômicas, políticas e sociais – o que reflete nas visões de Meio Ambiente subjacentes nesses trabalhos, em que há a predominância de visões que se aproximam das macro tendências conservadoras da educação ambiental (Layrargues; Lima, 2014).

O segundo artigo que essa dissertação, intitulado **A crise socioambiental e o desenvolvimento C&T – por uma Educação CTSA Radical**, consiste em um Ensaio

Teórico que parte dos resultados obtidos no primeiro capítulo e avança no sentido na proposição de uma radicalização da crítica da Educação CTSA. Isso é feito a partir de uma aproximação ao referencial teórico marxista para discutir a relação entre o desenvolvimento C&T, a crise socioambiental e a lógica de acumulação de capital, por meio da mobilização das categorias: i) da *ruptura metabólica* – que explica a desconexão entre sociedade humana e a natureza; ii) do *paradoxo da eficiência* – que explica como os ganhos em C&T sob o capitalismo levam à intensificação da exploração ambiental; e iii) do *imperialismo ecológico* – que explica a transferência desigual dos custos ambientais para a periferia do sistema.

A articulação entre os artigos se dá no sentido de que o primeiro capítulo realiza o diagnóstico das limitações do campo, enquanto o segundo avança em direção à uma proposta teórica que visa a superação das lacunas encontradas.

Após esta Introdução Geral, a dissertação está organizada na apresentação integral dos dois artigos, seguidos de uma seção de Considerações Finais que retoma o fio condutor do trabalho, sintetizando as discussões apresentadas.

ARTIGO 1 - Revisão Bibliográfica do campo da Educação CTSA Brasileira (2014-2024) **– Perspectivas sobre a Crise Socioambiental**

Resumo:

Nesta revisão bibliográfica de tipo sistematizada de um recorte da produção nacional recente (2014-2024) do campo da Educação CTSA, tivemos o objetivo de analisar como os trabalhos selecionados articulam a problemática socioambiental com as estruturas econômicas, políticas e sociais, bem como quais as visões de Meio Ambiente subjazem nesses trabalhos. A partir da análise de 23 artigos, os resultados revelam uma predominância de abordagens que *relacionam abstratamente* ou que *não relacionam* de forma significativa (17 dos 23) os problemas ambientais às estruturas sociais e que estão associadas à visões de Meio Ambiente que se aproximam das macrotendências *conservadoras* da Educação Ambiental. Em contrapartida, uma menor parte dos trabalhos (6 dos 23) estabelecem *relações concretas* com as estruturas sociais e alinham-se à macrotendência *crítica* da Educação Ambiental. Concluimos que o campo da Educação CTSA no Brasil enfrenta o desafio de superar análises despolitizantes, as quais deslocam o foco das causas estruturais e dos conflitos políticos-econômicos inerentes às questões socioambientais, voltando-se para soluções de caráter técnico, administrativo e/ou individual. Isso indica a necessidade de um aprofundamento teórico que radicalize o potencial crítico do campo, que permita uma compreensão materialista e estrutural da crise socioambiental contemporânea.

Palavras Chaves: Educação CTSA; Crise Socioambiental; Revisão Bibliográfica; Visões de Meio Ambiente.

1. Introdução

Segundo Auler e Bazzo (2001), em meados do século XX, frente ao grande desenvolvimento científico-tecnológico (C&T) visto no pós-guerra, especialmente nos EUA e na Europa, aos poucos ampliou-se a percepção de que esse mesmo desenvolvimento C&T não estava resultando apenas em bem-estar social. Os bombardeamentos atômicos de Hiroshima e Nagasaki (1945) e o agravamento de problemas ambientais, como os efeitos nocivos de pesticidas sobre as aves, denunciados por Rachel Carson em seu livro *Primavera Silenciosa* (1962), contribuíram para o questionamento de um modelo de desenvolvimento C&T pautado em uma suposta neutralidade social da C&T (Auler; Bazzo, 2001).

É nesse contexto que emerge o movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) que desenvolveu-se em três frentes principais: no campo acadêmico, no campo das políticas públicas e no campo da educação (Strieder, 2012). Embora constitua-se de uma variedade de perspectiva, o movimento CTS, a partir de uma perspectiva social da C&T, possui algumas bases comuns: i) crítica à concepção de ciência como atividade pura e neutra; ii) crítica à concepção de tecnologia como ciência aplicada e neutra; iii) promoção e reconhecimento da importância da participação pública nas tomadas de decisões (Strieder, 2012; Cerezo, 1988).

Especificamente no campo da Educação em Ciências, a abordagem CTSA desenvolveu-se motivada por parte da indignação de educadores/as que viam o ensino das ciências centrado na transmissão de conhecimentos e na preparação para carreiras científicas, modelo que acabava por tornar a ciência escolar algo distante da maioria dos/as estudantes (Santos, 2012). Em oposição à essa visão, a Educação CTSA propõe reorientar o objetivo do ensino de ciências, deslocando o foco da formação de cientistas para uma formação cidadã, em que o objetivo seria conectar os conteúdos científicos à problemas socioambientais contemporâneos, promovendo uma abordagem contextualizada, voltada à compreensão crítica das relações entre ciência, tecnologia e sociedade (Linginsen, 2007; Santos, 2012).

Ainda no contexto da Educação em Ciências, Auler e Delizoicov (2001), destacam a importância do entendimento e enfrentamento dos *mitos da neutralidade científica*, na construção de uma perspectiva crítica da Educação CTSA, a saber os mitos são: i) *superioridade do modelo de decisões tecnocráticas*, que consiste na crença de que as decisões políticas e sociais devem ser tomadas por “especialistas”, pois conseguem ser imparciais, neutros e baseados apenas na C&T; ii) *perspectiva salvacionista da C&T*, em que o desenvolvimento da C&T sempre acarreta em progresso e resolução de problemas de ordem social, por meio da concepção linear de desenvolvimento; iii) *Determinismo tecnológico*, que consiste na crença de que o desenvolvimento C&T segue uma lógica própria, determinando as relações sociais mas não sendo influenciada por elas. Para os autores, as práticas da Educação CTSA que endossam os mitos da neutralidade são consideradas *reducionistas*, enquanto as que visam combatê-los são tidas como *ampliadas*.

No enfrentamento a essas concepções de neutralidade, é necessário o entendimento de que a Ciência e a Tecnologia são empreendimentos humanos, sociais e históricos; e que, portanto, são permeadas das contradições que constituem a sociedade em que se inserem, sendo atravessadas por interesses econômicos, políticos e sociais. Na sociedade capitalista, o

desenvolvimento da C&T é influenciado por interesses tipicamente capitalistas, do avanço do capital e da busca pelo lucro; da mesma forma que, o desenvolvimento da C&T impulsiona novas e mais eficientes formas de dominação da natureza pela sociedade capitalista (Lima Júnior *et al.*, 2014). Assim, a C&T e a sociedade capitalista não apenas influenciam-se, mas condicionam-se e constituem-se em um processo dialético. É precisamente nesse processo que se engendra a crise socioambiental contemporânea, tornando-a, portanto, um fenômeno intrinsecamente político-econômico e não meramente técnico e/ou moral.

Uma contradição central da sociedade capitalista é a dinâmica do crescimento econômico infinito sobre a realidade material finita, frequentemente ocultada por meio da ideia de “desenvolvimento”, baseada na dinâmica do consumismo. Essa contradição perpetua uma dinâmica para com a Natureza, que a reduz à dimensão de “recursos naturais” a serem administrados, na qual a C&T baseadas em uma racionalidade técnica-instrumental – supostamente livre de interesses – desempenha um papel central na administração desses “recursos” (Loureiro, 2016). Assim, o desenvolvimento da C&T não existe aparte da crise socioambiental contemporânea, mas constitui-se como uma categoria central para sua análise (Trein, 2012; Loureiro, 2016).

A materialidade da crise socioambiental manifesta-se em diversas dimensões, como por exemplo, a produção exponencial de resíduos sólidos, as Mudanças Climáticas e a poluição das águas e do ar. Mas também em desastres socioambientais como os crimes cometidos pela empresa Vale S. A., nas cidades mineiras de Mariana (novembro de 2015) e Brumadinho (janeiro de 2019), em que o rompimento de barragens de mineração causou a morte de centenas de pessoas e um grande impacto ambiental e em comunidades vizinhas. Dessa forma, não é possível conceber a problemática ambiental estando dissociada das estruturas sociais, nem ocultar o papel da C&T; visto que, como afirma Loureiro e Layrargues (2013), a crise socioambiental tem origem nos conflitos sociais e no modelo hegemônico de desenvolvimento.

Diante disso, vem sendo defendida a aproximação entre o campo da Educação CTSA e o campo da Educação Ambiental, posto que ambos os movimentos possuem motivações que se comunicam, pois partem do reconhecimento da ação antrópica sobre a natureza, bem como do entendimento da necessidade de se repensar o caminho tomado pela sociedade capitalista em nome do “desenvolvimento”. O campo da Educação CTSA com destaque à crítica do modelo de desenvolvimento C&T e o campo da Educação Ambiental centrado nas relações

entre os seres humanos e a natureza, que constituem o Meio Ambiente (Faria; Freitas, 2007; Loureiro; Lima, 2009). Para analisar as visões de Meio Ambiente presentes nos trabalhos, nos apoiamos no quadro analítico das macrotendências político-pedagógicas da Educação Ambiental (Layrargues; Lima, 2014), este diálogo permite categorizar as visões de Meio Ambiente subjacentes, mas também situar a produção da Educação CTSA dentro do debate da educação ambiental brasileira.

No processo de compreensão da crise socioambiental posta, é preciso superar visões de Meio Ambiente que o resume às suas dimensões naturais, o tratando apenas como um sistema a-histórico, regulado por leis imutáveis e livre da ação humana. A sociedade está em constante contato com a natureza, não podendo ser dissociada dela, nesse sentido, uma compreensão de Meio Ambiente que distancia sociedade e natureza – uma natureza distante a ser “preservada” ou ainda uma natureza enquanto recurso a ser bem “administrada”, pode reforçar perspectivas e práticas pedagógicas despolitizantes, pois corre-se o risco de ocultar os mecanismos de exploração e o interesses por de trás da crise socioambiental (Trein, 2012).

Nesse cenário em que a Educação CTSA insere-se, ela é condicionada pela sociedade na qual está inserida, o que faz com que ela esteja sujeita a reproduzir as concepções reducionistas a qual busca combater. Diante disso, torna-se premente avaliar a produção recente do campo, isto é, investigar se as análises sobre a crise socioambiental conseguem, de fato, superar abordagens que focam excessivamente em soluções técnicas e/ou em mudanças comportamentais individuais, e se identificam a dimensão sistêmica da crise, mediadas pelas estruturas econômicas, políticas e sociais capitalistas. Caso contrário, a Educação CTSA pode não estar alcançando o que se propõe ao lidar com a relação entre desenvolvimento C&T, a sociedade e a crise socioambiental, não realizando seu potencial crítico.

Diante desse cenário, embora a defesa de uma perspectiva crítica seja uma das bases da Educação CTSA, surge a necessidade de investigar em que medida a produção acadêmica nacional na área tem efetivamente incorporado essa perspectiva crítica, especialmente em sua interface com a problemática ambiental. O presente trabalho busca, portanto, analisar um recorte significativo para problematizar como os artigos que se filiam ao campo da Educação CTSA no Brasil vêm tratando da temática socioambiental, identificando se as abordagens predominantes no corpus investigado correspondem ao potencial crítico do campo ou se, na prática, permanecem visões mais superficiais. A delimitação desta análise ao contexto brasileiro justifica-se não apenas pela centralidade, no debate nacional da Educação CTSA, do

combate aos *mitos da neutralidade científica* (Auler; Delizoicov, 2001) e pela aproximação com o campo da Educação Ambiental, mas também para compreender como um campo com tal potencial crítico tem analisado e tratado aos conflitos socioambientais do país – como os crimes de Mariana e Brumadinho – que são exemplos da imbricação entre C&T e modelos de desenvolvimento.

Para isso, realizamos uma revisão bibliográfica à luz das seguintes questões norteadoras: Como o campo da Educação CTSA, no cenário nacional, na última década tem articulado a problemática ambiental com as estruturas sociais? Ademais, quais as visões de Meio Ambiente subjacentes nessas análises e quais lacunas são recorrentes em relação às raízes político-econômicas dos problemas socioambientais? Para responder a essas questões, estruturamos a análise em dois eixos complementares, que correspondem diretamente aos objetivos da revisão: i) examinar como os trabalhos relacionam (ou não) as problemáticas ambientais com as estruturas econômicas, políticas e sociais; e ii) identificar quais visões de Meio Ambiente fundamentam tais articulações, situando-as no debate das macrotendências político-pedagógicas da Educação Ambiental (Layrargues; Lima, 2014). Dessa forma, buscamos mapear tendências e avaliar a criticidade das abordagens predominantes no recorte investigado.

2. Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica do tipo *revisão sistematizada*, na qual incorporamos elementos da *revisão crítica*. A *revisão sistematizada* aproxima-se da *revisão sistemática*, especialmente no que diz respeito à transparência do processo de busca, organização e análise, bem como no estabelecimento prévio dos descritores e critérios de elegibilidade, de inclusão e de exclusão (Grant; Booth, 2009). No entanto, diferencia-se da *revisão sistemática* por sua menor abrangência, refletida nesta pesquisa na seleção de um número reduzido de bases de dados (*Ibid.*). Por sua vez, a *revisão crítica* busca não apenas responder aos questionamentos que fundamentam a revisão, mas também oferecer uma contribuição conceitual para a área (*Ibid.*).

Para a análise dos artigos, utilizamos a Análise de Conteúdo, que segundo Franco (2005) é uma abordagem que parte da investigação do conteúdo da *mensagem* em suas diferentes formas e compreendidas enquanto produções sócio-historicamente situadas e portanto carregadas de componentes cognitivos, afetivos, sociais e ideológicos. Tem como objetivo central, a construção de significações a partir de inferências controladas por meio de

indicadores e “vestígios” presentes nas comunicações; conectando, assim, o processo de descrição sistemática à interpretação (Bardin, 2011).

Bardin (2011) define a organização metodológica da Análise de Conteúdo em três fases: i) *pré-análise*, atividades referentes à organização do material e definição do *corpus*; ii) *exploração do material*, processo de codificação e categorização do *corpus* com base nos objetivos da pesquisa; iii) *tratamento dos resultados*, descrição dos dados obtidos, as inferências realizadas e a interpretação com base nas questões levantadas. Nesta revisão, adotamos especificamente a técnica da *análise categorial* ou *análise temática-categorial*:

“No conjunto das técnicas da análise de conteúdo, [...] cronologicamente é a mais antiga; na prática é a mais utilizada. Funciona por operações de desmembramento do texto em unidades, em categorias segundo reagrupamentos analógicos. Entre as diferentes possibilidades de categorização, a investigação dos temas, ou análise temática, é rápida e eficaz na condição de se aplicar a discursos diretos (significações manifestas) e simples.” (Bardin, 2011, p. 201).

2.1 Bases de dados, critérios e identificação dos trabalhos

Utilizamos três bases de dados indexadas e amplamente reconhecidas: *Portal de Periódicos da CAPES*, *Scielo* e *Scopus*. O *Portal de Periódicos da CAPES* e a *Scielo* devido à maior cobertura de periódicos em PT-BR na América Latina e a *Scopus* para evitar a exclusão de produção em PT-BR indexadas internacionalmente. Para a busca, empregamos os descritores **“CTS* AND Ambient* AND (Educação OR Ensino)”**, pois almejávamos artigos que se filiassem ao referencial CTSA e que tratassem de questões ambientais relacionadas à Educação Científica/Ensino de Ciências/Educação em Ciências.

Para os *critérios de elegibilidade* (pré-leitura), definimos um recorte temporal de 10 anos (2014-2024) com vista a capturar a produção desenvolvida em um contexto de intensificação e maior visibilidade da crise socioambiental contemporânea, permitindo analisar como o campo tem respondido a isso. Foram selecionados artigos completos e revisados por pares, pois almejávamos trabalhos que tivessem passado pelo crivo de outros/as pesquisadores/as. A busca foi configurada para priorizar artigos com acesso aberto sempre que o filtro estivesse disponível (como no Portal de Periódicos CAPES), visando assegurar disponibilidade integral dos textos que compuseram o *corpus*. Por fim, o critério de ter sido citado ao menos uma vez justifica-se pois buscamos artigos que, mesmo que modestamente, tenham sido utilizados como referência por outros trabalhos.

Para os *critérios de inclusão* (pós-leitura), primeiramente definimos que os artigos deveriam se filiar explicitamente ao campo da Educação CTSA, sendo essa filiação identificada pelo enquadramento, por parte dos autores, de seus trabalhos como parte do campo. Quanto ao conteúdo, estabelecemos que: i) os trabalhos teóricos deveriam apresentar a discussão de questões ambientais como objetivo central, ou seja, trabalhos que trouxeram questões ambientais apenas como justificativa e/ou motivação para a introdução de outros temas não foram incluídos; ii) os trabalhos empíricos e as revisões bibliográficas, deveriam apresentar uma discussão das questões ambientais de forma central, ou seja, trabalhos empíricos que se limitaram apenas à descrição conceitual da problemática ambiental não foram incluídos. Para os *critérios de exclusão*, definimos que seriam excluídos apenas trabalhos repetidos.

Em relação à natureza da pesquisa (teórica, empírica ou revisão), identificamos como pesquisa teórica os trabalhos voltados à discussão de pressupostos e perspectivas referentes ao assunto abordado por eles ou a proposição de modelos e/ou quadros teóricos. Já, como revisão bibliográfica, identificamos tanto os trabalhos que tiveram como objetivo apresentar revisões sistemáticas e/ou sistematizadas com descrições metodológicas dos procedimentos utilizados, quanto os trabalhos que tiveram como objetivo realizar levantamentos bibliográficos sem menção explícita à procedimentos metodológicos, com o objetivo de identificar discussões e/ou contribuições de autores/as e/ou linhas de pesquisa sobre determinado tema. Por fim, como trabalhos empíricos identificamos aqueles que apresentavam uma investigação de um problema de pesquisa através da coleta e análise de dados, com o objetivo de testar hipóteses, explorar e/ou descrever fenômenos.

2.2 Categorias de análise

Visando responder às questões norteadoras e atingir os objetivos da revisão, foram utilizados dois conjuntos de categorias para organizar os artigos e estruturar a análise e discussão, cuja construção seguiu caminhos distintos: i) o primeiro conjunto de categorias – associado a como os artigos analisados relacionam as problemáticas ambientais com as estrutura econômicas, políticas e sociais – foi desenvolvido de forma dialética, em que partimos de uma ideação inicial (portanto, *a priori*) a qual foi continuamente refinada durante o processo de leitura dos artigos (em um movimento *a posteriori*); ii) o segundo conjunto de categorias – associado às visões de Meio Ambiente subjacentes – foi estabelecido *a priori*,

com base nas macrotendências políticas-pedagógicas da Educação Ambiental (Layrargues; Lima, 2014).

Em relação ao **primeiro conjunto de categorias**, entendemos que a forma como os trabalhos estabelecem essa relação, mesmo que implicitamente, revela uma importante dimensão do direcionamento das pesquisas do campo da Educação CTSA. Assim, em relação à forma com que os artigos selecionados relacionam questões ambientais com as estruturas da sociedade, ou ainda, como os problemas ambientais são, ou não, relacionados às estruturas políticas, econômicas e sociais, percebemos que essa relação se dá de três formas distintas: *Não Relacionam, Relacionam Abstratamente e Relacionam Concretamente*.

- *Não Relacionam*, compreensão de que os problemas ambientais não se relacionam com estruturas econômicas, políticas e sociais, ou que não entendem essa dimensão como fundamental. Artigos identificados nesta categoria tendem a culpabilizar ações individuais e/ou uma generalização de ações individuais em torno de uma “coletividade” abstrata, bem como se posicionam e/ou promovem ações educativas focadas em mudanças de hábitos individuais baseadas em uma ênfase na sensibilização efetiva e em uma visão idealizada de “cuidado”, que desconsidera as dimensões estruturais da crise socioambiental.

- *Relacionam Abstratamente*, compreensão de que os problemas ambientais estão relacionados às estruturas econômicas, políticas e sociais, mas essas são abordadas de formas abstratas, impessoais e desistoricizado, muitas vezes dando a entender que essas estruturas se movimentam por si só, como entidades autônomas, cuja dinâmica interna e os agentes sociais que as constituem não são explicitados. Artigos identificados nesta categoria também tendem a culpabilizar as ações individuais, entretanto, frequentemente responsabilizam a escola e/ou a educação – ambas abstratamente – no sentido de que a solução do problema ambiental é educar para formar indivíduos capazes de administrar os “recursos” naturais de forma eficiente.

- *Relacionam Concretamente*, compreensão de que os problemas ambientais estão fortemente ancorados às estruturas econômicas, políticas e sociais, e que essas estruturas são concretas e passíveis de serem identificadas, como setores da economia e do estado. Reconhecem em diferentes graus a influência do interesse político e econômico de agentes que compõem essas estruturas. Artigos identificados nesta categoria tendem a culpabilizar o modelo de desenvolvimento capitalista, se posicionando contrariamente à sua lógica

predatória e frequentemente analisam ou promovem a análise de questões ambientais concretas.

Em relação ao **segundo conjunto de categorias**, entendemos que as visões de Meio Ambiente subjacentes nos trabalhos da área da Educação CTSA constituem uma importante dimensão no entendimento da abordagem da problemática ambiental pelos/as pesquisadores/as da área. Assim, em diálogo com o campo da Educação Ambiental, que historicamente vem se dedicando à relação entre Sociedade e Meio Ambiente, utilizamos das macro tendências político-pedagógicas da Educação Ambiental identificadas por Layrargues e Lima (2014), que agrupam diversas perspectivas em torno de três principais: *Conservacionista*, *Pragmática* e *Crítica*.

- *Conservacionista*, tem como perspectiva a valorização da afetividade frente à natureza, bem como a sua conservação entendendo o ser humano e o Meio Ambiente como pertencentes a esferas diferentes, relacionando a Educação Ambiental com as pautas da biodiversidade e da conservação. Segundo os autores essa macro tendência apresenta “limitado potencial de se somar às forças que lutam pela transformação social, por estarem distanciadas das dinâmicas sociais e políticas e seus respectivos conflitos” (Layrargues; Lima, 2014, p. 30). Preconiza visões de Meio Ambiente simplistas que apartam Sociedade e Natureza, mas que buscam a conservação da Natureza, ignorando os mecanismos de exploração.

- *Pragmática*, tem como perspectiva a valorização e administração formal dos “recursos” naturais de forma “sustentável”, sem criticar a relação exploratória do modo de produção com a natureza; bem como a disseminação da ideia de “consumo sustentável”, sem criticar o modo de produção baseado no consumismo e na obsolescência programada. Essa tendência aporta-se lógica neoliberal hegemônica, bem como na racionalidade instrumental que reduz os problemas políticos, econômicos e sociais à problemas técnicos. Segundo os autores “essa perspectiva percebe o meio ambiente destituído de componentes humanos, como uma mera coleção de recursos naturais em processo de esgotamento [...]” (Ibid., p. 31). Preconiza visões de Meio Ambiente que o entendem enquanto reduzido à um conjunto de “recursos” naturais a serem explorados e administrados pela Sociedade.

- *Crítica*, tem como perspectiva uma maior politização do debate ambiental, questionando a lógica de dominação da Sociedade sobre o Meio Ambiente e os mecanismos de acúmulo de capital; posicionando-se contrariamente às demais macro tendências, valorizando o enfrentamento político e as práticas pedagógicas emancipatórias. Aporta-se em

perspectivas que visam complexificar o debate, visando “ressignificar falsas dualidades que o paradigma cartesiano inseriu nas relações entre indivíduo e sociedade, [...] ética e técnica” (Ibid., p. 33). Preconiza visões de Meio Ambiente integralizadas, que reconhecem a ação antrópica em sua constituição e da relação de exploração mantida.

3. Constituição do Corpus

A busca inicial nas três bases de dados (Periódicos CAPES, SciELO e Scopus) utilizando os descritores “**CTS* AND Ambient* AND (Educação OR Ensino)**” resultou em um total de **223** artigos, distribuídos da seguinte forma:

- **203** artigos dos Periódicos CAPES;
- **17** artigos da SciELO;
- **3** artigos da Scopus.

Em seguida, verificamos cada artigo individualmente na plataforma *Google Acadêmico* para conferir o número de citações. Desse processo, **52** artigos sem citações foram excluídos, restando **171** artigos.

Desses **171**, realizamos a leitura do título, resumo e palavras-chaves, resultando na exclusão de **28** artigos, dos quais:

- **17** artigos que fugiam do temática da revisão¹;
- **11** artigos repetidos, que foram encontrados em bases diferentes.

Resultando num total de **143** artigos, dos quais realizamos uma leitura transversal e foram identificados e excluídos:

- **57** artigos que não abordavam questões ambientais² ou que se limitavam apenas à descrição conceitual da problemática ambiental³.

¹ Por exemplo, Nascimento e colaboradores (2021) analisaram compostos fenólicos e a capacidade antioxidante de extratos de flor de *Clitoria ternatea* L. (CT).

² Por exemplo, Silva Júnior, Silva e Souza (2015) analisaram uma experiência de estágio supervisionado de uma Licenciatura em Química em uma turma de EJA por uma perspectiva CTSA; entretanto, não há menção à problemática ambiental.

³ Por exemplo, Cremasco, Pereira e Lucas (2017) realizaram uma revisão bibliográfica sobre CTSA e formação docente; no entanto, a problemática ambiental é mencionada e brevemente conceituada, mas não tem como objetivo aprofundar a sua análise, apenas mencioná-la.

- **55** artigos que apresentavam uma discussão ambiental, mas que não eram o foco central do trabalho⁴.
- **10** artigos que não se filiavam explicitamente ao campo da Educação CTSA⁵.

Ao final desse processo, identificamos **23** artigos que atenderam a todos os critérios e foram selecionados para a próxima etapa. A seguir dispomos os artigos no formato de quadro com identificação, autores/as, ano, natureza (Teórico, Empírico ou Revisão), tema, modalidade (Ensino Fundamental, Ensino Médio, Formação Inicial ou Formação Continuada) e tipo do artigo (para artigos empíricos: Análise de Concepções, Análise de Atividade, Análise da Escola ou Proposta Didática; para artigos de revisão: Levantamento Bibliográfico e Revisão Sistemática).

Quadro 1 – Caracterização geral dos artigos selecionados.

ID	Autores(as)/Ano	Natureza	Tema	Modalidade	Tipo
A01	Bourscheid e Farias (2014)	Teórico	Questões ambientais	-	-
A02	Proença, Oslaj e Dal-Farra (2014)	Empírico	Espécies nativas e exóticas	Ensino Fundamental	Análise de Concepções
A03	Correa, Silveira e Maciel (2015)	Revisão	Resíduos Sólidos	-	Levantamento
A04	Moreira, Aires e Lorenzetti (2017)	Revisão	Questões ambientais	-	Levantamento
A05	Souza e Marques (2017)	Empírico	Agrotóxicos	Formação Continuada	Análise de Atividade
A06	Freitas e Marques (2017)	Revisão	Sustentabilidade	-	Sistemática
A07	Cavalcanti, Ribeiro e Barro (2018)	Empírico	Energia	Ensino Médio	Proposta Didática
A08	Alves e Fonseca (2018)	Empírico	Água	Formação Continuada	Análise de Atividade

⁴ Por exemplo, Magalhães e colaboradores (2020) analisaram o desenvolvimento de uma sequência didática sobre biomassa em turmas do ensino médio. Apesar de haver breves discussões ambientais sobre a emissão de gás carbônico, o foco do trabalho está na discussão sobre os usos da biomassa.

⁵ Por exemplo, Silva, Cavalari e Muenchen (2015) investigaram a compreensão sobre a temática ambiental e suas articulações com o processo educativo presente nas atas do EPEF. Apesar de haver a menção à CTSA devido a ser uma área do EPEF, os autores não se filiam explicitamente ao campo.

A09	Ramos e Fernandes-Sobrinho (2018)	Empírico	Energia	Formação Inicial	Análise de Concepções
A10	Luz, Queiroz e Prudêncio (2019)	Revisão	Questões ambientais	-	Sistemática
A11	Luz et. al. (2019)	Empírico	Questões ambientais	Formação Inicial	Análise de Concepções
A12	Banheza e Palcha (2019)	Empírico	Questões ambientais	Formação Inicial	Análise de Atividade
A13	Freitas e Marques (2019)	Revisão	Sustentabilidade	-	Sistemática
A14	Santos et. al. (2020)	Empírico	Sustentabilidade	Ensino Médio	Análise de Concepções
A15	Fonseca e Franco (2020)	Empírico	Pandemia	Ensino Médio	Proposta Didática
A16	Silva et. al. (2020)	Empírico	Questões ambientais	Ensino Médio	Análise de Concepções
A17	Luz, Almeida e Almeida (2020)	Teórico	Questões ambientais	-	-
A18	Maestrelli e Lorenzetti (2021)	Empírico	Água	Ensino Fundamental	Análise de Atividade
A19	Passos e Silva (2021)	Empírico	Água	Ensino Fundamental	Proposta Didática
A20	Silva e Carvalho (2021)	Empírico	Questões ambientais	Formação Inicial	Análise de Concepções
A21	Souza e Valadares (2022)	Empírico	Mineração	Ensino Médio	Análise de Concepções
A22	Ohi e Ganiko-Dutra (2023)	Empírico	Sustentabilidade	-	Análise da Escola
A23	Melo e Andrade (2024)	Empírico	Pandemia	Formação Continuada	Análise de Atividade

Fonte: Elaboração Própria

4. Resultados e Discussões

Primeiramente, os artigos foram organizados por tipo da pesquisa, ou seja, se correspondem a uma pesquisa teórica, a uma pesquisa empírica ou a uma revisão bibliográfica. No total, dos 23 artigos analisados, identificamos 2 pesquisas teóricas (A01,

A17), 5 revisões bibliográficas (A03, A04, A06, A10, A13) e 16 pesquisas empíricas (A02, A05, A7, A08, A09, A11, A12, A14, A15, A16, A18, A19, A20, A21, A22, A23). Houve uma predominância das pesquisas empíricas, correspondendo a aproximadamente 69% dos artigos selecionados, seguido das revisões bibliográficas correspondendo a aproximadamente 22% e, por fim, as pesquisas teóricas corresponderam a aproximadamente 9%.

A preponderância de pesquisas empíricas em relação às pesquisas de caráter conceitual – englobando as pesquisas teóricas e revisões – pode indicar uma maior preocupação dos/as pesquisadores/as de nosso recorte do campo da Educação CTSA com as dimensões prática da pesquisa, o que pode ser justificado devido à emergência da problemática ambiental. O menor número de pesquisas teóricas pode indicar que – em nosso recorte – os/as pesquisadores/as estejam satisfeitos com os pressupostos e perspectivas teóricas adotadas pelo campo; entretanto, é importante destacar que existem perspectivas contrastantes, sobre a relação entre a problemática ambiental, as estruturas sociais e o Meio Ambiente, como veremos no decorrer da pesquisa.

Dessas 16 pesquisas empíricas, em relação ao tipo de pesquisa empírica realizada, identificamos; 7 análises das concepções/percepções dos sujeitos de pesquisa sobre determinado assunto (A02, A09, A11, A14, A16, A20, A21), 5 análises de experiências didáticas ocorridas em diferentes modalidades de ensino (A05, A08, A12, A18, A23), 3 propostas didáticas para diferentes modalidades de ensino (A07, A15, A19) e 1 trabalho isolado (A22), que caracterizamos como análise do ambiente escolar, que teve como objetivo sintetizar observações das aulas, de livros da biblioteca e do espaço da escola.

Há um equilíbrio entre as modalidades de pesquisas empíricas identificadas, pois podemos separá-las em pesquisas empíricas com caráter diagnóstico (incluindo as análises de percepções/concepções e do ambiente escolar) e pesquisas empíricas com caráter de intervenção (incluindo as análises de experiências didáticas e propostas didáticas). Isso pode indicar que os/as pesquisadores/as de nosso recorte reconhecem a importância desses diferentes momentos metodológicos da pesquisa empírica (diagnóstico e intervenção), não resumindo-se apenas em um dos dois. Entretanto, é importante notar a falta de pesquisas que realizam análise de currículos, livros didáticos e outras dimensões que se relacionam com aspectos estruturais da Educação em Ciências e da problemática ambiental, o que pode indicar que a área esteja privilegiando a dimensão da sala de aula em detrimento de análises estruturais da educação, o que pode revelar uma limitação do campo visto que intervenções

restritas à sala de aula têm impacto limitado se desconectadas de uma transformação das estruturas que as orientam.

Ainda dessas 16 pesquisas empíricas, em relação à modalidade de ensino abordada e/ou público alvo da pesquisa, identificamos: 8 trabalhos voltados para a escola, dentre eles 3 voltados para o ensino fundamental (A02, A18, A19) e 5 voltados para o ensino médio (A07, A14, A15, A16, A21); 7 trabalhos voltados à formação de professores/as, dentre eles 4 voltados para formação inicial (A09, A11, A12, A20) e 3 voltados para a formação continuada (A05, A08, A23); e 1 trabalho que realizou a análise do ambiente escolar (A22). Novamente, é possível identificar um equilíbrio nas pesquisas empíricas, dessa vez entre trabalhos com foco no contexto escolar e em situações de ensino da educação básica, em comparação com trabalhos voltados ao/à professor/a tanto na formação inicial, quanto na formação continuada. Esse equilíbrio pode expressar que os/as pesquisadores/as de nosso recorte reconhecem a importância das dimensões da intervenção e análise do contexto escolar da educação básica, bem como da formação inicial e continuada dos/das professores/as que atuarão nesse contexto.

Das 5 revisões bibliográficas, identificamos 3 revisões sistemáticas/sistematizadas (A06, A10, A13) e 2 levantamentos bibliográficos (A03, A04). O número equivalente entre as revisões sistemáticas e/ou sistematizadas – que apresentam metodologias e procedimentos detalhados de busca, organização e análise dos materiais – em comparação com os levantamentos bibliográficos – que não apresentam essas descrições metodológicas detalhadas – pode indicar uma fragilidade na potencialidade de síntese do campo. Visto que a menor rigidez metodológica e/ou a falta de descrição de procedimentos metodológicos, das revisões bibliográficas que caracterizamos como “levantamentos bibliográficos”, podem apresentar dificuldades em captar o movimento da totalidade das pesquisas da área.

Em relação aos temas abordados nos 23 artigos selecionados, identificamos 12 trabalhos que fizeram uma abordagem da problemática ambiental por uma perspectiva mais generalista (A01, A04, A06, A10, A11, A12, A13, A14, A16, A17, A20, A22), olhando para desafios ambientais, relação entre sociedade e meio ambiente, bem como percepções dos sujeitos de pesquisa sobre a problemática ambiental; dentre esses, 4 trabalhos utilizaram centralmente a categoria “sustentabilidade” para o desenvolvimento das discussões (A06, A13, A14, A22). Também identificamos 11 trabalhos que abordaram temáticas específicas, sendo 3 relacionados à água (A08, A18, A19), 2 relacionados à pandemia de COVID-19

(A15, A23) e 2 relacionados à energia (A07, A09), outros temas que apareceram uma vez por trabalho foram: espécies nativas e exóticas (A02), resíduos sólidos (A03), agrotóxicos (A05) e mineração (A21).

4.1 Questões Ambientais e a Organização da Sociedade

Em relação à primeira categoria, *Não Relacionam*, identificamos 2 trabalhos: A14 e A19, que compõem aproximadamente 9% do total de trabalhos. Em A14, Santos e colaboradores (2020) analisaram, através de um questionário respondido por estudantes de uma escola pública do Ceará, como essa escola tem articulado o ensino de Biologia e a Educação Ambiental associada à Sustentabilidade na formação dos estudantes. Os autores, mesmo citando a escola, privilegiam a dimensão das ações individuais e da conscientização como principal vetor da abordagem aos problemas ambientais:

“[...] Os diversos problemas relacionados ao meio ambiente ainda existe porque as pessoas ainda não foram devidamente sensibilizadas o suficiente para compreender o quão delicado é o equilíbrio dos ecossistemas, ou seja, elas não estão habilitadas a dimensionar e solucionar efetivamente os problemas reais do seu cotidiano” (Santos *et. al.*, 2020, p. 409).

“Portanto a escola tem a responsabilidade de sensibilizar os estudantes no sentido de prepará-los para o desenvolvimento de atitudes sustentáveis que transcendam o ambiente escolar [...]” (Santos *et. al.*, 2020, p. 421).

Em A19, Passos e Silva (2021), elaboraram uma proposta didática para o ensino de Ictiologia para os anos iniciais do Ensino Fundamental, com base na abordagem CTSA e na BNCC, que traz como estratégia central uma história de um peixe. Os autores destacam uma perspectiva romantizada no cuidado com o Meio Ambiente:

“A história envolve também fatores emocionais e valores, como saber preservar amizades, sobre cuidar uns dos outros da mesma maneira, que deve-se cuidar do espaço em redor, da natureza, e do planeta em que vivemos [...]. Sugere-se valores morais como a importância do amor [...] para que haja o cuidado com tudo que existe no decorrer da vida.” (Passos; Silva, 2021, p. 11).

Nos artigos enquadrados nessa categoria, a falta de menção e/ou centralidade das estruturas econômicas, políticas e sociais na abordagem dos problemas ambientais desloca o foco da análise para as condutas individuais, reduzindo a complexidade da crise

socioambiental a uma questão moral-comportamental. Essa redução ocorre pois, ao se abstrair das determinações estruturais, a problemática ambiental é tratada como um desvio moral-comportamental generalizada na sociedade e não como resultado de um modelo de sociedade historicamente constituído. Dessa forma, a abordagem pedagógica resume-se a ensinar e conscientizar os estudantes sobre os problemas ambientais, para que, uma mudança de hábitos individuais possa efetuar uma transformação social – mesmo que esses hábitos individuais possam esconder-se por detrás de uma conceituação genérica de coletividade homogênea, em que os interesses de diferentes grupos são suprimidos. Essa perspectiva, ao individualizar a responsabilidade pela crise ambiental, acaba por despolitizar sua análise; pois, ao deslocar a responsabilidade para a esfera das condutas pessoais, exime-se as estruturas econômicas, políticas e sociais de qualquer culpa. Isso reforça uma perspectiva desarticulada e homogeneizante da sociedade, que oculta tanto a dimensão dos conflitos sociais e interesses políticos e econômicos, como também o papel da C&T na abordagem das questões ambientais, o que se torna um obstáculo no enfrentamento da problemática ambiental. Assim, acaba por reforçar perspectivas neutras da C&T, como um processo autônomo desarticulado das determinações sociais, que são dimensões centrais das perspectivas críticas da Educação CTSA (Auler; Bazzo, 2001; Linginsen, 2007).

Em relação à segunda categoria, *Relacionam Abstratamente*, identificamos 15 trabalhos: A01, A02, A03, A04, A06, A07, A08, A12, A13, A15, A16, A18, A20, A21 e A22, que compõem aproximadamente 65% do total de trabalhos. Um exemplo, em A07, Cavalcanti, Ribeiro e Barros (2018) apresentam uma proposta de sequência didática que visa problematizar a questão da energia elétrica e seu consumo. Os autores, reconhecem a existência de estruturas sociais representadas em uma perspectiva de “sociedade” abstrata, dessa forma, os problemas ambientais são vistos sob a ótica de fazer a melhor escolha frente à inevitabilidade do “desenvolvimento” dessa sociedade.

“Na segunda metade do século XVIII, um conjunto de transformações econômicas, sociais e tecnológicas ocasionou mudanças em diversos países da Europa [...]. Uma das consequências dessas transformações foi o surgimento das indústrias que impulsionam o desenvolvimento de novas tecnologias [...]” (Cavalcanti; Ribeiro; Barros, 2018, p. 864).

“Essa discussão sobre as diversas fontes de obtenção de energia elétrica tem como prerrogativa o questionamento e o posicionamento do aluno com relação às melhores formas de obtenção de energia elétrica, com condições de custo e benefício que visem ao desenvolvimento sustentável para a sociedade.” (Cavalcanti; Ribeiro; Barros, 2018, p. 866).

Por sua vez, em A21, Souza e Valadares (2022) apresentam as mudanças de concepções dos estudantes sobre a temática da mineração a partir do desenvolvimento de um júri simulado sobre a construção de uma mineradora em seus bairros. Os autores relacionam problemas socioambientais da mineração com estruturas, evidenciando o crime/desastre socioambiental ocorrido em Mariana e Brumadinho, entretanto, há uma aceitação tácita do “modelo” atual, deslocando o problema para estar ou não alinhado com a “sustentabilidade”.

“O objetivo principal da visita monitorada à Vale S. A. foi promover a reflexão sobre o papel da mineração no mundo atual, seus impactos no meio e na sociedade, visando ampliar a percepção dos estudantes sobre a importância dessa atividade para o atual modelo de vida adotado, desde que alinhado com o desenvolvimento sustentável.” (Souza; Valadares, 2022, p. 11).

Outro ponto presente no trabalho, pode ser visto na forma com que os autores organizam os argumentos apresentados pelos/as alunos/as no júri simulado. Os argumentos favoráveis à construção da mineradora em seus bairros (primeiro grupo): “A mineração traz riquezas para a região” (*Ibid.*, p. 13), “A destruição do bairro não é imediata e trará conforto e segurança” (*Ibid.*, p. 13) e “Esse empreendimento tem uma importância econômica para o país” (*Ibid.*, p. 13), são classificados como objetivos, neutros e apoiados no rigor científico. Já os argumentos contrários (segundo grupo): “Muitas nascentes no bairro seriam prejudicadas” (*Ibid.*, p. 13), “A contaminação provocada pela atividade não é apenas local, pois atinge uma maior amplitude, além de poder acontecer desastres” (*Ibid.*, p. 13) e “Aumento dos riscos para a população, considerando que podem acontecer novos rompimentos de barragem de rejeito” (*Ibid.*, p. 13), são classificados como “subjetivos”:

“O primeiro [grupo] faz a sua aposta nas dimensões política, econômica e desenvolvimentista. No segundo grupo, encontraram-se argumentos ancorados na dimensão sociocultural. De um lado, um discurso que se mostra importante pela objetividade, neutralidade e apoiada no rigor científico [...]. Por outro, um discurso também relevante, mas que se sustenta numa dimensão aparentemente mais subjetiva, relacionada à degradação ambiental e aos problemas sociais.” (Souza; Valadares, 2022, p. 13).

Nos artigos enquadrados nessa categoria, como os exemplos analisados (A07, A21), fazem diferentes menções às estruturas sociais, mas o é feito de maneira abstrata, que se manifesta tanto na não identificação dos agentes e interesses concretos que dinamizam essas

estruturas, como na adoção de uma visão dualista que hierarquiza diferentes dimensões da realidade social. Nesta perspectiva, estabelece-se uma visão entre uma dimensão considerada “objetiva” – associada ao desenvolvimento econômico, à racionalidade e ao “rigor científico” – e uma dimensão “subjetiva” – associada às preocupações com a degradação ambiental e os riscos para a população, como é feito em A21. Isso acontece devido à adesão de uma racionalidade instrumental que naturaliza o modelo de desenvolvimento capitalista, o que acaba por deslocar a discussão da problemática ambiental do campo da política para o campo da “administração técnica” (Layrargues; Lima, 2014). Dessa forma, distanciam-se de uma perspectiva *ampliada* da Educação CTSA, pautada no combate aos mitos da neutralidade científica, em especial o mito da *superioridade do modelo de decisões tecnocráticas*, reforçando a noção hegemônica de desenvolvimento, que é combatida pela Educação CTSA, em que supostamente o desenvolvimento da C&T ocasionaria em desenvolvimento econômico, que resultaria, em última instância em “desenvolvimento social” (Auler; Delizoicov, 2001; Auler, 2011).

Por fim, em relação à terceira categoria, *Relacionam Concretamente*, identificamos 6 trabalhos: A05, A09, A10, A11, A17 e A23, que compõem aproximadamente 26% dos trabalhos. A título de exemplo, em A05, Souza e Marques (2017), buscando identificar como o Princípio da Precaução⁶ pode contribuir para o enfrentamento da racionalidade instrumental na formação do técnico agrícola, apresentam uma análise de um processo formativo com professores de um curso técnico em Agropecuária sobre o uso de agrotóxicos nas atividades agrícolas. Os autores fundamentam-se em uma perspectiva estrutural da problemática dos agrotóxicos, levando em conta os interesses econômicos, com um posicionamento crítico frente a perspectiva do seu “uso seguro”:

“Um resultado definitivo sobre os danos provenientes da utilização do glifosato parece não se restringir às questões de procedimentos metodológicos das pesquisas, mas perpassar por questões políticas e econômicas [...]” (Souza; Marques, 2017, p. 499).

“No Brasil, em torno de 90% das áreas plantadas de soja, milho e algodão são transgênicas (Céleres, 2015) e, no ano de 2014, o faturamento da indústria de agrotóxicos superou os US\$12 bilhões (Abrasco, 2015).” (Souza; Marques, 2017, p. 499).

“Rigotto (2011) questiona se não é uma ilusão acreditar que seja possível existir um uso seguro de agrotóxicos, visto que há uma gama

⁶ É um princípio que orienta a tomada de decisões em contextos de incerteza científica e potencial risco socioambiental, estabelece que, na ausência de certeza científica sobre os efeitos de uma atividade ou tecnologia (como o uso de agrotóxicos), a existência de uma ameaça plausível de dano grave ou irreversível justifica a adoção de medidas preventivas e protetivas (Souza; Marques, 2017).

de fatores envolvidos nesse processo, como: [...] o elevado número de estabelecimentos agropecuários instalados, as políticas públicas existentes, a falta de fiscalização pelas instituições públicas, entre outros.” (Souza; Marques, 2017, p. 499).

Por sua vez, em A09, Ramos e Fernando-Sobrinho (2018) buscando entender como licenciados da área de Ciências Naturais concebem a questão da exploração de diferentes fontes na matriz energética, apresentam a análise de um questionário com itens em escala Likert⁷ aplicado a 16 licenciandos em Química de uma instituição da Rede Federal de Educação Profissional e Tecnológica, da Região Centro-Oeste. Os autores reconhecem a relação predatória que a sociedade, sob a égide do modo de produção capitalista, possui com a natureza; bem como o papel central das grandes corporações nesse processo:

“Não há dúvidas de que o uso de determinadas fontes em uma matriz energética combina variados fatores[...]. Paralelamente, entretanto, há claros indícios de uma estrutura nociva que tem sido engendrada na sociedade sob duplo signo de dependência e dominação: de um lado, tem-se uma dependência em relação à oferta de energia para atender às demandas da sociedade; de outro, uma dominação sob o aspecto financeiro, comercial e tecnológico de grandes corporações que forçam a caracterização do consumo a seus próprios interesses.” (Ramos; Fernando-Sobrinho, 2018, p. 747-748).

“É inadmissível, porém, continuar com uma intensificação das atividades produtivas para atender à acumulação do capital, especialmente em razão da lógica consumista elevar (e muito) a geração de resíduos poluentes que são lançados no meio ambiente. Ao apoderar-se de enorme quantidade de energia, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, constata-se que o homem tem provocado acelerada degradação dos recursos naturais, acompanhada de excessiva liberação de carbono para a atmosfera e outros graves distúrbios biogeoquímicos que alteram a vida na Terra (Léna, 2012)”. (Ramos; Fernando-Sobrinho, 2018, p. 763).

Nos artigos enquadrados nessa categoria, é possível identificar o reconhecimento e a menção explícita às estruturas econômicas, políticas e sociais, a menção explícita de setores da economia e críticas de caráter sistêmico ao modelo de desenvolvimento hegemônico capitalista. Eles o fazem através da denúncia da dimensão antrópica da crise socioambiental, questionando o modelo de desenvolvimento capitalista hegemônico, o consumismo e os interesses econômicos que subjazem às questões ambientais. Essa abordagem demonstra uma

⁷ Instrumento de pesquisa utilizado para sistematizar atitudes, opiniões e/ou percepções por meio de um gradiente de respostas, permitindo uma análise quantitativa de dados subjetivos.

maior consonância com os princípios de uma perspectiva ampliada da Educação CTSA (Auler; Delizoicov, 2001; Auler, 2011), visto que, diferentemente das abordagens que individualizam a questão ou a reduzem a um problema técnico-administrativo – as quais tendem a reforçar os mitos da neutralidade científica (Auler; Delizoicov, 2001; Auler, 2011) – a perspectiva aqui analisada efetiva o enfrentamento desses mitos ao situar a C&T como uma atividade condicionada estruturalmente. Dessa forma, ao invés de abstrair ou ignorar as estruturas econômicas, políticas e sociais, da problemática ambiental, as coloca como determinantes centrais da crise socioambiental, dialogando com perspectivas críticas da Educação CTSA, ao combater visões neutras e autônomas da C&T, bem como destacar a dimensão política da crise socioambiental (Santos, 2008; Lima Júnior *et al.*, 2014).

Com base nessa primeira categorização, a maioria dos artigos analisados, 15 de 23, relacionam abstratamente os problemas socioambientais às estruturas econômicas, políticas e sociais, enquanto apenas 6 de 23 articulam essa relação de forma concreta. A baixa presença de artigos que não estabelecem essa relação de forma significativa, 2 de 23, em um primeiro momento, pode ser visto como um indício de que, as dimensões estruturais da crise socioambiental estejam sendo abordadas no campo da Educação CTSA; entretanto, isso não significa um aprofundamento das dimensões econômicas, políticas e sociais da problemática ambiental. A predominância de relações abstratas, em nosso recorte, pode indicar uma limitação na profundidade da crítica, pois, ao não identificar agentes e interesses de forma concreta, tem-se o risco de cair em uma perspectiva que naturaliza as estruturas capitalistas responsáveis endossando o mito do *determinismo tecnológico* e ao deslocar o problema a uma questão da administração “racional” dos recursos, reforça-se o mito da *superioridade do modelo de decisões tecnocráticas* (Auler; Delizoicov, 2001; Auler, 2011). Por sua vez, os artigos que articulam essa relação de forma concreta, ao identificarem os agentes em conflito, politizar a problemática ambiental e combater os mitos da neutralidade científica trazem o potencial crítico do campo da Educação CTSA.

4.2 Visões de Meio Ambiente com base na Educação Ambiental

Em relação à primeira macrotendência, *Conservacionista*, identificamos 3 artigos: A02, A03 e A19, que compõem aproximadamente 17% dos trabalhos. Em A02, Proença, Oslaj e Dal-Farra (2014) apresentam a análise das concepções de 151 discentes do ensino fundamental frente à uma prática educativa relacionada à espécies nativas e exóticas, bem como possíveis prejuízos à biodiversidade fruto da ação antrópica. Os autores privilegiam a

conservação do ambiente natural, frente ao processo de urbanização, com base na categoria moral genérica do “respeito”, bem como na correlação acrítica da relação entre conhecimento e preservação:

Há claras demonstrações de que o processo de urbanização e de desenvolvimento tecnológico, empreendido pelo ser humano nos últimos séculos, acarretou modificações drásticas nos biomas brasileiros, gerando prejuízos inevitáveis para a biodiversidade que neles habita. [...] Nesse contexto, o respeito ao ambiente e a conservação da biodiversidade representam questões que, necessariamente, devem ser discutidas no ambiente escolar [...]. (Proença; Oslaj; Dal-Farra, 2014, p. 52).

Diante da máxima que indica o *conhecer para preservar*, o currículo do ensino fundamental precisa contemplar a dimensão envolvida na questão da biodiversidade nativa, proporcionando que sejam conhecidas as espécies que se encontram no entorno da escola e da comunidade. (Proença; Oslaj; Dal-Farra, 2014, p. 54).

Ao colocar a contradição entre urbanização e conservação de forma que o mundo humano avança sobre o mundo natural através do processo de urbanização e que é preciso atuar na conservação do mundo natural, por meio do “respeito ao ambiente” se reforça o entendimento de que esses dois mundos estão apartados e que existem em dimensões diferentes, perpetuando uma visão fragmentada de Meio Ambiente. Há, nessa perspectiva, uma valorização de categorias que são articuladas de forma abstrata – como o “respeito” e o “conhecimento” – as quais, ao não serem conectadas à contextos sociopolíticos e epistêmicos específicos, tornam-se símbolos vazios, desprovidos de significação material concreta. Esses conceitos, quando esvaziados, são brandidos como bandeiras que, no entanto, não conduzem a uma análise das reais determinações da crise e, dessa forma, sua instrumentalização acaba por ocultar dimensões materiais que perpetuam a degradação ambiental ao apelarem para noções morais e cognitivas desatreladas análises concretas.

Nos demais trabalhos que identificamos nessa macrotendência também estão presentes esses elementos centrais: uma visão apartada entre o mundo humano e o mundo natural, valorização de dimensões subjetivas humanas no processo de preservação e a correlação acrítica entre o conhecimento e a preservação. Isso corresponde às perspectivas que eram comuns até os anos de 1980 e que, por vezes, ainda aparecem no discurso hegemônico das organizações, empresas e grandes veículos de comunicação em conjunção com o discurso *pragmático* – o qual, como veremos adiante, compartilha da mesma base conservadora – em

que há o destaque para dimensões das práticas ecologicamente corretas e da sensibilização individual, que ignora o fato de que a sociedade não é composta apenas do conjunto das ações individuais (Loureiro, 2007).

Em relação à segunda macrotendência, *Pragmática*, identificamos 14 trabalhos: A01, A04, A06, A07, A08, A12, A13, A14, A15, A16, A18, A20, A21 e A22, que compõem aproximadamente 60% dos trabalhos. Em A04, Moreira, Aires e Lorenzetti (2007), apresentaram os resultados de uma revisão bibliográfica que buscou analisar contribuições da abordagem CTS e da Química Verde (QV) para o ensino de química. Os autores, apesar de reconhecerem os possíveis impactos negativos do desenvolvimento científico e tecnológico para o Meio Ambiente e a saúde humana, culpabilizam as “atitudes inconscientes” e “mal planejadas”, que podem ser solucionadas a partir do desenvolvimento de “conhecimentos e habilidades” na tomada de decisões.

“Sabe-se que a Ciência e a Tecnologia continuarão avançando, pois todos preferem um computador atualizado, um celular novo, novos tratamentos e exames que sejam mais eficazes e etc. Porém, agir com responsabilidade perante essas modificações constantes é essencial, já que atitudes inconscientes e mal planejadas podem provocar prejuízos ao meio ambiente e a saúde humana, logo, essas mudanças podem iniciar na formação de um indivíduo enquanto cidadão.” (Moreira; Aires; Lorenzetti, 2007, p. 197).

“Dessa forma, a abordagem CTS quando inserida na educação em ciências tem como finalidade promover o conhecimento científico e tecnológico, porém de maneira que auxilie o estudante a desenvolver conhecimentos e habilidades que o oriente à tomar decisões sobre questões relacionadas a ciência e a tecnologia e as relações destas com a sociedade.” (Moreira; Aires; Lorenzetti, 2007, p. 198).

Em A16, Silva e colaboradores (2020) buscaram conhecer as opiniões de estudantes do Ensino Médio de escolas da rede pública e privada da cidade de Canoas no Rio Grande do Sul, a respeito dos desafios ambientais atuais, por meio da aplicação de um questionário em escala Likert. Os autores reconhecem a importância das diferentes dimensões na abordagem da questão ambiental, entretanto, não fica clara a forma com que identificam os efeitos da ação antrópica no ambiente e acabam por defender uma perspectiva de sustentabilidade abstrata e ancorada em noções de “atitudes, perspectivas e ética” descontextualizadas de uma análise materialista da questão ambiental:

“[...] o ensino de ciências deve ter seu enfoque voltado à sustentabilidade, pois assim, seriam enfatizados no processo de ensino

a aprendizagem de atitudes, perspectivas que orientam os seres humanos a viverem de forma integrada ao ambiente, ao mesmo tempo em que os estimulam a se tornarem responsáveis pela promoção do desenvolvimento sustentável no meio onde vivem.” (Silva *et al.*, 2020, p. 2).

“A ética da sustentabilidade propõe a interligação de processos ecológicos, sociais, econômicos, culturais e tecnológicos a fim de se obter uma sociedade sustentável.” (Silva *et al.*, 2020, p. 3).

Os trabalhos que compõem essa categoria reconhecem o impacto da ação antrópica no Meio Ambiente, mas costumam o fazer com base numa visão dualista que aparta Meio Ambiente e Sociedade. Frequentemente se utilizam de conceituações abstratas, que, por estarem descontextualizadas de uma crítica concreta à sociedade capitalista, acabam por normalizar a dominação do capital sobre o Meio Ambiente; pois não identificam os agentes e interesses econômicos concretos que perpetuam a exploração do Meio Ambiente e reduz a contradição do crescimento econômico infinito à um problema técnico-administrativo pautado na eficiência e nas escolhas corretas. Também é bastante presente a defesa do ideal de “sustentabilidade” sem uma apreensão crítica do termo, que é associado ao conceito de “desenvolvimento sustentável”. Entretanto, em nossa sociedade, o conceito de “desenvolvimento” está diretamente atrelado à ideia de “crescimento econômico” e ao consumo; dessa forma, emerge a contradição entre o ideal de “sustentabilidade” e uma perspectiva de exploração exponencial da natureza (Loureiro, 2016).

Em relação à terceira macrotendência, *Crítica*, identificamos 6 artigos: A05, A09, A10, A11, A17 e A23, que compõem aproximadamente 26% dos trabalhos. Em A11, Luz e colaboradores (2019) apresentam os resultados de uma investigação de compreensões de licenciandos em Química de uma Universidade Estadual, sobre as relações entre Meio Ambiente, Ciência, Tecnologia e Sociedade, por meio de entrevistas semiestruturadas em que se problematizou situações problemáticas e controversas da atualidade. Os autores criticam visões reducionistas do Meio Ambiente enquanto natureza desconectada da Sociedade e posicionam-se politicamente em sua prática educativa, reconhecendo os mecanismos de dominação:

“É preciso desconstruir a visão de Ciência como se fosse produção individual de pessoas extraordinárias; a Tecnologia como mero produto da Ciência; a Sociedade como um agrupamento de pessoas homogêneas e o Meio Ambiente como se fosse apenas natureza impactada.” (Luz *et al.*, 2019, p. 539).

“O Meio Ambiente, por sua vez, longe de ser reduzido apenas à natureza, representa o lugar constituído por relações ecológicas, sociais, culturais, políticas, históricas, científicas e tecnológicas que, integradas umas às outras, sintetizam a existência do mundo e das possibilidades criadoras.” (Luz *et al.*, 2019, p. 542).

“Assumir uma práxis educativa em Ciências pautada nos pressupostos CTS e da Educação Ambiental Crítica, pressupõe se colocar num movimento de embate contra o saber curricular cristalizado e práticas de ensino habituais; contra a imposição de um “caminho único” em educação, combatendo o mito da existência de uma verdade absoluta, desprovida de ideologias e vieses. Pressupõe também um embate intencional contra as bases institucionais que buscam conservar seus mecanismos de dominação da sociedade, ao passo que investimos esforços conjuntos para criar possibilidades reais de enfrentamento dos problemas cotidianos numa perspectiva consciente, política, reflexiva e crítica de transformação social” (Luz *et al.*, 2019, p. 558-559).

Em A23, Melo e Andrade (2024) apresentam uma análise de um projeto de extensão que buscou discutir o fenômeno da pandemia e sua relação com a degradação ambiental, por meio de palestras on-line com pesquisadores e grupos de resistência comprometidos com a preservação ambiental. Os autores reconhecem a relação exploratória da sociedade frente à natureza; bem como os interesses políticos e econômicos que subjazem nessa relação, o que é perceptível ao problematizar as contradições do discurso político sobre o desenvolvimento nos países do “Terceiro Mundo” e questionar os interesses por trás da produção de commodities em contraposição a formas mais harmônicas de se produzir alimento:

A exploração devastadora do meio ambiente natural, sem avaliação de riscos, para permitir o acesso a minérios; o cultivo de monoculturas, quase sempre não associadas à produção de alimentos; a exploração da madeira e outras ações predatórias, levará à evolução de novas pandemias. Nos países do chamado Terceiro Mundo impera o discurso político de que desenvolvimento tecnológico gera trabalho e igualdade social. No entanto, na América Latina, é nítido a precarização do trabalho e das leis trabalhistas, o empobrecimento da população, o aumento da desigualdade social, a devastação ambiental causada pela exploração de recursos físicos da terra para atendimento de uma demanda dos países industrializados e uma consequente exposição a riscos [...]. (Melo; Andrade, 2024, p. 5).

“[...] A quem interessa e beneficia a agricultura de produção de commodities apoiada nos insumos sintéticos e sementes não férteis transgênicas? Quem é impactado e fortalecido com a agricultura de sobrevivência mais harmônica com o meio ambiente natural? A agricultura apoiada em estratégias agroecológicas se contrapõe ao desenvolvimento econômico do país?” (Melo; Andrade, 2024, p. 18).

Os trabalhos identificados nessa categoria apresentam diferentes críticas à relação exploratória de dominação da sociedade capitalista para com a natureza, baseada na concepção dualista que aparta a sociedade humana e o meio ambiente natural. Também está presente a crítica aos interesses políticos e econômicos por trás dos movimentos do capital, bem como um posicionamento político e pedagógico crítico à essa relação de dominação com a Natureza e em favor de uma transformação social que vá para além da forma capitalista. É necessário trazer a interface entre elementos político-ideológicos, pois estes constituem as mediações entre seres humanos e a natureza – relações de classe historicamente constituídas – para a compreensão de que a crise socioambiental se manifesta na natureza, mas que tem origem nos conflitos sociais (Loureiro; Layrargues, 2013).

Cabe ressaltar que as macrotendências *conservacionistas* e *pragmáticas* são derivadas de uma mesma linha de pensamento, denominada por *conservadora*, em que o problema não estaria relacionado aos aspectos estruturais da sociedade capitalista (Layrargues; Lima, 2014). A macrotendência *conservacionista* afasta-se da perspectiva política e sociológica da crise ambiental, aproximando-se da perspectiva individualizante; ao passo em que a macrotendência *pragmática* mantém a essa mesma perspectiva, mas vem a acrescentar a dimensão do trato “técnico” dos “recursos” naturais, bem como formas de responsabilização e regulação que muitas vezes se mostram ineficazes (Layrargues; Lima, 2014).

Com base nessa segunda categorização, referente às visões de Meio Ambiente associadas às macrotendências político-pedagógicas da Educação Ambiental, constatamos a predominância das visões alinhadas às macrotendências *conservadoras*, representando 17 dos 23; que é composta por uma parcela menor que se aproxima da macrotendência *conservacionista*, 3 dos 17; e uma parcela maior que se aproxima da macrotendência *pragmática*, 14 dos 17. O que dialoga diretamente com os resultados da seção anterior (4.2), em que a maioria dos artigos (17 dos 23), relacionava os problemas ambientais às estruturas sociais de forma abstrata (15 dos 17) ou não os relaciona de forma significativa (2 dos 17). Este resultado corrobora o pressuposto que define as macrotendências conservadoras pela dificuldade em articular concretamente a crise socioambiental com as estruturas econômicas, políticas e sociais da sociedade capitalista. Isso pode ser explicado pela influência hegemônica da racionalidade técnico-instrumental na sociedade capitalista contemporânea, que, naturaliza o modelo de desenvolvimento hegemônico, reduz os problemas ambientais à suas dimensões individualistas/administrativas e reforça a visão reducionista do Meio Ambiente, que o trata como um sistema a-histórico e apartado das relações sociais.

5. Considerações Finais

A presente revisão bibliográfica de parte da produção nacional da última década do campo da Educação CTSA permitiu-nos problematizar como parte expressiva dessa produção vem abordando a problemática socioambiental contemporânea e sua relação com o desenvolvimento C&T. Por meio da revisão, identificamos que a maior parte dos trabalhos analisados (17 dos 23) apresentam dificuldades em estabelecer relações concretas entre a crise socioambiental e as estruturas econômicas, políticas e sociais, destes a maior parte apresentam essa relação de forma abstrata (15 dos 17) e uma menor parte não fazem essa relação de forma significativa (2 dos 17). Essa análise é reforçada pela categorização das visões de Meio Ambiente subjacentes nos trabalhos de nosso recorte, em que a maior parte dos trabalhos apresentam visões de Meio Ambiente que aproximam-se de macrotendências *conservadoras* (17 dos 23), sendo a maior parte visões que aproximam-se da macrotendência *pragmática* (14 dos 23) e uma menor parte da *conservacionista* (3 dos 23). Grande parte dos artigos, dessa forma, tratam dos problemas ambientais contemporâneos de forma despolitizada e desvinculada das causas estruturais da crise e possuem, de forma subjacente, visões de Meio Ambiente que o reduzem ora a um conjunto de “recursos” a ser gerenciados de forma eficiente, ora como natureza intocada a ser preservada via sensibilização individual.

Contrariamente, entretanto, identificamos na revisão uma parte menor de artigos que abordam as questões ambientais estabelecendo relações concretas com as estruturas econômicas, políticas e sociais, e que aproximam-se da macrotendência *crítica* (6 dos 23); esses trabalhos destacam-se por identificar agentes, setores da economia e/ou interesses políticos e econômicos específicos, bem como por apresentar visões de Meio Ambiente mais abrangentes e menos simplistas – sua representatividade numérica, no entanto, ainda é modesta perante a predominância das demais abordagens.

A predominância de abordagens que, mesmo ao mencionarem estruturas sociais, o fazem de forma abstrata e despolitizada – ou seja, que deslocam o foco das causas estruturais e dos conflitos políticos-econômicos para soluções técnico-administrativas e individualizantes –, em consonância com visões conservadoras de Meio Ambiente, revela uma significativa limitação no potencial crítico da produção analisada, dado que a superação dos mitos da neutralidade científica é central para uma perspectiva ampliada da Educação CTSA (Auler; Delizoicov, 2001; Auler, 2011). Dessa forma, os resultados dessa revisão apontam para a necessidade do campo da Educação CTSA radicalizar sua crítica, superando a limitação das

análises despolitizantes e avançando na investigação das determinações materiais do desenvolvimento C&T e da crise socioambiental. Por fim, é importante reconhecer que os achados deste estudo estão circunscritos ao recorte metodológico adotado, o qual, oferece um retrato da produção do campo, mas não necessariamente exaustivo de toda a sua diversidade. Recomendamos, para pesquisas futuras, a ampliação do escopo da revisão para incluir, por exemplo, anais de eventos, dissertações e teses. Esperamos, com esta revisão, termos contribuído para um diagnóstico do campo e para fomentar um debate que fortaleça o potencial crítico da Educação CTSA.

Referências

- Alves, Richard; Fonseca, Giselle Rôças de Souza. Transposição Do Rio São Francisco – o Uso Da Controvérsia Controlada Como Meio De Promover Aproximações Entre o Enfoque Educacional CTS e Educação Ambiental Crítica. **IENCI: Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 211-231, 2018.
- Auler, Décio; Bazzo, Walter Antonio. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 01, p. 01-13, 2001.
- Auler, Décio; Delizoicov, Demétrio. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 3, n. 2, p. 122-134, 2001.
- Auler, Décio. Novos caminhos para a educação CTS: ampliando a participação. Em: Santos, Wildson Luiz Pereira dos; Auler, Décio. **CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa**, Brasília: Editora da UNB, 2011.
- Banheza, Karen Vanessa Gozer; Palcha, Leandro Siqueira. Narratividades em contos de ficção científica: margens para ampliar e aprofundar as inter-relações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 438-449, 2019.
- Bardin, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- Bourscheid, Jacinta Lourdes Weber; Farias, Maria Eloisa. A convergência da educação ambiental, sustentabilidade, ciência, tecnologia e sociedade (CTS) e ambiente (CTSA) no ensino de ciências. **Revista Thema**, v. 11, n. 1, p. 24-36, 2014.
- Cavalcanti, Marcello Henrique da Silva; Ribeiro, Matheus Marques; Barro, Mario Roberto. Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS. **Ciência & Educação**, v. 24, n. 4, p.859-874, 2018.
- Cerezo, José Antonio López. Ciencia, tecnología y sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. **Revista Iberoamericana de Educación**, n. 18, p. 41-68, 1998.
- Correa, Beatriz Fernandes; Silveira, Rosemari Monteiro Castilho Foggiano; Maciel, Nilcéia Aparecida Pinheiro. Educação ambiental: Conscientização sobre resíduos sólidos no contexto Ciência, Tecnologia e Sociedade – CTS. **Espacios**, v. 36, n. 6, p. 10-17, 2015.

Faria, Carmen Roselaine de Oliveira; Freitas, Denise de. Educação ambiental e relações CTS: uma perspectiva integradora. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. esp., p. 1-13, 2007.

Fonseca, Eril Medeiros da; Franco, Ronan Moura. Em tempos de Coronavírus: reflexões sobre a pandemia e possibilidades de abordagem no Ensino de Ciências a partir da Educação CTS. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

Franco, Maria Laura Puglisi Barbosa. **Análise de conteúdo**. Brasília: Liber Livro Editora, 2005.

Freitas, Nadia Magalhães da Silva; Marques, Carlos Alberto. Abordagens sobre sustentabilidade no ensino CTS: educando para a consideração do amanhã. **Educar em Revista**, n. 65, p. 219-235, 2017.

Freitas, Nadia Magalhães da Silva; Marques, Carlos Alberto. Sustentabilidade e CTS: o necessário diálogo na/para a Educação em Ciência em tempos de crise ambiental. **Educar em Revista**, v. 35, n. 77, p. 265-282, 2019.

Grant, Maria; & Booth, Andrew. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. **Health information & libraries journal**, v. 26, n. 2, p. 91-108, 2009.

Layrargues, Philippe Pomier; Lima, Gustavo Ferreira da Costa. As macro-tendências político-pedagógicas da educação ambiental brasileira. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, p. 23-40, 2014.

Lima Júnior, Paulo; Deconto, Diomar Caríssimo Selli; Andrella Neto, Ricieri; Cavalcanti, Cláudio José de Holanda; Ostermann, Fernanda. Marx como referencial para análise de relações entre ciência, tecnologia e sociedade. **Ciências & Educação**, v. 20, n. 1, p. 175-194, 2014.

Linsingen, Irlan von. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. esp., p. 1-13, 2007.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo. Educação ambiental crítica: contribuições e desafios. Em: **Vamos cuidar do Brasil: conceitos e práticas em educação ambiental na escola**. Ministério da Educação, Coordenação Geral de Educação Ambiental: Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Educação Ambiental: UNESCO, 2007.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo; Lima, Jacqueline Girão Soares de. Educação ambiental e educação científica na perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade: pilares para uma educação crítica. **Acta Scientiae**, v. 11, n. 1, p. 88-100, 2009.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo; Layrargues, Philippe Pomier. Ecologia Política, Justiça e Educação Ambiental Crítica: Perspectivas de Aliança Contra-Hegemônica. **Trabalho, Educação e Saúde**, v. 11, n. 1, p. 53-71, 2013.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo. O dito e o não dito na “década da educação para o desenvolvimento sustentável” promovida pela Unesco. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 58-71, 2016.

Luz, Rodrigo; Queiroz, Marcelo Bruno Araújo; Prudêncio, Christiana Andréa Vianna. CTS ou CTSA: O Que (Não) Dizem as Pesquisas sobre Educação Ambiental e Meio Ambiente? **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 31-54, 2019.

Luz, Rodrigo; Almeida, Eliane dos Santos; Nascimento, Elisangela Silva do; Prudêncio, Christiana Andréa Vianna. Professores de Química em Formação Inicial: o que Pensam e Dizem sobre as Relações entre Meio Ambiente, Ciência, Tecnologia e Sociedade. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 537-563, 2019.

Luz, Rodrigo; Almeida, Eliane dos Santos; Almeida, Rosileia Oliveira de. Educação Ambiental e Educação CTS Numa Perspectiva Freireana: a Necessária Superação da Contradição Entre Conservação e Desenvolvimento. **IENCI: Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 3, p. 162-189, 2020.

Maestrelli, Sandra Godoi; Lorenzetti, Leonir. A abordagem CTSA nos anos iniciais do ensino fundamental: contribuições para o exercício da cidadania. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 1, p. 14-57, 2021.

Melo, Marlene Rios; Andrade, Tatiana Santos. Temas controversos na educação: Relações entre questões ambientais e surgimento de pandemias. **Periferia**, v. 16, p. 1-30, 2024.

Moreira, Amanda Magagnin; Aires, Joanez Aparecida; Lorenzetti, Leonir. Abordagem CTS e o conceito química verde: possíveis contribuições para o ensino de química. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 193-210, 2017.

Ohi, Ana Gabriela Kolde; Ganiko-Dutra, Matheus. Sustentabilidade na Prática: A Realidade da Educação Ambiental em uma Escola Pública do Estado de São Paulo. **Revista Hipótese**, Bauru, v. 9, n. 00, p. 1-23, 2023.

Passos, Kévila Kelma Nascimento Silva dos; Silva, Milady Renata Apolimário da. Análise de uma sequência didática para o estudo em Ictiologia por meio de ludicidade e metodologias ativas com base na BNCC e na abordagem CTSA. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, 2021.

Proença, Mariana de Souza; Oslaj, Eduardo Ubel; Dal-Farra, Rossano André. As Percepções De Estudantes Do Ensino Fundamental Em Relação Às Espécies Exóticas E O Efeito Antrópico Sobre O Ambiente: Uma Análise Com Base Nos Pressupostos Da Ctsa - Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 51-66, 2014.

Ramos, Tiago Clarimundo; Fernandes-Sobrinho, Marcos. As fontes de energia e algumas inter-relações CTS concebidas por licenciandos da área de Ciências Naturais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 746-765, 2018.

Santos, Francisca Samara Muniz dos; Lima, Leonardo Alves de; Brito, Luiza Maria Valdevino; Bezerra, Norma Suely Ramos Freire; Gonçalves, Patricia Almeida Tavares. O Ensino de Biologia com enfoque CTSA: Uma Abordagem sobre Educação Ambiental e Sustentabilidade no Ensino Médio da Rede Pública do estado do Ceará. **Revista Insignare Scientia**, v. 3, n. 2, p. 406-427.

Santos, Wildson Luiz Pereira dos. Educação científica humanística em uma perspectiva freireana: resgatando a função do ensino de CTS. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 109-131, 2008.

Santos, Wildson Luiz Pereira dos. Significados da educação científica com enfoque CTS. Em: Santos, Wildson Luiz Pereira dos; Auler, Décio. **CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa**, Brasília: Editora da UNB, 2011.

Santos, Wildson Luiz Pereira dos. Educação CTS e cidadania: confluências e diferenças. **Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 9, n. 17, p. 49-62, jul./dez. 2012.

Silva, Cristine Santos de Souza da; Prochnow, Tania Renata; Pellegrini, Giuseppe; Bizzo, Nelio. Pesquisa de Percepções de Estudantes do Ensino Médio sobre os Desafios Ambientais. **Ciência & Educação**, v. 26, 2020.

Silva, Luciano Fernandes; Carvalho, Luiz Marcelo de. A Temática Ambiental a as Diferentes Compreensões dos Professores de Física em Formação Inicial. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, p. 369-383, 2012.

Souza, Leila Cristina Aoyama Barbosa; Marques, Carlos Alberto. Discussões Sociocientíficas sobre o Uso de Agrotóxicos: uma Atividade Formativa Problematicada pelo Princípio da Precaução. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 2, p. 495-519, 2017.

Souza, Bruna Costa de; Valadares, Juarez Melgaço. O ensino de ciências a partir da temática Mineração: uma proposta com enfoque CTS e três momentos pedagógicos. **Ciência & Educação**, v. 28, p. 1-16, 2022.

Strieder, Roseline Beatriz. **Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas**. Tese de Doutorado em Ciências/Ensino de Física - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Trein, Eunice Schilling. A educação ambiental crítica: crítica de que? **Revista Contemporânea de Educação**, v. 7, n. 14, agosto/dezembro, 2012.

ARTIGO 2 - A crise socioambiental e o desenvolvimento C&T – por uma Educação CTSA Radical

Resumo:

Este ensaio teórico problematiza os limites da Educação CTSA tradicional na compreensão da crise socioambiental contemporânea, tomando como ponto de partida uma revisão bibliográfica (cap. 1) que identificou a predominância, em um recorte na produção da última década, de análises que relacionam de forma abstrata ou que não relacionam de forma significativa, os problemas ambientais com as estruturas econômicas, políticas e sociais. Para abordar essa lacuna, realizamos uma aproximação crítica com o referencial teórico marxista, em especial de categorias da crítica da economia política e da ecologia marxista e, a partir dessa fundamentação, demonstrar de que forma o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (C&T) está estruturalmente condicionado à lógica de acumulação de capital, e que a crise socioambiental é, portanto, um fenômeno inerente e não acidental do modo de produção capitalista. Centralmente, advogamos pela necessidade de uma Educação CTSA *Radical*, pautada em uma radicalização do potencial crítico do campo; em uma leitura crítica estrutural da crise socioambiental e de sua relação com o desenvolvimento C&T; e em uma perspectiva que compreende a educação como espaço contraditório de disputa política e que deve objetivar a formação crítica para o desvelamento das raízes estruturais da crise socioambiental, apontando para a necessidade de uma transformação política das estruturas que a engendram.

Palavras Chaves: Educação CTSA; Crise Socioambiental; Desenvolvimento C&T; Marxismo; Ruptura Metabólica; Paradoxo da Eficiência; Imperialismo Ecológico.

1. Introdução

A Educação CTSA emerge, fundamentalmente, de uma revisão crítica do papel do desenvolvimento científico e tecnológico (C&T) na sociedade, especialmente diante da constatação de que o desenvolvimento C&T dos meados do século XX não se traduziram apenas em bem-estar social, mas também em consequências negativas – como os bombardeios atômicos e diversos impactos ambientais (Auler; Bazzo, 2001). Nesse sentido, a Educação CTSA, visando superar uma visão socialmente neutra da C&T, propõe uma reorientação do ensino das ciências, deslocando o foco da transmissão de conhecimentos e da preparação de carreiras científicas para um ensino focado na formação cidadã, conectando os

conteúdos científicos aos problemas socioambientais contemporâneos por meio de uma abordagem contextualizada (Linginsen, 2007; Santos, 2012).

Nesse processo de formação, um dos objetivos centrais da Educação CTSA é o entendimento e o enfrentamento dos chamados *mitos da neutralidade científica*, conforme destacado por Auler e Delizoicov (2001). Os mitos, a saber: i) superioridade do modelo de decisões tecnocráticas, que consiste na crença de que as decisões políticas e sociais devem ser tomadas por “especialistas”, pois conseguem ser imparciais, neutros e baseados apenas na C&T; ii) perspectiva salvacionista da C&T, em que o desenvolvimento da C&T sempre acarreta em progresso e resolução de problemas de ordem social, por meio da concepção linear de desenvolvimento; iii) Determinismo tecnológico, que consiste na crença de que o desenvolvimento C&T segue uma lógica própria, determinando as relações sociais mas não sendo influenciada por elas. A superação desses mitos é compreendida como condição essencial para uma concepção de Educação CTSA *ampliada*, em contraposição à uma concepção *reducionista*, em que os mitos são reforçados (Auler; Delizoicov, 2001). Entretanto, como veremos a seguir, mesmo esta perspectiva ampliada pode encontrar limites ao enfrentar a dimensão estrutural da crise socioambiental contemporânea.

O movimento CTSA, como documentado por Aikenhead (2003), emergiu no contexto dos países do Norte Global, como Estados Unidos, Canadá e Reino Unido, em resposta à indignação com os efeitos negativos do desenvolvimento C&T. No entanto, por meio da análise de Aikenhead (2003), podemos perceber que, mesmo em suas formas mais progressistas, o movimento da Educação CTSA operava dentro de uma perspectiva de reforma, pois buscava uma “melhor gestão” do desenvolvimento C&T, o tornando mais democrático e responsivo aos problemas sociais, mas dentro da dinâmica da sociedade capitalista. O autor também comenta que o *slogan* CTS reunia um grupo diversificado de posicionamentos e que propostas e materiais mais “radicais” foram publicamente banidos de alguns sistemas escolares (p. 9) e registra críticas contemporâneas como a de Jenkins (1994, 2000) à alguns projetos CTSA dos EUA que apenas serviam para complementar o ensino das ciências feita da forma tradicional. Essas características de buscar reforma dentro do sistema estabelecido e a exclusão de perspectiva mais radicais encontram eco na produção recente do campo no Brasil, conforme revelado pela revisão bibliográfica realizada no primeiro capítulo desta dissertação.

Nossa revisão bibliográfica, mostrou que uma parcela significativa dos artigos analisados (17 dos 23) apresentam dificuldades em articular concretamente a problemática ambiental com as estruturas econômicas, políticas e sociais, predominando relações abstratas (15 dos 17) ou mesmo a ausência de relações significativas (2 dos 17). Essa tendência se reflete também nas visões de Meio Ambiente subjacentes, com hegemonia de visões que se aproximam das macrotendências pragmáticas e conservacionistas da Educação Ambiental, que são despolitizantes, pois reduzem a problemática ambiental à uma questão de sensibilização individual e/ou “gestão adequada dos recursos”, ocultando os mecanismos de exploração e os conflitos sociais que estão na raiz da crise socioambiental (Layrargues; Lima, 2014). Os achados da revisão, dessa forma, corroboram e expandem as limitações históricas apontadas por Aikenhead (2003), apontando dificuldades em incorporar análises estruturais.

Os resultados da revisão bibliográfica indicam que a abordagem tradicional da Educação CTSA tem dificuldades de ir à raiz do problema da crise socioambiental contemporânea, dessa forma mostra-se mostra-se insuficiente para uma compreensão adequada desse problema. Isso acontece porque, esta crise não se configura apenas como um efeito colateral do desenvolvimento C&T que pode ser resolvido somente por meio da sensibilização individual ou pela melhor administração dos “recursos” naturais; a crise socioambiental é um produto da forma sistêmica-exploratória com que a perspectiva desenvolvimentista da sociedade contemporânea exacerbada no sistema capitalista pela busca constante de lucro em um sistema material finito, se relaciona com a natureza, a reduzindo a um conjunto de “recursos” a serem explorados, visando a acumulação infinita de capital (Layrargues; Lima, 2014; Trein, 2012).

Dessa forma, a crítica, usualmente, feita pela Educação CTSA apresenta um caráter limitado, pois seu foco reside em questionar a dimensão da aplicação do desenvolvimento da C&T, sem, entretanto, problematizar a lógica do sistema capitalista subjacente que organiza a produção e o desenvolvimento da C&T (Cavalcanti; Ribeiro; Barro, 2018; Alves; Fonseca, 2018; Banheza; Palcha, 2019; Ohi; Ganiko-Dutra, 2023). Ou seja, a demanda pela maior participação pública nas tomadas de decisão, visando torná-las mais inclusivas e transparentes, baseia-se em um ideal de democratização desse acesso dentro da estrutura social vigente, que ao ignorar os interesses econômicos e as relações de poder desiguais que permeia e determinam essas decisões, acaba por se tornar despolitizante. Assim, a crise socioambiental corre o risco de ser interpretada por essa abordagem não como um produto da

lógica expansionista do capital, mas apenas como um mero desvio a ser corrigido por meio da sensibilização individual e de uma administração mais eficiente.

Apoiados nos resultados da revisão bibliográfica realizada, nossa hipótese é a de que a origem e desenvolvimento inicial da Educação CTSA no Norte Global se articulam, portanto, com o pensamento ambiental hegemônico despolitizante que se consolidou globalmente, especialmente em torno do conceito de “desenvolvimento sustentável”. Este, na sociedade capitalista, mostra-se contraditório, pois, segundo Loureiro (2016) “é uma condição intrínseca ao capitalismo estabelecer o conceito de desenvolvimento como fundamentalmente crescimento econômico”. Nesse contexto, como identificado por Layrargues e Lima (2014), duas perspectivas passaram a dominar o debate ambiental: a conservacionista – que enfatiza a sensibilização individual, a afetividade e a conservação de uma suposta natureza externa, apartada da sociedade – e pragmática – que reduz a questão ambiental a uma questão de administração técnica de “recursos”.

Embora a produção brasileira do campo da Educação CTSA tenha avançado significativamente, especialmente no reconhecimento e enfrentamento dos “mitos da neutralidade científica” (Auler; Delizoicov, 2001; Auler, 2002), identificamos, a partir de nossa revisão, que a análise frequentemente não avança para uma crítica das dimensões estruturais econômicas, políticas e sociais. O trabalho de Auler e Delizoicov (2001), por exemplo, faz uma importante crítica visando desmistificar a imagem neutra da C&T, ancorada na perspectiva de educação Freireana como “uma leitura crítica do mundo” (p. 128). Este é um passo necessário, mas a análise não deve se encerrar ao demonstrar que a C&T é impregnada de valores, para ser uma análise melhor embasada e alinhada às diretrizes idealizadas da abordagem CTSA ela deve prosseguir para as críticas da bases materiais que sustentam esses mitos da neutralidade do desenvolvimento da C&T.

Uma importante contribuição nessa direção foi dada por Lima Júnior e colaboradores (2014), que se utilizaram das categorias da crítica da Economia Política marxiana, para analisar os mitos da neutralidade científica e mostrar como o desenvolvimento C&T é estruturalmente impulsionado pela lógica da acumulação de capital, pois “inovações científicas e tecnológicas tendem a ser empregadas em larga escala na medida em que representam alternativas economicamente mais rentáveis para o capitalista” (p. 184). Defendemos que essa mesma lógica é central para entender a crise socioambiental; pois, na sociedade capitalista, os avanços da C&T que aumentam a eficiência da produção, que

possibilitaria uma produção maior utilizando menos recursos, dentro do sistema capitalista é direcionada para expandir a escala de exploração da natureza. Este fenômeno, conhecido como Paradoxo de Jevons, Efeitos Rebote ou Paradoxo da Eficiência (conceitos que serão aprofundados nas seções ulteriores), revela que a eficiência, longe de levar à preservação, acaba servindo para intensificar a acumulação e, por conseguinte, a degradação ambiental (Sá Barreto, 2018).

Diante do exposto, o presente capítulo tem como objetivo apresentar as primeiras reflexões para um modelo teórico-conceitual que vise superar as críticas e lacunas apresentadas à Educação CTSA tradicional por meio de uma aproximação com o referencial marxista. Para isso dividimos o capítulo em três partes: primeiramente discutiremos categorias centrais da crítica da economia política para apreender a dinâmica do modo de produção capitalista; em seguida, analisaremos como o desenvolvimento C&T é apropriado por essa lógica e sua relação direta com a crise socioambiental; por fim, situaremos a educação enquanto um complexo contraditório, entre sua função reprodutora do sistema e seu potencial emancipatório, apontando para a necessidade de uma CTSA Radical capaz de enfrentar a crise socioambiental em que nos encontramos.

2. Algumas categorias basilares do referencial marxista

Conforme atestado na revisão bibliográfica, uma grande parte dos trabalhos analisados (17 dos 23) apresentam dificuldades em relacionar de forma concreta os problemas ambientais às estruturas econômicas, políticas e sociais que os condicionam. Essa relação é necessária, pois a raiz do problema ambiental encontra-se na forma com que a sociedade organiza-se para produzir seus bens materiais e reproduzir-se; na forma específica da sociedade capitalista, orientada para a acumulação, subordina-se a natureza e o trabalho à lógica do lucro, esgotando as bases materiais da reprodução da vida (Trein, 2012). Nessa perspectiva, é necessário um arcabouço teórico que vá além da crítica apenas no que diz respeito à aplicação da C&T, mas que critique também o desenvolvimento C&T dentro das bases materiais da sociedade que o condiciona.

Neste contexto, defendemos a aproximação com o referencial marxista, visto que, historicamente, a tradição marxista vem se dedicando à análise e à crítica da sociedade capitalista, de suas contradições, de sua estrutura e dinâmica, visando sua superação. Essa aproximação já foi feita, como citamos anteriormente, por Lima Júnior e colaboradores (2014), que utilizaram de categorias da crítica da Economia Política Marxiana, em especial a

mais-valia relativa, presente n’*O Capital*, pois nela “encontram-se fundamentos teoricamente consistentes e historicamente consagrados para a compreensão crítica dos fundamentos da sociedade capitalista e suas correspondentes relações de produção e circulação de bens” (*Ibid.*, p. 178).

O referencial marxista oferece categorias para uma compreensão radical das relações sociais e da sua interdependência com a natureza, que se dá a partir da centralidade da atividade econômica na análise da sociedade capitalista (Netto; Braz, 2006). A atividade econômica pode ser definida como “o processo que envolve a produção e a distribuição dos bens que satisfazem as necessidades individuais ou coletivas dos membros de uma sociedade” (Netto; Braz, 2006, p. 29). Central na análise da atividade econômica é a categoria de *trabalho* que, para além da perspectiva veiculada cotidianamente, é entendida na tradição marxista como a atividade pela qual os seres humanos historicamente transformam a natureza para satisfazer suas necessidades materiais (*Ibid.*).

Nessa perspectiva, o trabalho também é compreendido como processo central na organização da vida social, pois é através dele que os seres humanos em sociedade reproduzem as condições de sua existência (Netto; Braz, 2006). Contudo, na tradição marxista, o trabalho não é visto como uma atividade qualquer, mas como uma forma especial de mediação entre os seres humanos e a natureza, que constitui ambos; visto que ao modificar a natureza, os seres humanos modificam-se a si mesmos, diferenciando-se dos outros animais (*Ibid.*). Já a natureza modificada pelos seres humanos é marcada pela história do desenvolvimento do gênero humano, carrega essa historicidade e vai constituir, em conjunto com a sociedade, o Meio Ambiente – categoria que, na Educação Ambiental Crítica, compreende a interação entre os sistemas sociais e ecológicos, e não apenas a dimensão natural (Layrargues, 2009).

Dessa forma, o trabalho é atividade fundante pela qual a humanidade produz e reproduz sua existência material e social, já a forma com que essa atividade é organizada em cada momento histórico, ou seja, como os seres humanos se relacionam entre si e com a natureza no processo de produção, constitui o que a tradição marxista denomina por *modo de produção* (Netto; Braz, 2006). Ou seja, a produção em uma sociedade, feita por meio da atividade do trabalho, não se dá de forma genérica, mas sim de uma forma concreta, determinada historicamente. Ao longo da história da humanidade, houve diferentes formas de se organizar o trabalho na sociedade, o que resulta em diferentes modos de produção, como,

por exemplo, o modo de produção escravista, o modo de produção feudal e o modo de produção capitalista, a qual a sociedade contemporânea encontra-se.

O modo de produção é uma categoria dialética que corresponde à dinâmica entre as *forças produtivas* e as *relações de produção*. Segundo Netto e Braz (2006), as *forças produtivas* consistem na combinação entre: i) Os *meios de produção* – que abrangem os objetos do trabalho (matérias naturais brutas ou modificadas) sobre os quais o trabalho incide, e os meios de trabalho (instrumentos, máquinas e instalações) utilizados pelo ser humano nesse processo de transformação. ii) A *força de trabalho* – capacidade humana de operar esses meios de produção, carregando consigo habilidades, conhecimentos e experiências historicamente acumuladas. A força de trabalho é a mais dinâmica e preciosa das forças produtivas, sendo o motor de seu desenvolvimento (*Ibid.*). Neste sentido, a C&T configura-se como uma força produtiva indireta, que atua no aumento da produtividade.

Por sua vez, as *relações de produção* definem a forma social pela qual os indivíduos organizam-se historicamente para conduzir o processo produtivo, as quais são determinadas pelo *regime de propriedade sobre os meios de produção fundamentais* (Netto; Braz, 2006). Nas sociedades em que a propriedade desses meios de produção fundamentais é privada, ou seja, pertencem a uma determinada parcela dos seres humanos, as relações de produção são necessariamente antagônicas, pois os proprietários apropriam-se do fruto do trabalho dos não-proprietários. A posição que os seres humanos ocupam frente aos meios de produção, é o que vai determinar, na tradição marxista, a sua classe social – no modo de produção capitalista, aqueles que detêm essa propriedade compõem a classe burguesa ou capitalista, enquanto os não-proprietários compõem a classe proletária ou trabalhadora (*Ibid.*).

O modo de produção, na tradição marxista, encontra-se localizado na estrutura (ou infraestrutura) econômica da sociedade, sobre a qual erige-se um complexo superestrutural (Netto; Braz, 2006). Na estrutura econômica encontra-se, portanto, as relações de produção e as forças produtivas, que condicionam o complexo superestrutural que compreende processos não diretamente relacionados à atividade econômica: “as instâncias jurídico-políticas, as ideologias ou formas de consciência social” (*Ibid.*, p. 41). Esta relação entre a estrutura econômica e o complexo superestrutural se dá de forma dialética, remete à presença direta, porém quase imperceptível, das estruturas econômicas nas relações cotidianas, mas também à compreensão de que o desenvolvimento das forças produtivas é constituído das relações de produção, que não deixam de ser relações sociais (*Ibid.*).

No modo de produção capitalista, o trabalho realizado socialmente na transformação da natureza para atender às necessidades materiais humanas resulta na produção de mercadorias. As mercadorias, portanto, são objetos externos que satisfazem alguma necessidade; entretanto, diferenciam-se de outros produtos do trabalho por serem passíveis de serem reproduzidas e serem reproduzidas para serem comercializadas (Netto; Braz, 2006). Nesse sentido, “a mercadoria é uma unidade que sintetiza valor de uso e valor de troca” (*Ibid.*, p. 55), ela possui valor de uso pois refere-se à alguma necessidade concreta e possui valor de troca pois é destinada ao processo de circulação de mercadorias, ou seja, ao processo de compra e venda.

A propriedade dos meios de produção fundamentais, como dito anteriormente, estão em posse de um pequeno grupo de pessoas que compõem a *classe burguesa ou capitalista*, enquanto os não-proprietários que compõem a *classe proletária ou trabalhadora*, detém apenas a sua força de trabalho. Na produção das mercadorias, que acontece nos meios de produção por meio do trabalho da classe trabalhadora, os frutos desse trabalho são apropriados pela classe capitalista, por terem a propriedade dos meios de produção e pagam um salário à classe trabalhadora, resultante da “compra” de sua força de trabalho. A classe trabalhadora, nesse processo, utiliza desse salário para adquirir as mercadorias necessárias à sua sobrevivência.

Cabe destacar que, como aponta Netto e Braz (2006, p. 67) “O lucro do capitalista, porém, não se deve a diferenças entre preços de compra e preços de venda, ocorrentes na esfera da circulação: o lucro do capitalista provém de processos ocorrentes na esfera da produção”. Esquemáticamente, pode-se pensar que a classe trabalhadora, desprovida de meios de produção, é obrigada a vender sua força de trabalho (M), uma mercadoria especial, por dinheiro (D, salário) que é utilizado para adquirir outras mercadorias necessárias à sua sobrevivência (M), configurando assim o circuito M (força de trabalho) - D (salário) - M (meio de subsistência) (ou ainda, Mercadoria - Dinheiro - Mercadoria). Já o capitalista, proprietário dos meios de produção, inicia o processo com dinheiro (D) que é convertido em mercadorias (M): força de trabalho, matérias-primas e meios de trabalho. Ao ser consumida no processo produtivo, a força de trabalho tem a capacidade única de criar novo valor superior ao seu próprio valor (salário pago), ao ajustar a jornada de trabalho, o capitalista faz com que o trabalhador produza valor equivalente ao seu salário em apenas uma parte da jornada (trabalho necessário), dedicando o restante do tempo à produção de trabalho excedente, cuja materialização é o valor excedente ou mais-valia (ΔD). Assim, ao finalizar o processo, o

capitalista vende as novas mercadorias produzidas, obtendo uma soma de dinheiro ampliada ($D' = D + \Delta D$), Essa diferença (ΔD), a *mais-valia*, constitui a base material da acumulação de capital (Netto; Braz, 2006). Portanto, a aparente simetria dos circuitos (M-D-M e D-M-D') oculta a relação fundamental de exploração: no primeiro, o dinheiro é meio para a reprodução da vida; no segundo, as mercadorias (especialmente a força de trabalho) são meios para a valorização do valor, um processo que tem na *mais-valia* extraída na produção o seu mecanismo central.

O capitalista, compra a força de trabalho pelo valor necessário para sua reprodução, ou seja, pelo valor que a classe trabalhadora precisa para comprar as mercadorias que garantem sua subsistência; a força de trabalho, entretanto, é uma mercadoria especial, pois possui a capacidade de criar valor superior ao necessário para sua própria subsistência. Dessa forma, ao ajustar a jornada de trabalho é possível fazer com que a classe trabalhadora produza mais valor, na forma de mercadoria, do que o valor que é pago à ela, na forma de salário. Esse valor excedente, que corresponde ao trabalho excedente, é justamente o acréscimo mencionado anteriormente, a *mais-valia*.

Este mecanismo de acumulação via exploração da mais-valia, inerente ao modo de produção capitalista, possui uma dinâmica intrinsecamente expansionista, em que há a busca constante por formas de se aumentar a massa de mais-valia extraída (Netto; Braz, 2006). O que é feito de duas formas distintas: a produção de mais-valia *absoluta* e a produção de mais-valia *relativa*. A mais-valia absoluta é obtida pela extensão absoluta da jornada de trabalho, pois quanto mais aumenta-se a jornada de trabalho, mais aumenta-se o trabalho excedente produzido (*Ibid.*). Essa forma de obtenção de mais valia encontra limites: i) *fisiológicos* – jornadas de trabalhos extensas acabam por degradar a saúde da classe trabalhadora, degradando sua força de trabalho e ii) *políticos* – enfrenta a resistência organizada da classe trabalhadora por meio de lutas pela redução da jornada de trabalho.

Diante desses limites postos, o método frequentemente utilizado pelos capitalistas para a extração de mais-valia se dá por meio da produção de mais-valia relativa; em que, em vez de ampliar a jornada de trabalho, busca-se meios para aumentar a quantidade de trabalho excedente em relação a jornada de trabalho total (Netto; Braz, 2006). Isso é alcançado por meio do aumento da produtividade do trabalho, que se manifesta na “redução do tempo de trabalho necessário à produção dos bens consumidos pelos trabalhadores” (*Ibid.*, p. 75) – se a produtividade aumenta, o valor desses bens de subsistência diminui, como o valor da força de

trabalho é determinado pelo valor dessas mercadorias, o tempo de trabalho necessário para reproduzi-la encurta-se e a parcela de trabalho excedente aumenta. Por exemplo, se antes um/a trabalhador/a precisaria de 6 horas de trabalho para gerar valor equivalente ao seu salário, com o aumento da produtividade esse tempo poderia diminuir para 4 horas; nesse caso, a jornada de 8 horas permaneceria a mesma, mas a parcela de trabalho excedente passou de 2 horas para 4 horas (Lima Júnior *et al.*, 2014).

Este mecanismo de acumulação via exploração do trabalho excedente na forma de mais-valia, inerente ao modo de produção capitalista, possui uma dinâmica intrinsecamente expansionista e contraditória, visto que o capital sempre precisa estar em movimento para se valorizar (mediante o percurso D-M-D'). Ao longo de seu desenvolvimento, marcado pela constante expansão, o capitalismo passa de sua fase concorrencial para sua fase *monopolista*, em que a grande tendência de concentração do capital faz surgir “grupos capitalistas nacionais controlando ramos industriais inteiros, empregando enormes contingentes de trabalhadores e influenciando decisivamente nas economias nacionais” (Netto; Braz, 2006, p. 123) e, posteriormente, esses grupos capitalistas expandem seu mercado para além de suas fronteiras nacionais.

Essa nova fase do capitalismo é denominada pela tradição marxista de *Imperialismo*, caracteriza-se, segundo Lenin (2021), por uma alta concentração da produção e do capital e um alto grau de desenvolvimento das forças produtivas condensadas nos monopólios; pelo surgimento de um tipo específico de capital, denominado por *capital financeiro*, constituído por uma fusão entre o capital bancário e o capital industrial; pela exportação do capital (e não apenas de mercadoria) para outros países e pela divisão territorial e econômica do mundo pelas potências capitalistas centrais. A Divisão Internacional do Trabalho, nesse contexto, consolida-se como uma expressão direta dessas relações de poder, organizando a dinâmica da produção global de forma a concentrar o capital nos países centrais e relegando aos países periféricos o papel de fornecedores de commodities, matérias brutas e força de trabalho barata.

As categorias expostas de forma introdutória nessa seção, nos permite apreender, inicialmente, a lógica interna e algumas das contradições inerentes ao modo de produção capitalista; em especial, sua dinâmica expansionista, baseada na exploração do trabalho e na acumulação de capital. Essa forma de organização da produção projeta-se numa relação predatória entre a sociedade humana e a natureza, pois a produção material, subordinada à

lógica do valor de troca (a busca pelo lucro via acúmulo de capital) sobre o valor de uso (a satisfação das necessidades humanas), faz com que se explore cada vez mais o planeta, convertendo a natureza em suporte para a acumulação. Na próxima seção, analisaremos como o desenvolvimento C&T condicionado pela dinâmica do capital, intensifica essa relação exploratória, resultando na atual crise socioambiental contemporânea, sem precedentes na história da humanidade.

3. O desenvolvimento C&T e a crise socioambiental

3.1 Subordinação do desenvolvimento C&T à acumulação de capital

A dinâmica central do modo de produção capitalista, como visto anteriormente, reside na incessante busca pelo acúmulo de capital, que se dá por meio da extração de mais-valia no percurso D-M-D'. A forma privilegiada do aumento da extração da mais-valia no processo produtivo é produção de mais-valia relativa, que é obtida através do aumento da produtividade do trabalho, reduzindo o trabalho necessário para a produção das mercadorias, enquanto mantém-se o tempo total da jornada de trabalho fixa. O desenvolvimento C&T, nesse contexto, contribui para esse aumento da produtividade do trabalho, visto que, dentro do modo de produção capitalista “inovações científicas e tecnológicas tendem a ser empregadas em larga escala na medida em que representam alternativas economicamente rentáveis para o capitalista” (Lima Júnior *et al.*, 2014, p. 184).

A C&T, nesse contexto, configura-se como uma força produtiva indireta, pois seu desenvolvimento é condicionado à ampliação, intensificação e aumento da produtividade do trabalho visando a valorização do capital. Isso ocorre porque, como apontam Netto e Braz (2006, p. 39) “O estoque de conhecimento disponível numa sociedade amplia o potencial das forças produtivas na escala em que, pela mediação de tecnologias, pode ser utilizado na produção material – por isso, quando surge, a ciência pode ser considerada uma força produtiva indireta”. Ou seja, o conhecimento científico amplia o potencial das forças produtivas na medida em que aporta o desenvolvimento de tecnologias que são incorporadas ao processo produtivo material; o desenvolvimento C&T, dessa forma, tem sua capacidade de transformação condicionada à dinâmica de acumulação de capital. Desse modo, a trajetória do desenvolvimento C&T é moldada pela necessidade de otimizar a produção de valor de troca. As inovações C&T são direcionadas, selecionadas e implementadas não por seu potencial em ampliar qualitativamente o valor de uso dos produtos ou em harmonizar a produção com os

ciclos naturais, mas por sua capacidade de reduzir o tempo de trabalho socialmente necessário, baratear custos e, em última instância, extrair mais-valia relativa.

Essa instrumentalização da C&T pelo seu potencial de redução dos custos da produção e extração de mais-valia relativa pode ser vista em diferentes setores da economia – Lima Júnior e colaboradores (2014) trazem os exemplos da *internet*, dos *bancos* e da *educação* no setor de serviços e de inovações nas *linhas de montagem* e da agricultura. A *internet* intensificou e barateou a troca de informações, reduzindo o tempo socialmente necessário para a prestação de serviços, otimizando a comunicação entre fornecedores, produtores e consumidores; nos *bancos* há a automação crescente por meio de caixas eletrônicos e *internet banking*, que permitem um grande aumento de clientes sem uma expansão proporcional no quadro de funcionários; na *educação* a expansão do Ensino à Distância (EAD), mediado por “tutores frequentemente menos especializados, cujo valor da força de trabalho é, portanto, inferior” (p. 183), permite a reorganização do trabalho pedagógico de forma que poucos/as professores/as possam atender um grande número de alunos/as, visando aumentar a produtividade do trabalho docente (Lima Júnior *et al.*, 2014).

No âmbito da produção material, essa mesma lógica se manifesta, por exemplo, por meio das *inovações nas linhas de montagem* que têm como objetivo central produzir uma quantidade cada vez maior de mercadorias sem que a quantidade de força de trabalho empregada aumente de forma proporcional; já em relação à *agricultura*, os autores citam o caso dos alimentos transgênicos e como eles supostamente estariam associados à resolução do problema da fome, por sua potencialidade de aumentar a produção de alimentos, entretanto, o problema da fome é essencialmente um problema de distribuição e acesso, não de falta de produção de alimentos. As inovações C&T são, dessa forma, tendencialmente incorporadas de forma sistêmica aos diversos setores da economia na medida em que constituem-se como potenciais aumento na produtividade do trabalho, o que faz com que, reflexivamente, “o fato de que certas tecnologias são mais prontamente empregadas na produção de mais-valia do que outras influencia decisivamente nas direções em que avançam a ciência e a tecnologia” (Lima Júnior *et al.*, 2014, p. 184).

Portanto, como sintetizam Lima Júnior e colaboradores (2014), o conceito de mais-valia é central para a análise das relações entre o desenvolvimento C&T e a sociedade a partir da perspectiva da centralidade da atividade econômica, revelando que: i) inovações C&T que aumentam a produtividade do trabalho, contribuem para a produção de mais-valia

relativa; ii) qualquer contribuição para o bem-estar social que advém do desenvolvimento C&T é um *efeito colateral* da necessidade de acumulação de capital, não seu objetivo; e iii) a trajetória do desenvolvimento C&T é regulada pela dinâmica de valorização do capital, ou seja, ela não é autônoma em relação aos interesses capitalistas. A partir desses pontos, os autores concluem que “não existe, em uma sociedade capitalista, lugar para a ciência e para a tecnologia fora da relação com capital” (*Ibid.*, p. 184). Essa subordinação da C&T ao capital, gera contradições profundas, que manifestam-se na crise socioambiental contemporânea.

3.2 Ruptura Metabólica e Paradoxo da Eficiência

Segundo Sá Barreto (2022), no debate ecológico contemporâneo, em especial no campo da ecologia marxista, houve um esforço filológico, a partir de John Bellamy Foster, de recuperar na obra de Marx uma reflexão sobre a relação entre sociedade e natureza, o que foi necessário para contrapor uma visão, durante muito tempo propagada, que caracterizava Marx como um pensador anti-ecológico. Nesse processo, Foster (2000) identificou um pensamento na obra marxiana refinado para sua época – a ideia de que a sociedade humana mantém, mediada pelo trabalho, uma *relação metabólica* com a natureza, visto que o ser humano precisa transformá-la para garantir a sua sobrevivência. Segundo Marx (2013, p. 326), “O trabalho é, antes de tudo, um processo entre o homem e a natureza, processo este em que o homem, por sua própria ação, media, regula e controla seu metabolismo com a natureza”. Ao transformar a natureza, nessa perspectiva, a humanidade também precisa respeitar seus processos imanentes; esse metabolismo é, portanto, regulado tanto pelas leis naturais quanto pelas relações sociais de produção.

Entretanto, a principal contribuição de Marx, ressaltada por Foster, é a constatação de que o modo de produção capitalista, em sua totalidade, provoca uma ruptura nesse processo metabólico – uma *ruptura metabólica* na relação entre sociedade e natureza, da qual é intensificada pela separação geográfica entre o campo e a cidade (Sá Barreto, 2022). A cidade, ambiente que concentra mais infraestrutura e população, consome quantidades crescentes de mercadorias produzidas no campo; processo que força uma exploração intensiva da terra, como, por exemplo, monocultivos sem rotação que exaurem os nutrientes do solo. Gesta-se, assim, um “movimento unilateral de nutrientes” (*Ibid.*, p. 27), pois os nutrientes absorvidos pelos alimentos são deslocados do campo para a cidade, onde os dejetos humanos e animais, em vez de retornarem ao solo como adubo, convertem-se em poluição nos centros urbanos e/ou são frequentemente descartados erroneamente; dificultando, dessa forma, a

constituição de um “sistema urbano-agrícola realmente sustentável” (*Ibid.*, p. 28), que objetive o retorno desses nutrientes à terra.

Essa característica da ruptura metabólica, no que diz respeito à produção de alimentos, faz com que seja necessário um aumento progressivo do desenvolvimento, produção e utilização de fertilizantes para garantir a fertilidade do solo e a manutenção dessa relação exploratória com a terra. Também está contido, nessa perspectiva, a crítica ao desenvolvimento das forças produtivas e, conseqüentemente, ao desenvolvimento C&T dentro do capitalismo, visto que seu desenvolvimento é direcionado à “tapar os buracos” deixados pela ruptura metabólica causada pelo modo de produção capitalista, aprofundando essa contradição, pois “a produção capitalista só desenvolve a técnica e a combinação do processo de produção social na medida em que solapa os mananciais de toda a riqueza: a terra e o trabalhador” (Marx, 2013, p. 703). A contradição entre o desenvolvimento das forças produtivas e a exploração da terra, nesse sentido, se mostra pelo fato de que:

O desenvolvimento das tecnologias de restauração da fertilidade *converte-se, assim, em uma força destrutiva*, que resulta não em uma agricultura racional a um custo menor, mas na expansão das possibilidades de exploração lucrativas do solo. O progresso técnico, neste caso, permite garantir as condições materiais imediatas da produção, mas tende a reproduzir, em escala ampliada, as exigências futuras de sua reposição. Além disso, ao viabilizar a expansão (mesmo que apenas momentânea) da produtividade do solo, faculta a concentração de contingentes cada vez maiores da população em centros urbanos, envolvidos em atividades não agrícolas, lançando a ruptura metabólica em um loop de retroalimentação. (Sá Barreto, 2022, p. 29).

Como vimos na subseção anterior, o desenvolvimento das forças produtivas e conseqüentemente o desenvolvimento da C&T, é condicionado pelo modo de produção capitalista e frequentemente resulta em uma maior produtividade no processo produtivo. Produtividade, nesse contexto, é referente ao aumento da capacidade produtiva mantendo-se constante a quantidade de trabalho despendida, ou seja, produz-se mais mercadorias com a mesma quantidade de trabalho – e com o aumento da produção, aumenta a quantidade de insumos consumidos. Entretanto, o desenvolvimento C&T também pode ser voltado para o aumento da eficiência do processo de produção, ou seja, produzir a mesma quantidade de mercadorias utilizando menos insumos (ou, na prática, produzir mais mercadorias com a mesma quantidade de insumos). O aumento da eficiência, é importante destacar, abre a

possibilidade de diminuirmos, enquanto sociedade, nosso impacto sobre o meio ambiente, reduzindo a quantidade de matérias brutas necessárias para satisfazermos nossas necessidades materiais.

Abrir a possibilidade de poupar recursos por meio de desenvolvimento C&T, entretanto, não significa que esses recursos serão de fato poupados na prática, pois “a ideia de avanço tecnológico como avanço da capacidade poupadora de recursos é imprecisa, incompleta e parcial” (Sá Barreto, 2022, p. 57), visto que, historicamente, diversos são os exemplos de C&T que impulsionam o consumo de matérias brutas, como por exemplo o desenvolvimento de motores que potencializam o consumo de combustíveis fósseis e de plataformas que permitem uma maior exploração dos poços de petróleo (Sá Barreto, 2022). *A perspectiva salvacionista da C&T*, nesse contexto, esbarra em um outro problema – o desenvolvimento C&T condicionado pelo modo de produção capitalista, tem seus ganhos de eficiência condicionados há um aumento de exploração da natureza; o que, por vezes, é conhecido como *Efeito Rebote* ou *Paradoxo de Jevons*, que vamos nos referir por *Paradoxo da Eficiência*.

O *paradoxo da eficiência*, assim ficou conhecido devido ao economista William Jevons que, em sua obra “A questão do carvão” de meados do século XIX, observou que formas mais eficientes de gerar energia a partir do carvão por meio do desenvolvimento das máquinas a vapor, não estavam resultando na diminuição do consumo do carvão, mas sim impulsionando o aumento de seu consumo – o *paradoxo da eficiência*, dessa forma, pode ser enunciado como: aumentos na eficiência no uso de um recurso natural (nesse caso, o carvão), não resultam na diminuição, mas sim no aumento do consumo desse mesmo recurso (Sá Barreto, 2018). No contexto da crítica da economia política marxista, esse aparente paradoxo, pode ser explicado devido ao fato de que, ao aumentar a eficiência do processo produtivo, torna-se necessário menos capital investido inicialmente (no circuito D-M-D’) para se obter a mesma quantidade de capital acrescido ao final do processo. Assim, esse capital é liberado e, sobre o imperativo da acumulação que subordina qualquer potencial poupador à necessidade de expansão da massa de valores de troca, ele é reinvestido nesse mesmo processo produtivo, de forma a potencializá-lo, ou em outros circuitos de valorização (Sá Barreto, 2022).

No modo de produção capitalista o aumento da produtividade e eficiência no processo produtivo, provoca uma ruptura no metabolismo entre a sociedade humana e a Meio Ambiente, que tende a ser “reparada” pelo desenvolvimento C&T; entretanto, esse mesmo

desenvolvimento C&T, apesar de possibilitar uma diminuição da exploração de matérias naturais por meio do aumento da eficiência, permite liberar capital para ser investido em outros processos de valorização (Sá Barreto, 2018). A ruptura metabólica e o paradoxo da eficiência, dessa forma, permite-nos apreender como o condicionamento do desenvolvimento C&T ao modo de produção capitalista, guiado pelo processo de valorização do capital, contribui para a gênese e manutenção da crise socioambiental contemporânea. Essa dinâmica encontra, na fase imperialista do capitalismo, espaço pelo qual os custos e limites desta ruptura são desigualmente transferidos para a periferia do sistema.

3.3 *Imperialismo Ecológico e a negociação dos “direitos” de poluir*

Conforme discutido ao final da seção 2, o capitalismo contemporâneo opera em sua fase monopolista, compreendida pela tradição marxista como *Imperialismo* – para a análise proposta nesta subseção, duas características dessa fase são centrais: i) a repartição econômica e territorial do mundo pelas potências capitalistas centrais, que fundamenta a noção de *Imperialismo Ecológico* (Foster; Clark, 2004); e ii) a hegemonia do capital financeiro, ou seja, da financeirização da economia global, que possibilita os mecanismos para a *financeirização da natureza* (Moreno; Chassé; Fahur, 2016). A primeira característica explica a transferência desigual dos custos ambientais do centro para a periferia do sistema capitalista; a segunda característica, por sua vez, evidencia como o capital tenta, paradoxalmente, regular a crise socioambiental convertendo a própria natureza em uma nova fronteira para a valorização financeira, como observado na criação dos mercados de crédito de carbono (Bumpus; Liverman, 2011; Otto; Mutersaugh, 2011; Sá Barreto, 2015).

A divisão imperialista do mundo, marcada pela exportação de capitais das grandes corporações para os países periféricos, permitiu que conglomerados monopolistas encontrassem novos aportes para sua valorização, que se materializam na exploração do Meio Ambiente de outros países e na utilização de uma força de trabalho frequentemente precarizada (Foster; Clark, 2014). Foster e Clark (2004) observam que “as transferências de valor econômico são acompanhadas de maneira complexa por fluxos ‘ecológico-materiais’ reais que transformam as relações entre o campo e a cidade, e entre as metrópoles globais e a periferia” (p. 226). O processo de acumulação capitalista, desse modo, bem como a ruptura metabólica que lhe é inerente, geram externalidades que são sistematicamente deslocadas para as regiões periféricas, na forma de passivos ambientais, exploração predatória do Meio

Ambiente e exploração do trabalho – essa dinâmica que constitui o que os autores denominam por *Imperialismo Ecológico*:

“Portanto, o imperialismo ecológico apresenta-se de diversas maneiras, mediante o saque de recursos de certos países por outros e pela consequente transformação de ecossistemas inteiros dos quais estados e nações dependem; movimentos massivos de trabalho e população vinculados à extração e transferência de recursos; a exploração das vulnerabilidades ecológicas de certas sociedades para promover um maior controle imperialista; a descarga de dejetos ecológicos que amplia a fenda entre centro e periferia; e em conjunto, a criação de uma “descontinuidade metabólica” global que caracteriza a relação do capitalismo com o meio-ambiente ao mesmo tempo em que limita o desenvolvimento capitalista.” (Foster; Clark, 2004, p. 226).

Este imperialismo ecológico materializa-se numa Divisão Internacional do Trabalho de caráter também marcado pela dimensão ecológica, em que os países centrais do sistema capitalista concentram atividades de alto valor agregado, pesquisa e desenvolvimento C&T e o consumo massivo de mercadorias; enquanto aos países periféricos do sistema capitalista é relegado a função de exportação de commodities que demandam um processo intenso de exploração de recursos naturais (p. ex.: minério, petróleo, soja e carne) (Hickel; Hanbury Lemos; Barbour, 2024). Enquanto os países do Sul Global exportam grandes quantidades de matéria bruta e processada para os países do Norte Global, esses exportam produtos altamente industrializados (Hickel *et. al.*, 2022); nesse sentido, há um desequilíbrio qualitativo nas relações comerciais entre esses países e uma relação ecológica desigual, pois há uma drenagem contínua das matérias brutas da periferia para o centro e, simultaneamente, uma transferência dos custos ambientais do centro para a periferia.

Essa dinâmica de exploração desigual afeta explicitamente a realidade brasileira, por exemplo, os processos de extrativismo mineral e do agronegócio voltado para a exportação (Souza; Valadares, 2022; Souza; Marques, 2017). A dinâmica desigual do extrativismo mineral, possui na realidade brasileira um exemplo paradigmático, composto pelos crimes socioambientais de Mariana (2015) e Brumadinho (2019) operados pela Vale S.A. – uma grande corporação monopolista inserida na lógica imperialista; enquanto a extração de minérios abastece a indústria siderúrgica global, os riscos inerentes ao processo e os custos humanos e ambientais dos desastres ficam como responsabilidade do Brasil e do povo brasileiro (Souza; Valadares, 2022). O agronegócio voltado para a exportação, nessa mesma lógica, promove a expansão da fronteira agrícola via desmatamento do Cerrado e da

Amazônia para cultivo de soja e criação de gado, destinados majoritariamente para a exportação; esse modelo implica o uso intensivo de agrotóxicos que contaminam o solo, as águas e afetando a saúde de populações rurais e tradicionais (Souza; Marques, 2017).

Contudo, como mencionado anteriormente, na fase do capitalismo monopolista a exploração não se restringe à transferência direta de recursos da periferia para o centro. Com a hegemonia do capital financeiro, o processo de financeirização da economia – que denota a prevalência dos processos de transações financeiras sobre os processos da produção material (Netto; Braz, 2006) – as fronteiras da valorização são ampliadas para a base material da reprodução social. A natureza, desse modo, é transformada em uma nova fronteira para valorização financeira, processo conhecido como *financeirização da natureza*, por meio da qual os custos da crise ecológica são transformados em ativos financeiros negociáveis (Moreno; Chassé; Fahur, 2016).

A criação dos mercados de carbono, nesse contexto, é central desse processo – segundo Sá Barreto (2014) esses mercados consistem no gerenciamento e comercialização de *certificados negociáveis de emissão de CO₂* de dois tipos: i) *títulos de emissão de CO₂*, que são previamente estabelecidos e distribuídos entre os países, monopólios e setores específicos da economia baseados em metas de mitigação previamente estabelecidas; e ii) *créditos de emissão de CO₂*, obtidos por meio de projetos de captação de CO₂, que reduziriam, pretensamente, o nível de emissões para além do estipulado inicialmente. Os participantes que não ultrapassarem seus “direitos de poluição”, materializados nesses certificados, podem comercializá-los para outros participantes e estes podem, assim, ultrapassar seus “direitos de poluição”; os países centrais, monopólios e setores inteiros da economia, dessa forma, podem adquirir “créditos de carbono” – que são frequentemente gerados por projetos de conservação nos países periféricos – para, pretensamente, compensar suas emissões de CO₂, sem a necessidade de reduzi-las estruturalmente em sua base produtiva, aprofundando a ruptura metabólica e a dinâmica imperialista (Bumpus; Liverman, 2008).

O caso da Amazônia é um exemplo emblemático desse processo, para além das pressões históricas do *Imperialismo Ecológico* – como o desmatamento para pecuária, soja e extração de madeira – intensifica-se uma pressão internacional contraditória pela sua preservação por meio de um mecanismo denominado por Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) (Bumpus; Liverman, 2008). Como destacam Bumpus e Liverman (2008), o REDD teoricamente efetuaría uma transferência de recursos do

Norte Global para o Sul Global para recompensar a redução do desflorestamento; entretanto, sua operacionalização revela diversas contradições, como: i) prioriza o sequestro de carbono em detrimento de outros serviços ecossistêmicos e da conservação da biodiversidade, convertendo a floresta em um “estoque de carbono” transacionável; ii) gera debates sobre direitos de propriedade sobre a titularidade do carbono sequestrado pelas árvores; e iii) permite que os países centrais adquiram créditos de REDD para compensar suas emissões, sem alterar estruturalmente seus padrões de produção e consumo. A Amazônia, dessa forma, torna-se alvo simultâneo das pressões do agronegócio e do extrativismo, bem como de uma forma de apropriação financeira de suas funções ecossistêmicas, aprofundando as assimetrias entre centro e periferia do capitalismo. Esse mecanismo consome a subsunção da floresta e suas funções sócio-ecológicas reais a uma forma puramente abstrata de valor de troca financeirizado; a própria capacidade de regeneração do planeta é convertida em um artigo negociável aprofundando a ruptura metabólica ao tratar as emissões como mercadoria, sem enfrentar a verdadeira causa: a produção voltada ao lucro por meio da acumulação de valores de troca.

Com base nas discussões desenvolvidas nesta seção, acreditamos que seja possível perceber que a crise socioambiental contemporânea não constitui um mero acidente de percurso ou um efeito colateral administrável do desenvolvimento capitalista, mas sim um processo inerente à sua dinâmica característica de acumulação de capital. Esse processo pode ser compreendido a partir das dimensões: i) *a subordinação estrutural do desenvolvimento C&T à lógica da valorização*; ii) *a ruptura metabólica*, contradição fundamental que aparta as sociedades humanas dos ciclos naturais; e iii) *o paradoxo da eficiência*, que nos mostra como os “ganhos” em eficiência da C&T são condicionados para a expansão da escala produtiva e da exploração ambiental. Na fase imperialista do capitalismo, tais contradições expressam-se concretamente por meio do *imperialismo ecológico* e dos processos de financeirização da natureza, os quais não apenas mantêm a assimetria de poder político entre o centro e a periferia do sistema capitalista, mas também convertem a própria crise socioambiental em nova fronteira de acumulação. Torna-se necessário, diante disso, que um posicionamento crítico da Educação CTSA frente à crise socioambiental compreenda os processos de desenvolvimento C&T como indissociáveis das dinâmicas do modo de produção capitalista e da crise socioambiental contemporânea.

4. Por uma Educação CTSA Radical – a radicalização da crítica

O delineamento de uma Educação CTSA Radical, que propomos aqui, é uma resposta ao diagnóstico elaborado no primeiro capítulo desta dissertação. A revisão sistematizada da produção nacional recente revelou que uma parcela significativa dos trabalhos (17 dos 23 artigos) apresenta limitações ao articular a problemática ambiental às suas determinações estruturais. Nesses artigos, por um lado, identificamos abordagens que não relacionam significativamente esses elementos (2 dos 17), reduzindo a questão ambiental a uma questão moral-comportamental que, ao individualizar a responsabilidade e focar na mudança de hábitos como solução, acaba por despolitizar a análise, reforçar visões de C&T como um processo autônomo e neutro, ocultando interesses econômicos e conflitos sociais que estão em sua gênese (Auler; Bazzo, 2001; Linginsen, 2007). Por outro lado, uma parcela maior dos trabalhos relaciona de forma abstrata os problemas ambientais às estruturas sociais (15 dos 17), sem identificar agentes e/ou interesses concretos que, pautada por uma racionalidade instrumental, naturaliza o modelo de desenvolvimento capitalista e desloca discussão do campo da política para o campo da “administração técnica dos recursos”; perpetuando, assim, o mito da superioridade das decisões tecnocráticas e a noção hegemônica de desenvolvimento linear (Auler; Delizoicov, 2001; Auler, 2001).

Esse panorama dialoga diretamente com a predominância, nos trabalhos de nosso recorte, de visões de Meio Ambiente despolitizantes que se aproximam das macrotendências *conservadoras* da Educação Ambiental (Layrargues; Lima, 2014). A visão que se aproxima da macrotendência conservacionista, ao operar com base em uma dicotomia entre sociedade e natureza, trata o “mundo natural” como uma externalidade a ser preservada por meio do “respeito” e “conhecimento” – categorias esvaziadas de concretude que, ao apelar para noções morais descoladas de análises materiais, ocultam as dinâmicas reais de exploração (Loureiro, 2007). Complementarmente, a visão que se aproxima da macrotendência pragmática, reconhece o impacto antrópico sobre a natureza, mas o reduz a um problema de gestão técnica e eficiência. Frequentemente, essa visão aporta-se em um ideal de “sustentabilidade” de forma acrítica, associado ao conceito contraditório de “desenvolvimento sustentável” numa sociedade capitalista, esta perspectiva normaliza a dominação do capital sobre a natureza, reduzindo a questão política à uma questão administrativa (Loureiro, 2016). Diante dessas lacunas identificadas, que dificultam uma compreensão totalizante da crise socioambiental, defendemos a aproximação com o referencial marxista e uma Educação CTSA Radical.

Buscamos desenvolver, nas seções precedentes, uma discussão sobre a relação entre a crise socioambiental e o modo de produção capitalista, apontando que essa crise não constitui um fenômeno superficial e/ou um conjunto de problemas ambientais desconexos, mas sim uma expressão das próprias contradições referentes à dinâmica capitalista de acumulação de capital. Estando a gênese da crise socioambiental situada na bases materiais da sociedade capitalista, em sua estrutura econômica, faz-se necessária uma reavaliação dos limites e possibilidades dos campos dedicados à sua compreensão e enfrentamento, como é o caso da Educação CTSA – visto que, se a raiz da crise socioambiental é de dimensão estrutural, a análise realizada deve ser, também, estrutural. Portanto, uma perspectiva que restringe-se a discutir aplicações pontuais da C&T, a promover mudanças comportamentais individualizadoras e/ou reduzir a problemática à uma “gestão sustentável dos recursos naturais”, sem questionar as dimensões econômicas e políticas, corre o risco de naturalizar as premissas do próprio sistema que engendra a crise.

Localizar, então, a gênese da crise socioambiental na estrutura econômica do capitalismo, exige que o campo da Educação CTSA radicalize seu potencial crítico. Concordamos, nesse sentido, com Santos (2011) da necessidade de ressignificar o movimento CTSA, “Ressignificar, então, o movimento CTS é um passo importante no resgate dos seus objetivos primordiais de crítica à visão de neutralidade científica, descompromissada com seu papel social.” (p. 38). Entendemos que, no Brasil, a tradição da sistematização da crítica aos mitos da neutralidade científica (Auler; Delizoicov, 2001), que, posteriormente, foi aprofundada pela aproximação com a categoria de *mais-valia relativa* para a análise dos mitos da neutralidade científica (Lima Júnior *et. al.*, 2014) caminham no sentido de recuperar esse potencial crítico; e que, a partir disso, é necessário aprofundar a compreensão na direção da centralidade das questões socioambientais contemporâneas.

Essa perspectiva de radicalização teórica dialoga com parte da produção recente do campo, conforme identificado na revisão bibliográfica realizada no primeiro capítulo, identificamos um conjunto de trabalhos que, em nossa análise, se aproximam da macrotendência crítica da Educação Ambiental (Souza; Marques, 2017; Ramos; Fernandes-Sobrinho, 2018; Luz; Queiroz; Prudêncio, 2019; Luz *et. al.*, 2019; Luz; Almeida; Almeida, 2020; Melo; Andrade, 2024) e estabelecem relações concretas entre a problemática socioambiental e as estruturas econômicas, políticas e sociais. Esses trabalhos caracterizam-se pelo reconhecimento e menção explícita dessas estruturas e pela crítica ao modelo de desenvolvimento capitalista hegemônico, o consumismo e os interesses econômicos que

subjazem às questões ambientais. Eles representam, nesse sentido, uma importante contribuição no destaque à dimensão política da crise socioambiental e um posicionamento contrário frente à relação de exploração com o Meio Ambiente. Defendemos, a partir disso, também avançar no sentido de compreender a subsunção do desenvolvimento C&T à lógica da acumulação de capital como argumentam Lima Júnior e colaboradores (2014), mas também sua complexa relação com a crise socioambiental contemporânea.

Defendemos, assim, uma concepção de Educação CTSA que vá até a raiz do problema, que aborde o desenvolvimento C&T e a crise socioambiental pela sua perspectiva material e concreta, que coloque a questão da relação entre os seres humanos e o Meio Ambiente de forma central, pois necessitamos transformá-lo, por meio do trabalho, para sobrevivermos, mas que é necessário repensar a forma com que estamos organizando o trabalho em sociedade – Uma Educação CTSA *Radical*, pois, como aponta Marx (2010, p. 151) “Ser radical é agarrar a coisa pela raiz. Mas a raiz, para o homem, é o próprio homem”. Essa concepção de Educação CTSA *Radical* perpassa pela desmistificação da neutralidade científica e deve avançar para desvelar o condicionamento do desenvolvimento C&T à lógica da acumulação de capital; ao compreender a crise socioambiental não como um conjunto de problemas ambientais a serem geridos, mas como expressão da contradição fundamental entre o capital e a base natural que o sustenta.

Para consolidar a proposta de uma Educação CTSA *Radical*, é necessário assumir uma concepção de educação que compreenda seu caráter intrinsecamente contraditório na sociedade capitalista. A educação em sua totalidade, possui diversas dimensões (institucional, de formação dos seres humanos e etc.) que são alvos incessantes da disputa política – que se manifesta, por exemplo, na disputa sobre a função social da escola, a disputa sobre a noção de formação cidadã, a disputa pelo currículo e etc. O caráter contraditório da educação manifesta-se na dualidade da tensão entre sua função reprodutora da ordem vigente e seu potencial emancipatório, diferentes autores da tradição crítica elucidam dimensões específicas dessa contradição. Uma análise aprofundada dessa contradição e suas implicações constituirão um desdobramento central para a consolidação do modelo teórico aqui proposto. Neste ensaio, delimitamos, de forma preliminar, algumas contribuições da tradição crítica.

Por exemplo, Althusser (1970) descreve a Escola, enquanto instituição, como um dos *Aparelhos Ideológicos de Estado (AIE)* que tem como função a reprodução das relações de produção (mencionadas na seção 2) por meio da reprodução da ideologia dominante – e que,

apesar da dominância desse AIE, sobre os/as professores/as e os/as estudantes, também é alvo e local da luta de classes. Paulo Freire (2002), de modo geral, mas especialmente no que tange à educação escolar, a considera uma prática que pode ser tanto “domesticadora”, com base em um “ensino bancário” em que “deposita-se” conhecimento no/a educando/a, voltado à adaptação em um mundo de opressores e oprimidos, mas que pode também ser “libertadora”, no sentido de ser orientada à uma leitura crítica para a compreensão desse mundo visando sua transformação. Saviani (2011), por sua vez, enfatiza que a Escola é o lócus privilegiado para a transmissão e apropriação do saber elaborado e acumulado historicamente pela humanidade, defendendo sua função social ao garantir o acesso a esse patrimônio cultural à classe trabalhadora, tornando-se, assim, um instrumento de luta e emancipação.

A síntese preliminar que realizamos é a de que a educação, embora não seja uma dimensão autônoma e suficiente para a superação do modo de produção hegemônico, se constitui como um dos locais dessa disputa. O desenvolvimento implicações dessas discussões de educação para os aspectos curriculares, didáticos e de formação de professores/as, contudo, será objeto de trabalhos futuros, visando a construção de um modelo teórico-prático robusto para a Educação CTSA Radical, no presente ensaio se concentra em estabelecer os fundamentos críticos para que essa futura sistematização seja realizada.

Em síntese, a perspectiva de uma Educação CTSA *Radical* que delineamos baseia-se em uma crítica às lacunas identificadas na produção do campo. Esta abordagem, supera a abordagem moral-comportamental ao deslocar o foco da conduta individual para a crítica das estruturas sociais e a racionalidade instrumental ao fornecer categorias concretas para apreender os agentes e a lógica da acumulação; e superar visões despolitizantes de Meio Ambiente ao demonstrar a inseparabilidade dialética entre sociedade e natureza. Desta forma, define-se como uma perspectiva de radicalização da crítica do campo ao dialogar com o referencial marxista, permitindo uma compreensão estrutural do desenvolvimento C&T e da crise socioambiental como expressão da estrutura e dinâmica do modo de produção capitalista. Para que seja possível, também, proporcionar uma compreensão da ciência para além da desmistificação de sua neutralidade, fomentando uma perspectiva contextualizada, socialmente imputada e ambientalmente situada. Defendemos, dessa forma, que uma Educação CTSA *Radical* deve, no sentido de buscar uma ressignificação da Educação CTSA, posicionar-se contrariamente à perspectiva reducionista, como as que foram identificadas no primeiro capítulo, visto que, em concordância com Santos (2011, p. 30) essa visão “reproduz um modelo ideológico de submissão a uma sistema tecnológico já estabelecido, a visão crítica

que caracterizou o surgimento desse movimento vai em direção oposta de reprodução do modelo vigente”.

5. Considerações Finais

O percurso trilhado nesse ensaio teórico teve como ponto de partida um diagnóstico advindo da revisão bibliográfica que compõe o primeiro capítulo desta dissertação, em que constatamos que uma parcela significativa dos artigos de nosso recorte, apresenta limitações ao abordar a relação entre a crise socioambiental e as estruturas econômicas, políticas e sociais. A predominância de análises que relacionam de forma abstrata, ou que não relacionam de forma significativa, os problemas ambientais à essas estruturas, em conjunto à grande presença de visões de Meio Ambiente despolitizantes – que se aproximam das macro tendências conservacionistas e pragmáticas da Educação Ambiental (Layrargues; Lima, 2014) – revelou a necessidade de um aprofundamento teórico. No presente capítulo, buscamos enfrentar essa lacuna, indo além de uma crítica interna ao campo e propor uma compreensão crítica radicalizada da crise socioambiental contemporânea.

Buscamos, assim, apresentar o diálogo com o referencial teórico marxista, ao articular categorias – como trabalho, modo de produção, mais-valia, ruptura metabólica, paradoxo da eficiência e imperialismo ecológico – para demonstrar o condicionamento estrutural do desenvolvimento C&T à lógica de acumulação do capital, bem como sua relação com a crise socioambiental. A crise, nesse sentido, deixa de ser um aglomerado de problemas ambientais desconectados e um mero efeito colateral passível de ser resolvido por uma boa administração dos “recursos naturais”, e passa a ser compreendida em sua totalidade como um fenômeno estrutural do próprio modo de produção capitalista e sua dinâmica expansionista. É nesse terreno que fundamentamos a proposta de uma Educação CTSA *Radical*, visando resgatar o potencial crítico do campo – como defende Santos (2011) – ao radicalizá-lo.

Cabe destacar que, para além de seu foco específico na crise socioambiental, acreditamos que esta perspectiva radical favorece as abordagens CTSA de um modo geral. Isso porque, ao não pressupor a dicotomia entre sociedade e natureza, e ao compreender a C&T como atividades humanas estruturalmente condicionadas, um modelo de Educação CTSA Radical oferece uma perspectiva para analisar qualquer questão sociocientífica em sua totalidade concreta. Dessa forma, mesmo que a temática central não seja a crise socioambiental, a adoção dessa perspectiva fomenta uma análise intrinsecamente contextualizada e socialmente imputada da C&T. Neste ensaio, entretanto, nos limitamos

apenas a apresentar um delineamento geral de uma Educação CTSA *Radical*, pretendemos realizar o desenvolvimento de um modelo teórico e sua utilização em pesquisas futuras.

Referências

Aikenhead, Glen. STS Education: a rose by another name. Em: Cross; Roger (Ed.) **A vision for science education: responding to the work of Peter J. Fensham**. New York: Routledge Falmer, p. 59-75, 2003.

Alves, Richard; Fonseca, Giselle Rôças de Souza. Transposição Do Rio São Francisco – o Uso Da Controvérsia Controlada Como Meio De Promover Aproximações Entre o Enfoque Educacional CTS e Educação Ambiental Crítica. **IENCI: Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 211-231, 2018.

Auler, Décio; Bazzo, Walter Antonio. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 01, p. 01-13, 2001.

Auler, Décio; Delizoicov, Demétrio. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 3, n. 2, p. 122-134, 2001.

Althusser, Louis. **Ideologia e aparelhos ideológicos do estado**. Lisboa: Editorial Presença, 1970.

Auler, Décio. **Interações entre ciência-tecnologia-sociedade no contexto da formação de professores de ciências**. Tese de Doutorado (Doutorado em Educação - Ensino de Ciências Naturais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2002.

Auler, Décio; Delizoicov, Demétrio. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 3, n. 2, p. 122-134, 2001.

Banheza, Karen Vanessa Gozer; Palcha, Leandro Siqueira. Narratividades em contos de ficção científica: margens para ampliar e aprofundar as inter-relações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 438-449, 2019.

Bumpus, A. G.; Liverman, D. M. Carbon colonialism? Offsets, greenhouse gas reductions, and sustainable development. In: Peet, Richard; Robbins, Paul; Watts, Michael (eds.). **Global Political Ecology**. New York, NY: Routledge, p. 185–202, 2011.

Otto, Jonathan; Mutersbaugh, Tad. CERTIFIED POLITICAL ECOLOGY. In: Perreault, Tom; Bridge, Gavin; McCarthy, James (eds.). **The Routledge Handbook of Political Ecology**. London: Routledge, p. 418–429, 2015.

Cavalcanti, Marcello Henrique da Silva; Ribeiro, Matheus Marques; Barro, Mario Roberto. Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS. **Ciência & Educação**, v. 24, n. 4, p.859-874, 2018.

Foster, John Bellamy. **Marx's Ecology: Materialism and Nature**. New York University Press, New York, 2000.

Foster, John Bellamy; Clark, Brett. Imperialismo Ecológico: a maldição do capitalismo. **Socialist Register**, v. 40, 2004.

Freire, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 25º Ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

Hickel, Jason; Hanbury Lemos, Morena; Barbour, Felix. Unequal exchange of labour in the world economy. **Nature Communications** v. 15, p. 1-12, 2024. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49687-y>

Hickel, Jason; Dorninger, Christian; Wieland, Hansper; Suwandi, Intan. Imperialist appropriation in the world economy: Drain from the global South through unequal exchange, 1990–2015, **Global Environmental Change**, v. 73, p. 1-13, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102467>.

Jenkins, Edward. Public understanding of science and science education for action. **Journal of Curriculum Studies**, v. 25, p. 601-611, 1994.

Jenkins, Edward. “Science for all”: Time for a paradigm shift? Em: Millar, Robert; Leach, John; Osborne, Jonathan. (Eds.) **Improving science education: The contribution of research**. Buckingham: Open University Press, p. 207-226, 2000.

Lenin, Vladimir Ilitch. **Imperialismo, estágio superior do capitalismo**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2021.

Layrargues, Philippe Pomier. Educação Ambiental com compromisso social: o desafio da superação das desigualdades. Em: Loureiro, Carlos Frederico Bernardo.; Layrargues, Philippe Pomier; Castro, Ronaldo Souza de. (Orgs.). **Repensar a Educação Ambiental: um olhar crítico**. São Paulo: Cortez. p. 11-31. 2009.

Layrargues, Philippe Pomier; Lima, Gustavo Ferreira da Costa. As macro-tendências político-pedagógicas da educação ambiental brasileira. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, p. 23-40, 2014.

Lima Júnior, Paulo; Deconto, Diomar Caríssimo Selli; Andrella Neto, Ricieri; Cavalcanti, Cláudio José de Holanda; Ostermann, Fernanda. Marx como referencial para análise de relações entre ciência, tecnologia e sociedade. **Ciências & Educação**, v. 20, n. 1, p. 175-194, 2014.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo. O dito e o não dito na “década da educação para o desenvolvimento sustentável” promovida pela unesco. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 58-71, 2016.

Marx, Karl. **O capital, livro 1**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2013.

Marx, Karl. **Crítica da filosofia do direito de Hegel**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2010.

Moreno, Camila. Chassé, Daniel Speich; Fuhr, Lili. **A Métrica do Carbono: Abstrações Globais e Epistemicídio Ecológico**. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2016.

Netto, José Paulo; Braz, Marcelo. **Economia Política: uma introdução crítica**. São Paulo: Cortez, 2006.

Ohi, Ana Gabriela Kolde; Ganiko-Dutra, Matheus. Sustentabilidade na Prática: A Realidade da Educação Ambiental em uma Escola Pública do Estado de São Paulo. **Revista Hipótese**, Bauru, v. 9, n. 00, p. 1-23, 2023.

Trein, Eunice Schilling. A educação ambiental crítica: crítica de que? **Revista Contemporânea de Educação**, v. 7, n. 14, agosto/dezembro, 2012.

Sá Barreto, Eduardo. Marx contra a fantasia “coaseana”: uma crítica ontológica ao fundamento teórico dos mercados de carbono. **Marx e o Marxismo**, v. 3, n. 5, p. 263-278, 2015.

Sá Barreto, Eduardo. **Capital na estufa: para a crítica da economia das mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Consequência, 2018.

Sá Barreto, Eduardo. **Ecologia Marxista para pessoas sem tempo**. São Paulo: Usina Editorial, 2022.

Santos, Wildson Luiz Pereira dos. Significados da educação científica com enfoque CTS. Em: Santos, Wildson Luiz Pereira dos; Auler, Décio. **CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa**, Brasília: Editora da UNB, 2011.

Saviani, Dermeval. **Pedagogia Histórico-Crítica: primeiras aproximações**. Campinas: Autores Associados, 2011.

Considerações Finais Gerais

Tivemos como objetivo, nesta dissertação, realizar um diagnóstico crítico da produção recente no campo da Educação CTSA no Brasil e, a partir das lacunas identificadas, propor uma perspectiva de radicalização do potencial crítico frente à crise socioambiental. O primeiro artigo consistiu de uma revisão sistematizada da produção nacional da última década (2014-2024), com o intuito de identificar como a relação entre a crise socioambiental e as estruturas sociais tem sido abordada. Já o segundo artigo, consistiu de um ensaio teórico, que, com base nas lacunas identificadas, buscou avançar no sentido de construir uma Educação CTSA Radical aportada no referencial marxista.

O diagnóstico apresentado no primeiro capítulo revelou que a maior parte da produção analisada no campo da Educação CTSA (17 dos 23 artigos) tende a relacionar a crise socioambiental com as estruturas sociais de forma abstrata ou não fazem essa relação de forma significativa, com base em visões de Meio Ambiente que se aproximam das macrotendências conservadoras da Educação Ambiental, que ao reduzirem os problemas socioambientais às suas dimensões técnicas e individuais, acabam por despolitizar sua análise. Em resposta à isso, no segundo capítulo, avançamos na articulação da Educação CTSA com o referencial marxista por meio de algumas categorias basilares da crítica da economia política – trabalho, mercadoria, modo de produção, mais-valia e etc. – em conjunto com categorias da ecologia marxista, sendo elas: i) da *ruptura metabólica* – que explica a desconexão entre sociedade humana e a natureza; ii) do *paradoxo da eficiência* – que explica como os ganhos em C&T sob o capitalismo levam à intensificação da exploração ambiental; e iii) do *imperialismo ecológico* – que explica a transferência desigual dos custos ambientais para a periferia do sistema.

Os desdobramentos de uma Educação CTSA *Radical*, inclui uma perspectiva formativa que tome situações concretas como eixos condutores para uma análise totalizante, que promova uma leitura crítica, materialista e estrutural do desenvolvimento C&T e sua relação com a crise socioambiental contemporânea, sob a lógica da acumulação de capital – uma perspectiva inerentemente política. A proposta aqui ensaiada, ancora-se numa perspectiva de ressignificação e resgate do potencial crítico desse campo, ressignificação essa que, como diz Santos (2011), “é um passo importante no resgate dos seus objetivos primordiais de crítica à visão de neutralidade científica, descompromissada com seu papel social” (p. 38), bem como na “busca do ideal de uma sociedade justa e igualitária” (p. 39).

Referências Gerais

- Aikenhead, Glen. STS Education: a rose by another name. Em: Cross, Roger (Ed.) **A vision for science education: responding to the work of Peter J. Fensham**. New York: Routledge Falmer, p. 59-75, 2003.
- Althusser, Louis. **Ideologia e aparelhos ideológicos do estado**. Lisboa: Editorial Presença, 1970.
- Alves, Richard; Fonseca, Giselle Rôças de Souza. Transposição Do Rio São Francisco – o Uso Da Controvérsia Controlada Como Meio De Promover Aproximações Entre o Enfoque Educacional CTS e Educação Ambiental Crítica. **IENCI: Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 211-231, 2018.
- Auler, Décio. **Interações entre ciência-tecnologia-sociedade no contexto da formação de professores de ciências**. Tese de Doutorado (Doutorado em Educação - Ensino de Ciências Naturais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2002.
- Auler, Décio. Novos caminhos para a educação CTS: ampliando a participação. Em: Santos, Wildson Luiz Pereira dos; Auler, Décio. **CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa**, Brasília: Editora da UNB, 2011.
- Auler, Décio; Bazzo, Walter Antonio. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 01, p. 01-13, 2001.
- Auler, Décio; Delizoicov, Demétrio. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 3, n. 2, p. 122-134, 2001.
- Banheza, Karen Vanessa Gozer; Palcha, Leandro Siqueira. Narratividades em contos de ficção científica: margens para ampliar e aprofundar as inter-relações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 438-449, 2019.
- Bardin, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- Bourscheid, Jacinta Lourdes Weber; Farias, Maria Eloisa. A convergência da educação ambiental, sustentabilidade, ciência, tecnologia e sociedade (CTS) e ambiente (CTSA) no ensino de ciências. **Revista Thema**, v. 11, n. 1, p. 24-36, 2014.
- Cavalcanti, Marcello Henrique da Silva; Ribeiro, Matheus Marques; Barro, Mario Roberto. Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS. **Ciência & Educação**, v. 24, n. 4, p.859-874, 2018.
- Cerezo, José Antonio López. Ciencia, tecnología y sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. **Revista Iberoamericana de Educación**, n. 18, p. 41-68, 1998.
- Correa, Beatriz Fernandes; Silveira, Rosemari Monteiro Castilho Foggato; Maciel, Nilcéia Aparecida Pinheiro. Educação ambiental: Conscientização sobre resíduos sólidos no contexto Ciência, Tecnologia e Sociedade – CTS. **Espacios**, v. 36, n. 6, p. 10-17, 2015.
- Faria, Carmen Roselaine de Oliveira; Freitas, Denise de. Educação ambiental e relações CTS: uma perspectiva integradora. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. esp., p. 1-13, 2007.

Fonseca, Eril Medeiros da; Franco, Ronan Moura. Em tempos de Coronavírus: reflexões sobre a pandemia e possibilidades de abordagem no Ensino de Ciências a partir da Educação CTS. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

Foster, John Bellamy; Clark, Brett. **Imperialismo Ecológico: a maldição do capitalismo**. Socialist Register, v. 40, 2004.

Franco, Maria Laura Puglisi Barbosa. **Análise de conteúdo**. Brasília: Liber Livro Editora, 2005.

Freire, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 25º Ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

Freitas, Nadia Magalhães da Silva; Marques, Carlos Alberto. Abordagens sobre sustentabilidade no ensino CTS: educando para a consideração do amanhã. **Educar em Revista**, n. 65, p. 219-235, 2017.

Freitas, Nadia Magalhães da Silva; Marques, Carlos Alberto. Sustentabilidade e CTS: o necessário diálogo na/para a Educação em Ciência em tempos de crise ambiental. **Educar em Revista**, v. 35, n. 77, p. 265-282, 2019.

Grant, Maria; & Booth, Andrew. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. **Health information & libraries journal**, v. 26, n. 2, p. 91-108, 2009.

Jenkins, Edward. Public understanding of science and science education for action. **Journal of Curriculum Studies**, v. 25, p. 601-611, 1994.

Jenkins, Edward. "Science for all": Time for a paradigm shift? Em: Millar, Robert; Leach, John; Osborne, Jonathan. (Eds.) **Improving science education: The contribution of research**. Buckingham: Open University Press, p. 207-226, 2000.

Layrargues, Philippe Pomier; Lima, Gustavo Ferreira da Costa. As macro-tendências político-pedagógicas da educação ambiental brasileira. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, p. 23-40, 2014.

Lenin, Vladimir Ilitch. **Imperialismo, estágio superior do capitalismo**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2021.

Lima Júnior, Paulo; Deconto, Diomar Caríssimo Selli; Andrella Neto, Ricieri; Cavalcanti, Cláudio José de Holanda; Ostermann, Fernanda. Marx como referencial para análise de relações entre ciência, tecnologia e sociedade. **Ciências & Educação**, v. 20, n. 1, p. 175-194, 2014.

Linsingen, Irlan von. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. esp., p. 1-13, 2007.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo. Educação ambiental crítica: contribuições e desafios. Em: **Vamos cuidar do Brasil: conceitos e práticas em educação ambiental na escola**. Ministério da Educação, Coordenação Geral de Educação Ambiental: Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Educação Ambiental: UNESCO, 2007.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo. O dito e o não dito na “década da educação para o desenvolvimento sustentável” promovida pela Unesco. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 58-71, 2016.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo; Layrargues, Philippe Pomier. Ecologia Política, Justiça e Educação Ambiental Crítica: Perspectivas de Aliança Contra-Hegemônica. **Trabalho, Educação e Saúde**, v. 11, n. 1, p. 53-71, 2013.

Loureiro, Carlos Frederico Bernardo; Lima, Jacqueline Girão Soares de. Educação ambiental e educação científica na perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade: pilares para a educação crítica. **Acta Scientiae**, v. 11, n. 1, p. 88-100, 2009.

Luz, Rodrigo; Almeida, Eliane dos Santos; Almeida, Rosileia Oliveira de. Educação Ambiental e Educação CTS Numa Perspectiva Freireana: a Necessária Superação da Contradição Entre Conservação e Desenvolvimento. **IENCI: Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 3, p. 162-189, 2020.

Luz, Rodrigo; Almeida, Eliane dos Santos; Nascimento, Elisangela Silva do; Prudêncio, Christiana Andréa Vianna. Professores de Química em Formação Inicial: o que Pensam e Dizem sobre as Relações entre Meio Ambiente, Ciência, Tecnologia e Sociedade. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 537-563, 2019.

Luz, Rodrigo; Queiroz, Marcelo Bruno Araújo; Prudêncio, Christiana Andréa Vianna. CTS ou CTSA: O Que (Não) Dizem as Pesquisas sobre Educação Ambiental e Meio Ambiente? **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 31-54, 2019.

Maestrelli, Sandra Godoi; Lorenzetti, Leonir. A abordagem CTSA nos anos iniciais do ensino fundamental: contribuições para o exercício da cidadania. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 1, p. 14-57, 2021.

Marx, Karl. **Crítica da filosofia do direito de Hegel**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2010.

Marx, Karl. **O capital**, livro 1. São Paulo: Boitempo Editorial, 2013.

Melo, Marlene Rios; Andrade, Tatiana Santos. Temas controversos na educação: Relações entre questões ambientais e surgimento de pandemias. **Periferia**, v. 16, p. 1-30, 2024.

Moreno, Camila. Chassé, Daniel Speich; Fuhr, Lili. **A Métrica do Carbono: Abstrações Globais e Epistemicídio Ecológico**. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2016.

Moreira, Amanda Magagnin; Aires, Joanez Aparecida; Lorenzetti, Leonir. Abordagem CTS e o conceito química verde: possíveis contribuições para o ensino de química. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 193-210, 2017.

Netto, José Paulo; Braz, Marcelo. **Economia Política: uma introdução crítica**. São Paulo: Cortez, 2006.

Ohi, Ana Gabriela Kolde; Ganiko-Dutra, Matheus. Sustentabilidade na Prática: A Realidade da Educação Ambiental em uma Escola Pública do Estado de São Paulo. **Revista Hipótese**, Bauru, v. 9, n. 00, p. 1-23, 2023.

Passos, Kévila Kelma Nascimento Silva dos; Silva, Milady Renata Apolimário da. Análise de uma sequência didática para o estudo em Ictiologia por meio de ludicidade e metodologias ativas com base na BNCC e na abordagem CTSA. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, 2021.

Proença, Mariana de Souza; Oslaj, Eduardo Ubel; Dal-Farra, Rossano André. As Percepções De Estudantes Do Ensino Fundamental Em Relação Às Espécies Exóticas E O Efeito Antrópico Sobre O Ambiente: Uma Análise Com Base Nos Pressupostos Da Ctsa - Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 51-66, 2014.

Ramos, Tiago Clarimundo; Fernandes-Sobrinho, Marcos. As fontes de energia e algumas inter-relações CTS concebidas por licenciandos da área de Ciências Naturais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 746-765, 2018.

Sá Barreto, Eduardo. **Capital na estufa: para a crítica da economia das mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Consequência, 2018.

Sá Barreto, Eduardo. **Ecologia Marxista para pessoas sem tempo**. São Paulo: Usina Editorial, 2022.

Sá Barreto, Eduardo. Marx contra a fantasia “coaseana”: uma crítica ontológica ao fundamento teórico dos mercados de carbono. **Marx e o Marxismo**, v. 3, n. 5, p. 263-278, 2015.

Santos, Francisca Samara Muniz dos; Lima, Leonardo Alves de; Brito, Luiza Maria Valdevino; Bezerra, Norma Suely Ramos Freire; Gonçalves, Patricia Almeida Tavares. O Ensino de Biologia com enfoque CTSA: Uma Abordagem sobre Educação Ambiental e Sustentabilidade no Ensino Médio da Rede Pública do estado do Ceará. **Revista Insignare Scientia**, v. 3, n. 2, p. 406-427.

Santos, Wildson Luiz Pereira dos. Educação CTS e cidadania: confluências e diferenças. Amazônia - **Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 9, n. 17, p. 49-62, jul./dez. 2012.

Santos, Wildson Luiz Pereira dos. Educação científica humanística em uma perspectiva freireana: resgatando a função do ensino de CTS. Alexandria: **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 109-131, 2008.

Santos, Wildson Luiz Pereira dos. Significados da educação científica com enfoque CTS. Em: Santos, Wildson Luiz Pereira dos; Auler, Décio. **CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa**, Brasília: Editora da UNB, 2011.

Saviani, Dermeval. **Pedagogia Histórico-Crítica: primeiras aproximações**. Campinas: Autores Associados, 2011.

Silva, Cristine Santos de Souza da; Prochnow, Tania Renata; Pellegrini, Giuseppe; Bizzo, Nelio. Pesquisa de Percepções de Estudantes do Ensino Médio sobre os Desafios Ambientais. **Ciência & Educação**, v. 26, 2020.

Silva, Luciano Fernandes; Carvalho, Luiz Marcelo de. A Temática Ambiental a as Diferentes Compreensões dos Professores de Física em Formação Inicial. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, p. 369-383, 2012.

Souza, Bruna Costa de; Valadares, Juarez Melgaço. O ensino de ciências a partir da temática Mineração: uma proposta com enfoque CTS e três momentos pedagógicos. **Ciência & Educação**, v. 28, p. 1-16, 2022.

Souza, Leila Cristina Aoyama Barbosa; Marques, Carlos Alberto. Discussões Sociocientíficas sobre o Uso de Agrotóxicos: uma Atividade Formativa Problematicada pelo Princípio da Precaução. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 2, p. 495-519, 2017.

Strieder, Roseline Beatriz. **Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas**. Tese de Doutorado em Ciências/Ensino de Física - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Trein, Eunice Schilling. A educação ambiental crítica: crítica de que? **Revista Contemporânea de Educação**, v. 7, n. 14, agosto/dezembro, 2012.