

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Educação
Programa de Pós-Graduação em Educação:
Conhecimento e Inclusão social



Antônio Marcos Vieira Costa

A LEITURA DA REALIDADE AMBIENTAL
MEDIADA PELAS IDEIAS DA FÍSICA:
uma análise da produção escrita sobre a atuação de
temas ambientais na educação em ciências

Belo Horizonte
2021

Antônio Marcos Vieira Costa

**A LEITURA DA REALIDADE AMBIENTAL
MEDIADA PELAS IDEIAS DA FÍSICA:
uma análise da produção escrita sobre a atuação de
temas ambientais na educação em ciências**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo M. Vaz

Belo Horizonte
2021

C8371
T Costa, Antônio Marcos Vieira, 1985-
A leitura da realidade ambiental mediada pelas ideias da física
[manuscrito] : uma análise da produção escrita sobre a atuação de temas
ambientais na educação em ciências / Antônio Marcos Vieira Costa. -
Belo Horizonte, 2021.
163 f. : enc, il., color.

Tese -- (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Faculdade de Educação.
Orientador: Arnaldo de Moura Vaz da Silva.
Bibliografia: f. 134-144.
Anexos: f. 145-163.

1. Educação -- Teses. 2. Educação ambiental -- Teses. 3. Meio
ambiente -- Teses. 4. Física -- Estudo e ensino -- Teses. 5. Ciência --
Estudo e ensino -- Teses.

I. Título. II. Silva, Arnaldo de Moura Vaz da, 1962-.
III. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

CDD- 363.70071

Catálogo da fonte: Biblioteca da FaE/UFMG (Setor de referência)
Bibliotecário: Ivanir Fernandes Leandro CRB: MG-002576/O



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E
INCLUSÃO SOCIAL



FOLHA DE APROVAÇÃO

**A LEITURA DA REALIDADE AMBIENTAL MEDIADA PELAS IDEIAS DA FÍSICA:
UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO ESCRITA SOBRE A ATUAÇÃO DE TEMAS
AMBIENTAIS NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**

ANTONIO MARCOS VIEIRA COSTA

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL, como requisito para obtenção do grau de Doutor em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL.

Aprovada em 31 de maio de 2021, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Arnaldo de Moura Vaz da Silva - Orientador
UFMG

Prof(a). Josimeire Meneses Julio
UFSCar

Prof(a). Vanessa Sena Tomaz
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof(a). Gustavo Pereira Pessoa
Instituto Federal Minas Gerais

Prof(a). Alessandro Damasio Trani Gomes
UFSJ

Prof(a). Rosimar de Fátima Oliveira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL

Belo Horizonte, 5 de outubro de 2021.

À Elaine, minha pequena grande família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que sempre se esforçaram para que eu pudesse ter acesso à educação e me tornar professor.

À minha esposa Elaine, por todo seu companheirismo e incentivo. Eu não teria conseguido essa realização (nem muitas outras) sem sua ajuda. Obrigado por iluminar minha vida.

Ao professor Arnaldo Vaz, pela inspiração para trilhar a jornada de professor e pesquisador. Agradeço por toda ajuda, para além dos assuntos desta pesquisa, pela confiança e paciência.

Às colegas e aos colegas que fiz durante o curso, Luisa, Tais, Júlia, João Rafael, Lucas, Alexandre e João Paulino, por tornar essa caminhada mais feliz. Agradeço à Dani, pela amizade que permitiu dividir tantos sorrisos e desabafos e por toda ajuda com a pesquisa.

Aos colegas G.O.VAZ, por compartilharem um ambiente em que pude aprender sobre tantos assuntos acadêmicos e sobre tantos outros aspectos do viver.

Aos sativos e vagalumes de Ouro Branco. Pessoas que deixam a caminhada mais leve e alegre.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação, que tanto acrescentaram em minha formação. Às professoras Vanessa Tomaz e Josimeire Júlio, pela disposição para participar tanto da banca de qualificação, quanto da banca de conclusão e por todas as sugestões e críticas fundamentais para o trabalho. Às professoras Júlia Parreira Esteves e Maria Regina Kawamura e aos professores Alessandro Damásio Trani Gomes e Gustavo Pereira Pessoa, pela disposição para participar da banca de conclusão.

A todos os familiares e colegas que trouxeram palavras de incentivo e me deram energia para chegar até o final desse processo. Isso foi essencial para lidar com o cenário tão solitário e desolador da pandemia.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, pelo incentivo à capacitação e pelo período de dispensa das atividades docentes.

“A trama do meio ambiente é a trama da própria vida, ali onde se encontram natureza e cultura; o meio ambiente é o cadinho em que se forjam nossa identidade, nossas relações com os outros, nosso "ser-no-mundo”.

Lucie Sauvé

RESUMO

A interpretação do meio ambiente e da relação que a sociedade mantém com ele é um objeto de interesse para a pesquisa no campo da Educação. Estudos que exploram esse objeto têm indicado pistas acerca de como o meio ambiente é pensado por professores e estudantes, ou ainda, de como ele é (re)produzido em abordagens e reflexões que buscam incorporar os temas ambientais à Educação. No presente estudo, esse tipo de interpretação é denominado de denominado “leitura da realidade ambiental”. Conduzimos uma investigação de natureza qualitativa com o objetivo de captar e discutir criticamente a leitura da realidade ambiental no contexto específico de artigos que discutem a participação de temas ambientais na educação em ciências. O estudo resulta em um mapeamento das interfaces entre a Física e os temas ambientais, bem como o aprofundamento em duas questões que marcam a narrativa ambiental de nosso tempo: o aquecimento global e a sustentabilidade. Um *corpus* com 41 artigos foi estabelecido e submetido à técnica de análise categorial. Constatou-se uma baixa diversidade de temas socioambientais retratados, com o predomínio de abordagens voltadas para a questão da sustentabilidade e do aquecimento global. Temas relacionados a formas de poluição e reflexões sobre ética ambiental também foram verificados, porém com frequência significativamente mais baixa. A abordagem da questão do aquecimento global caracterizou-se pela ênfase na dimensão dos fenômenos naturais com potencial para influenciar o clima no planeta. A dimensão humana, por sua vez, foi pouco explorada. No entanto, apontamentos sobre contradições na relação sociedade-natureza são realizados ao explorá-la. Observou-se que o debate em torno da influência humana para o aquecimento global se faz presente no *corpus*, com forte tendência ao apoio da tese antropogênica. A noção de sustentabilidade é assumida através de um enfoque energético, com predomínio de abordagens voltadas ao desenvolvimento do uso racional da energia. Também foram observadas discussões que vinculam a sustentabilidade ao questionamento de aspectos culturais que intensificam a demanda por energia. A análise permitiu inferir que o modo como as ideias da Física são mobilizadas pode estabelecer possibilidades de reforço ou de superação das visões caracterizadas como naturalista, antropocêntrica e utilitarista, o que parece depender do tipo de enfoque oferecido.

Palavras-chave: Meio ambiente. Ensino de Física. Educação ambiental.

ABSTRACT

The interpretation of the environment and the relationship that society maintains with it is an object of interest for the educational field. Studies that explore this object have indicated clues about how the environment is thought by teachers and students, or even, how it is (re)produced in approaches and reflections that seek to incorporate environmental issues into education. This type of interpretation is called in this study as reading the environmental reality. In this thesis, we report a qualitative investigation that aims to capture and critically discuss the reading of environmental reality in the specific context of articles that discuss the involvement of environmental issues in science education. It is proposed a mapping of the interfaces between Physics and environmental issues and a deepening into two topics that mark the current environmental narrative: global warming and sustainability. A corpus of 41 articles was established and submitted to the category analysis technique. A low diversity of socio-environmental themes was found in the corpus, with the predominance of approaches focused on sustainability issues and global warming. Topics related to pollution and environmental ethics were also noted, but with significantly lower frequency. The reading of the global warming issue emphasizes a scientific approach of natural phenomena with potential to influence climate change. The human dimension is little explored, however contradictions in the relationship between society and nature are pointed out when exploring it. The debate about human influence for global warming is present in the corpus, with a tendency to support the anthropogenic thesis. The notion of sustainability is assumed through an energy focus, with a predominance of approaches aimed at developing the rational use of energy. We also observed discussions that link sustainability to questioning cultural aspects that intensify the demand for energy. The analysis showed that the way in which Physics is applied can provide reinforcement or overcoming of naturalistic, anthropocentric and utilitarian environment views, which seems to depend on the characteristics of the approach.

Keywords: Environment. Physics Teaching. Environmental Education.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Concepções de meio ambiente	23
Quadro 2 - Parâmetros que orientaram a definição das unidades de registro.....	51
Figura 1 - Relação entre tópicos de Física e principais temas ambientais identificados no <i>corpus</i>	54
Figura 2 - Balanço de energia e comparação da temperatura planetária a partir do efeito estufa 1.....	64
Figura 3 - Balanço de energia e comparação da temperatura planetária a partir do efeito estufa 2.....	64
Figura 4 - Componentes do sistema climático.....	68
Figura 5 - Sistema climático com elementos da perspectiva complexa	69
Figura 6 - Histórico de concentração de CO ₂ atmosférico e de registros de anomalias de temperatura 1	78
Figura 7 - Histórico de concentração de CO ₂ atmosférico e de registros de anomalias de temperatura 2	78
Figura 8 - Histórico de concentração de CO ₂ atmosférico e de registros de anomalias de temperatura 3 (com previsão de concentração futura).....	79
Figura 9 - Principais aspectos do aquecimento global identificados no <i>corpus</i> e a leitura que denotam.....	97
Figura 10 – Protótipo de usina eólica	103
Figura 11 - Fluxos de energia típicos de um veículo movido com motor de combustão	107
Figura 12 – Atividade experimental para verificar a eficiência de lâmpadas	108
Figura 13 – Natureza e circulação de energia e matéria.....	113
Figura 14 – Sociedade e circulação de energia e matéria.....	114
Figura 15 – Representação da dimensão energética retratada no <i>corpus</i>	117
Figura 16 - Terra vista da estação espacial internacional.....	155
Figura 17 - Quantidade de luz interceptada pela Terra e por um disco esférico de mesmo diâmetro	157
Figura 18 - Entrada e saída de energia no planeta.....	158
Figura 19 - Variação na excentricidade da órbita terrestre.....	159
Figura 20 - Variações na obliquidade.....	160

Figura 21 - Média para anomalias de temperaturas obtidas por diferentes centros de estudos climáticos.....	162
Figura 22 - Média para anomalias de temperaturas globais obtidas por satélites	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação de temperaturas para planetas	63
Tabela 2 - Faixas para o albedo de coberturas terrestres	156

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO ₂	Dióxido de carbono
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
EA	Educação Ambiental
ECTSA	Educação, Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
EDS	Educação para o Desenvolvimento Sustentável
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
EPEF	Encontro de Pesquisa em Ensino de Física
ERIC	<i>Educational Resources Information Centre</i>
ESERA	Associação Europeia de Pesquisa em Educação em Ciências
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
PIB	Produto Interno Bruto
QSC	Questões Sociocientíficas
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Sobre o autor	15
1.2 Sobre a pesquisa.....	16
2 DESENVOLVIMENTO.....	20
2.1 A crise ambiental e o desafio de sua leitura	20
2.2 Estudos que exploram a relação entre a realidade ambiental e sua leitura..	21
2.3 A Física e a leitura do panorama ambiental: o problema e as questões de pesquisa	26
2.4 O recorte do universo do ambiental.....	32
2.4.1 O aquecimento global.....	32
2.4.2 A sustentabilidade	34
3 REFERENCIAL DE ANÁLISE.....	37
3.1 Levantamento do <i>corpus</i>	37
3.1.1 Caracterizando o contexto das publicações	39
3.1.1.1 <i>Educação Ambiental</i>	39
3.1.1.2 <i>Educação, Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente</i>	41
3.1.1.3 <i>Educação para o Desenvolvimento Sustentável</i>	42
3.2 Freire e a leitura da realidade	43
3.2.1 A leitura da realidade ambiental	47
3.3 Coleta e tratamento dos dados	49
3.3.1 Pré-análise	49
3.3.2 A exploração do material.....	50
3.3.3 Tratamento dos resultados obtidos e interpretação.....	51
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	53
4.1 Mapeando a interface entre a Física e a problemática ambiental	53
4.2 Caracterizando a leitura do aquecimento global.....	59
4.2.1 O reconhecimento de fatores que influenciam a temperatura planetária.....	61
4.2.1.1 <i>A dinâmica do clima terrestre</i>	67
4.2.2 O debate sobre a influência humana para o aquecimento global	72
4.2.3 A dimensão humana: conflitos e esperanças em torno da questão aquecimento global	81
4.2.4 Síntese e discussão sobre a leitura do aquecimento global mediada pelas ideias da Física.....	87

4.3 A Física e os significados para a sustentabilidade	98
4.3.1 Sustentabilidade em seu enfoque social	101
4.3.1.1 <i>Energia em larga escala</i>	102
4.3.1.2 <i>Energia em contextos locais e individuais</i>	105
4.3.2 Sustentabilidade em seu enfoque ambiental	110
4.3.3 Síntese e discussão sobre a relação entre Física, sustentabilidade e leitura da realidade ambiental.....	115
5 CONCLUSÃO.....	121
REFERÊNCIAS	134
ANEXOS	145
Anexo I – Detalhamento do <i>corpus</i>	145
Anexo II – Conceitos científicos e métodos para lidar com a temperatura planetária envolvidos no tratamento do aquecimento global	155

1 INTRODUÇÃO

1.1 Sobre o autor

Início esta tese com uma breve descrição de meu percurso como professor e pesquisador, como forma de contextualizar o caminho trilhado até aqui e as situações que me instigaram a escrever sobre o tema que proponho.

Sou licenciado em Física e atuo como professor há 12 anos. Durante a maior parte desse tempo, atuei no ensino médio e no ciclo básico de cursos de Engenharia. Atualmente, sou professor efetivo em um Instituto Federal de Educação localizado no interior de Minas Gerais, onde continuo a exercer minha prática docente nesses segmentos de ensino e, recentemente, passei a atuar no curso de pedagogia.

Meu contato com a pesquisa em educação teve início em 2005, quando tive a oportunidade de participar de um programa de iniciação científica vinculado ao grupo Inovar de pesquisa em ensino de Ciências. Neste período, pude acompanhar estudos desenvolvidos pelo setor de Física do Colégio Técnico da UFMG e participar de pesquisas relacionadas ao ensino por investigação. Após a conclusão da licenciatura, vinculei-me ao programa de pós-graduação da FaE/UFMG, sob a supervisão do professor Antônio Tarciso Borges. A aprendizagem em sala de aula esteve no foco das atividades da iniciação e do mestrado.

Em 2010, concluído o mestrado, passei a me dedicar à docência e me afastei da pesquisa por 5 anos. Ao retomar os estudos, a investigação de questões relacionadas à relevância da educação em Ciências e ao interesse dos jovens pelas Ciências se tornou foco de pesquisas conduzidas em parceria com o colega e amigo Rafael Marinho.

Paralelamente à retomada da pesquisa, pude acompanhar algumas situações, até então inovadoras na minha experiência como docente, que envolviam a mobilização da comunidade escolar para a proposição de ações socioambientais e de enfrentamento de conflitos dessa ordem. Essas situações eram diversificadas e envolviam ações como plantio de árvores na cidade, processos de reciclagem e destinação adequada de resíduos, palestras sobre temas ambientais, intervenções ecológicas, entre outras. Dentre essas atividades, destaco a iniciativa da comunidade em questão de se posicionar contra um projeto de lei estadual que propunha destinar parte de um importante parque de conservação ambiental à atividade de mineração. Na ocasião, escolas da região, famílias

e integrantes de diferentes grupos sociais articularam-se para participar de audiências públicas e para construir ações de conscientização sobre os impactos e riscos que essa atividade ofereceria à região.

Episódios desse tipo contribuíram para que eu ressignificasse minha visão de mundo. O universo socioambiental, antes invisível para minha percepção, passou a integrar o conjunto de critérios que orienta minha conduta e minha forma de pensar o mundo e a sociedade. Ao mesmo tempo, essas vivências colocavam-se em meu percurso acadêmico como um convite para refletir sobre como as ideias da Física participam da interpretação do meio ambiente e da relação que a sociedade mantém com ele, tendo em vista, em especial, a crise ambiental que marca o período que vivemos. Reflexão essa que me levou à proposição do presente estudo.

1.2 Sobre a pesquisa

O período em que vivemos é marcado por um quadro de crise ambiental sem precedentes na história. Desde a década de 1960, os sinais dessa crise tornaram-se mais evidentes, com níveis crescentes de poluição atmosférica em grandes centros urbanos, perda da cobertura vegetal da terra e da fertilidade do solo, assoreamento dos rios, entre outros problemas (DIAS, 2003). Desde então, essa problemática se acentuou e o caráter antrópico de sua origem (LEFF, 2015; MARQUES, 2018) permitiu conjecturar a vigência de um novo período geológico – o antropoceno – no qual a humanidade atua como uma força de magnitude geológica (ARTAXO, 2014; FERRÃO, 2017), que impõe severas alterações no planeta, com consequências graves para a vida humana e não humana.

Acerca dessa crise, é possível distinguir duas dimensões: de um lado se encontram as questões ambientais, como uma realidade que impacta de muitas maneiras tanto o meio biofísico quanto o meio social. Do outro, temos a percepção dessa realidade, isto é, o modo como ela é apreendida pelos sujeitos. Ainda que certos aspectos das questões ambientais se manifestem no ambiente de modo tangível aos nossos sentidos, esses aspectos são insuficientes para comunicar a totalidade da situação que os origina e ressaltar as inter-relações dos vários elementos envolvidos. Além disso, muitas dessas manifestações e os respectivos riscos envolvidos não podem sequer ser enxergados ou sentidos (BECK, 2009) e são complicados, uma vez que sua apreensão exige um elevado nível de abstração (BOSTRÖM; UGGLA, 2016).

Desse modo, as questões relacionadas ao meio ambiente podem ser consideradas complexas por se constituírem, através da fusão de um amplo conjunto de fenômenos de ordem social e natural, em um emaranhado entre vida, natureza, ser humano e sociedade (PENA-VEGA, 2010). Essa complexidade, combinada com elementos subjetivos e sócio-históricos, confere à realidade ambiental a possibilidade de diferentes interpretações (CARVALHO, 2009; CARVALHO; FARIAS; PEREIRA, 2011a; LENOBLE, 1990; RIBEIRO; CAVASSAN, 2013a; TUAN, 1983).

A influência de Paulo Freire me conduz à noção de que a realidade ambiental não é apenas um dado objetivo ou um fato concreto, mas também a percepção que as pessoas possuem dela. Isso me orienta a tratar a interpretação da realidade ambiental como uma leitura; uma leitura de mundo. Leitura essa que não pode ser dissociada do contexto próprio de quem a realiza e, assim, pode envolver diferentes perspectivas para compreender as questões ambientais. A forma com que o referencial de Freire auxilia a caracterizar a noção de leitura da realidade ambiental é descrita no capítulo 3.

A sensibilidade que tenho pelo contexto de enfrentamento dessa crise ambiental fez com que, nos últimos anos, a relação entre Física escolar e questões ambientais passasse a chamar minha atenção, o que me instigou a procurar espaços em que essa relação se manifesta e a constatar que ela se faz presente em documentos oficiais que orientam o currículo de ciências, em livros didáticos, dissertações e teses e, principalmente, em artigos acadêmicos. Constatei que os artigos cumprem um papel fundamental na divulgação de abordagens e reflexões sobre a integração de temas ambientais no ensino de Física e estabelecem um espaço argumentativo que (re)produz interpretações para as questões ambientais. Uma vez que esse espaço é constituinte do campo ambiental (CARVALHO, 2005), sua análise se torna pertinente ao campo da pesquisa em educação, na medida em que oferece potencial para instituir processos de identificação, crenças, valores éticos, estéticos e morais, assim como para instaurar um horizonte imaginativo para o universo do ambiental (STEIL; CARVALHO, 2014).

Ao revisar a literatura que investiga o modo como o meio ambiente e a relação que a sociedade com ele mantém são pensados pelas pessoas, bem como a forma como são (re)produzidos e compartilhados em produções escritas e audiovisuais, constatei que esse tema não é explorado no contexto específico da Física. Essa lacuna indica que, embora existam muitas propostas de abordagens e de reflexões em torno da integração de questões ambientais no ensino de Física, pouco se sabe a respeito da leitura (ou melhor, das possíveis leituras) que essas iniciativas (re)produzem sobre a realidade ambiental.

Esta tese parte do princípio de que o encontro entre as ideias da Física e os temas ambientais produz possibilidades de leituras da realidade ambiental. Proponho caracterizar o modo como essa leitura é realizada no contexto específico de artigos que mantêm diálogo com a educação e o ensino de ciências. Para isso, proponho um mapeamento das interfaces entre Física e temas ambientais e um recorte que considera duas questões que marcam a narrativa ambiental de nosso tempo: o aquecimento global e a sustentabilidade.

Portanto, o problema de pesquisa surge da necessidade de captar e discutir criticamente essas perspectivas e consiste em caracterizar a leitura da realidade ambiental mediada pelas ideias da Física. Para lidar com o problema apresentado, formulei as seguintes questões de pesquisa.

- a) Quais são as principais situações identificadas como problemáticas ambientais retratadas a partir das ideias da Física?
- b) Para as situações identificadas, quais motivações orientam a aproximação entre a Física e o universo ambiental?
- c) Como se caracterizam as leituras da problemática do aquecimento global?
- d) Como a noção de sustentabilidade é significada no contexto investigado?

Ao apresentar as duas últimas questões de pesquisa, objetiva-se entender como elas são comunicadas no contexto investigado, de modo a identificar e discutir como esse contexto orienta a compreensão do meio ambiente e de sua relação com a sociedade, bem como as implicações para o ensino de Física.

Para relatar a investigação, organizei a tese em cinco capítulos. Esta introdução, o primeiro capítulo, retrata meu percurso como professor e pesquisador, a motivação para investigar o tema proposto e uma breve descrição do problema de pesquisa. No capítulo 2, desenvolvimento, apresento referências que discutem a interpretação da realidade ambiental, trazendo uma breve revisão de estudos que adotam como objeto de interesse a forma com que as pessoas interpretam essa realidade, assim como o modo como ela se expressa em abordagens pedagógicas e produções escritas. Também apresento o delineamento do problema de pesquisa e detalho os recortes definidos para abordar a problemática ambiental, justificando a escolha dos temas do aquecimento global e da sustentabilidade.

No capítulo 3, referencial de análise, apresento elementos metodológicos relacionados ao levantamento do *corpus*, a coleta e a análise dos dados. Discuto como o referencial freireano – em especial a concepção de estados de consciência e o modo como

Freire os relaciona com a percepção da realidade – me auxiliou a caracterizar a noção de leitura da realidade ambiental, bem como definir os parâmetros para coleta e análise dos dados sobre as questões do aquecimento global e da sustentabilidade. Além disso, também indico como a técnica de análise categorial orientou o tratamento dos dados.

No capítulo 4, apresento a análise dos dados e sua discussão, através da abordagem das categorias que a análise categorial permitiu construir. Esse capítulo é estruturado seguindo a ordem com que as questões de pesquisa foram apresentadas. Desse modo, o capítulo se inicia pela apresentação do mapeamento das interfaces entre Física e os temas ambientais, seguido das motivações que demonstraram conduzir a aproximação entre essas duas áreas. Posteriormente, apresento a análise para a questão do aquecimento global e, em seguida, para a sustentabilidade.

Por fim, no capítulo 5, conclusão, apresento as considerações finais e aponto possíveis implicações para o campo de pesquisa e ensino de Física. Após o capítulo 5, encontra-se o anexo I, que apresenta informações sobre os textos que compõem o *corpus* que analisamos, e o anexo II, que consiste em um material explicativo sobre alguns conceitos científicos e métodos utilizados na medição da temperatura planetária e no tratamento do aquecimento global. Optamos por deixar essas explicações na forma de um anexo para não sobrecarregar a leitura do texto.

Ressalto que, a partir desse ponto, continuo a escrever na primeira pessoa do plural, por compreender que a colaboração de meu orientador foi imprescindível para a elaboração deste texto.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 A crise ambiental e o desafio de sua leitura

“Da minha aldeia vejo quanto da terra se pode ver no Universo...Por isso a minha aldeia é tão grande como outra terra qualquer. Porque eu sou do tamanho do que vejo e não do tamanho da minha altura...”.

Fernando Pessoa

A crise ambiental é uma realidade que impõe severos efeitos tanto ao meio biofísico quanto ao meio social, revelando um quadro de questões sem precedentes na história, com consequências graves para a vida humana e não humana. Ela surge como uma resposta à interação – cada vez mais incompatível – entre o modo como a sociedade contemporânea se organiza e o modo como a natureza se comporta.

Na condição que assumimos, de professores de Ciências e pesquisadores do campo da Educação interessados em colaborar com o enfrentamento dessa crise ambiental, nos chama a atenção o modo como essa realidade pode ser lida pelas pessoas.

Ainda que alguns sinais dessa crise se manifestem no ambiente de maneira mais concreta e perceptível aos nossos sentidos, eles representam uma pequena parte da complexidade ambiental; um pequeno laço da trama que emaranha múltiplos e diferentes fenômenos naturais e sociais. Apesar de notáveis, os sinais da crise ambiental são incapazes de comunicar a totalidade da situação que os origina e as inter-relações dos vários elementos envolvidos.

A contaminação das águas de uma lagoa ou de uma bacia hidrográfica, por exemplo, pode facilmente indicar ao observador a noção de que algo está errado, mas não traduz a trama dos processos sociais que culminaram nessa problemática. Além disso, muitas dessas manifestações, bem como os riscos envolvidos, não podem sequer ser enxergados nem sentidos (BECK, 2009) e exigem um elevado nível de abstração para serem apreendidos (BOSTRÖM; UGGLA, 2016).

Nesse sentido, as questões relacionadas ao meio ambiente desafiam a construção de uma leitura que as capturem em uma perspectiva mais ampla. Elas se constituem a partir da fusão de fenômenos que abrangem as dimensões social e natural, em um emaranhado

entre vida, natureza, ser humano e sociedade (PENA-VEGA, 2010). No entanto, é comum que elas sejam tratadas pela ótica do conhecimento fragmentado; pela análise isolada das partes constituintes (BALIM; MOTA; SILVA, 2014; FLORIANI, 2001; LEFF, 2015).

Essa forma fragmentada de tratar as questões ambientais pode ter relação com aspectos do pensamento ocidental e sua afinidade com o ideal cartesiano, que é regido por uma visão parcial e reducionista da realidade (RIBEIRO *et al.*, 2012). Nessa perspectiva, a fragmentação da realidade e o pensamento disjuntivo são apontados como ingredientes que contribuíram para o desenvolvimento de visões acerca da realidade ambiental caracterizadas pela desvinculação entre seres humanos e natureza, pela ênfase em aspectos naturalistas (flora, fauna, terra, água etc) e utilitaristas (recursos para atender a sociedade, como a matéria-prima para produção industrial, combustíveis, alimentos etc.) (DICTORO *et al.*, 2019).

Essas considerações permitem pensar a crise ambiental como reflexo de uma crise de percepção (PENTEADO; FORTUNATO, 2010); uma crise que “repõe questões de fundo concernentes à nossa maneira de ver a natureza” (UNGER, 1992, p. 11); uma crise que expressa dificuldade ou limitação relacionada à leitura crítica da realidade. Crítica no sentido de ultrapassar as visões que reduzem o meio ambiente à dimensão ecológica e aos elementos naturais – tratados como recursos para atender a sociedade; crítica no sentido que possa conduzir ao entendimento de que a crise ambiental é, sobretudo, uma resposta, o resultado das contradições entre fenômenos naturais e sociais de diferentes ordens.

2.2 Estudos que exploram a relação entre a realidade ambiental e sua leitura

Nosso estudo adota como objeto de interesse a leitura da realidade ambiental, que pode ser entendida como um produto de processos subjetivos e de relações culturais desenvolvidas ao longo do tempo e no espaço (CARVALHO, 2009). As vivências, saberes e conhecimentos específicos de cada pessoa, assim como o conjunto de características que marcam o grupo social e a época em que ela está inserida, demonstram ser fatores que orientam a significação do meio ambiente e da relação que com ele se estabelece. Em outros termos, elementos específicos de uma determinada cultura ou área do conhecimento permitem o desenvolvimento de modos particulares de conceber o meio ambiente, a relação que a sociedade com ele mantém, bem como a percepção de problemáticas ambientais (TUAN, 1983).

Sobre a leitura da realidade ambiental, Isabel Carvalho (2009) destaca que se trata de um processo que não se encerra no horizonte histórico e se encontra sempre aberto para estabelecer novos desdobramentos a partir do diálogo entre natureza e cultura. Ao investigar esse processo, a autora aponta que:

O ambiente que nos cerca está sendo constantemente lido e relido por nós desde os sentidos disponíveis para que a leitura se torne possível e plausível. Nesse sentido, a interação com o ambiente ganha o caráter de um autêntico diálogo, na qual aquele se oferece como um contexto do qual fazemos parte, envolvidos que somos pelas condições ambientais, ao mesmo tempo em que nós, como seres simbólicos e portadores de linguagem, produzimos nossa visão e nossos recortes dessa realidade, construindo percepções, leituras e interpretações do ambiente que nos cerca. (...) Assim, inscrevemos as condições naturais em que vivemos em nosso mundo de significados, transformando a natureza em cultura. Essa relação dinâmica de mútua transformação (...) se apresenta como virtuosa, no sentido de sempre estar aberta para novos desdobramentos desse encontro, produzindo continuamente ambientes de vida e de cultura. (CARVALHO, 2009, p. 155).

A autora afirma que o modo como o meio ambiente é lido pelas pessoas está sujeito às transformações impostas pela dialética entre o tempo longo e o presente (CARVALHO, 2009). O modo como ele é compreendido no presente tem relação com sua compreensão no curso da história – uma espécie de tradição ambiental – e também com eventos da atualidade (CARVALHO; FARIAS; PEREIRA, 2011b; LENOBLE, 1990; RIBEIRO; CAVASSAN, 2013b). Os entendimentos a respeito do universo do ambiental são, portanto, influenciados por uma tradição própria, mas não são por ela determinados, pois também dependem das ações do presente, o que faz com que se sujeitem a caminhos imprevisíveis de abertura de sentidos.

Esse caráter sócio-histórico do modo de apreender o meio ambiente e a relação que a sociedade mantém com ele é sintetizado pelo filósofo Robert Lenoble, através da afirmação de que “não encontramos senão uma ideia de natureza que toma sentido radicalmente diferente segundo as épocas e os homens” (LENOBLE, 1990, p. 16). Na mesma direção, o geógrafo Carlos Gonçalves reforça essa noção, ao considerar que “toda sociedade, toda cultura, cria um determinado conceito de natureza, ao mesmo tempo em que cria e institui suas relações sociais” (GONCALVES, 2004, p. 37).

Para o campo da pesquisa em Educação, a leitura da realidade ambiental é um objeto de interesse que tem sido explorado, nas últimas décadas, para indicar pistas acerca de como o meio ambiente e a relação que a sociedade com ele mantém são pensados por professores e estudantes, ou ainda, (re)produzidos em propostas de abordagens e de

reflexões que incorporam os temas ambientais à Educação. Na literatura, termos como representação, percepção, interpretação e concepção também são utilizados para se referir a aspectos dessa leitura. Essas variações ocorrem de acordo com especificidades do referencial teórico-metodológico adotado, mas, de modo geral, os estudos visam descrever a realidade ambiental através da ótica das pessoas.

Para esse campo, destacamos dois tipos de estudos que se assemelham à nossa proposta de investigação por explorarem características da visão das pessoas para aspectos do universo do ambiental. O primeiro tipo de estudo possui como foco captar a concepção de meio ambiente em discursos e práticas vinculadas ao tratamento de temas ambientais no contexto da educação formal. Esse tipo de estudo sistematiza as possíveis formas com que o meio ambiente pode ser concebido por educadores e autores que abordam temas ambientais. As investigações conduzidas por Lucie Sauvé (SAUVÉ, 1996, 2005a, 2005b; SAUVÉ; BERRYMAN; BRUNELLE, 2000) exemplificam esse tipo de estudo. A partir de referenciais ligados à abordagem fenomenológica e à análise textual, a autora evidencia que o meio ambiente pode ser concebido de maneira plural pelos sujeitos investigados, em um espectro que varia desde formas mais reduzidas – que enfatizam os aspectos naturais que o compõem –, até formas mais sistêmicas – que envolvem a análise desses componentes e a interação que a sociedade com eles mantém. O Quadro 1 apresenta algumas concepções de meio ambiente identificadas pela autora.

Quadro 1 - Concepções de meio ambiente

Tipo de meio ambiente	Características
Natureza	O meio ambiente é percebido em sua forma original e pura, da qual os seres humanos estão dissociados. Ênfase em processos sobre como a natureza “funciona”.
Recurso	O meio ambiente é entendido como uma herança biofísica coletiva. Ênfase nos processos de gestão de sistemas de produção e de utilização dos recursos naturais (água, ar, solo, fauna, flora, minerais etc.) e sistemas de tratamento de resíduos. Eles são compreendidos como limitados e exigem cuidados para sustentar a qualidade de vida. É a forma predominante com que o meio ambiente é concebido no discurso do desenvolvimento sustentável.
Sistema	Meio ambiente concebido através dos componentes e das relações eco-sócio-sistêmicas. A dimensão humana é compreendida dentro do ecossistema global. Compreende-se um conjunto de realidades ambientais e seus vínculos com o passado, o presente e o futuro; entre o local e o global; entre as esferas política, econômica e ambiental; entre os modos de vida, a saúde e o meio ambiente etc.
Lugar em que se vive	Meio ambiente como realidades cotidianas. Um olhar renovado e ao mesmo tempo apreciativo e crítico, que busca redefinir-se a si mesmo e

	definir-se o próprio grupo social com respeito às relações que se mantém com o lugar em que se vive (como na escola, em casa, no trabalho etc.).
Biosfera	O meio ambiente é considerado a partir da interdependência das realidades socioambientais em nível mundial, como um macro-organismo que se autorregula (reconhecido na literatura por Gaia). É um mundo de interdependência entre os seres e coisas, que clama solidariedade entre todos os povos.
Projeto comunitário	O meio ambiente é um objeto compartilhado, essencialmente complexo: somente uma abordagem colaborativa favorece uma melhor compreensão e uma intervenção mais eficaz. Ele é entendido como lugar de cooperação e de parceria para realizar as mudanças desejadas no seio de uma coletividade.

Fonte: Elaborado pelo autor

Esse tipo de estudo pretende contribuir com o avanço de propostas relacionadas à formação ambiental, a partir do esclarecimento e do confronto entre as formas com que o meio ambiente é (re)produzido por profissionais comprometidos com esse tipo de formação.

O segundo tipo de estudo propõe conhecer as representações sociais de meio ambiente compartilhadas por grupos inseridos no contexto escolar, como forma de viabilizar a realização de atividades voltadas à formação ambiental; isto é, conhecer como as pessoas pensam o meio ambiente como caminho para planejar as intervenções pedagógicas. O acréscimo do termo social às representações indica que se trata da imagem do meio ambiente compartilhada por um grupo específico de sujeitos, que possuem certos traços sociais em comum. Esse tipo de abordagem se apoia na Teoria de Representações Sociais (MOSCOVICI, 1978). De acordo com Reigota (2007), a hipótese central envolvida nesse tipo de estudo é de que, a partir das representações sociais de meio ambiente de professores, é possível caracterizar as práticas pedagógicas cotidianas relacionadas com o tema. O autor aponta que, embora as representações apresentem um componente científico (em função da formação acadêmica dos professores), elas se destacam por apresentarem clichês e traços de senso comum.

Estudos desse tipo identificam que o meio ambiente é representado pelos investigados de acordo com as seguintes perspectivas: a) naturalistas, segundo as quais o meio ambiente é sinônimo de natureza, um espaço que corresponde ao lugar onde os seres vivos habitam, do qual os seres humanos são observadores passivos; b) antropocêntricas, que focalizam os recursos naturais para a sobrevivência do ser humano, compreendido como detentor desses recursos, que são encarados como meio para garantir melhor condição de vida e; c) globalizantes, que se caracterizam por contemplar as relações entre

a sociedade e a natureza, enfatizando aspectos naturais, políticos, sociais, econômicos, filosóficos e culturais e compreendendo a dimensão humana, portanto, como parte indissociável do meio (AIRES; BASTOS, 2011; ALBERTO; MAGALHÃES; TOMANIK, 2013; DIAS, 2013; DINARDI, 2017; LUIZ; AMARAL; PAGNO, 2009; MARTINHO; TALAMONI, 2007; MAZZOTTI, 1997; MORAES, 2009; PELLICIONI, 2002; REIGOTA, 2007).

Esses estudos têm evidenciado o predomínio de representações de meio ambiente limitadas a um reconhecimento fragmentado e isolado dos elementos naturais que constituem o meio, bem como sua função de prover a humanidade – o que não abrange o reconhecimento do ser humano como integrante do meio, nem as relações entre a dimensão social e a dimensão natural (representações que correspondem às concepções naturalistas e antropocêntricas). Esse resultado indica que é comum, tanto para os professores quanto para os estudantes investigados, conferirem ao meio ambiente caráter estritamente biológico e autônomo; de acordo com uma percepção segundo a qual somente os aspectos naturais dos fenômenos ambientais se destacam. Observa-se, ainda, que tanto estudantes quanto professores consideram o ambiente como provedor de recursos de utilidade exclusiva à sobrevivência do ser humano e ao desenvolvimento da sociedade. Nas duas visões, o ser humano aparece como observador separado da natureza e como utilizador dos recursos que a natureza coloca à sua disposição (CARVALHO, 2008). Elementos construídos pela humanidade e que alteram a paisagem natural, bem como o conjunto de relações dinâmicas e interdependentes que abrange aspectos naturais, políticos, econômicos e culturais, raramente são identificados. (FERREIRA; CRUZ BOMFIM, 2010). Ailton Krenak (2015) sintetiza essa visão utilitarista, comparando o que a sociedade define como recurso natural com um grande almoxarifado do qual se retira, de modo indiscriminado, tudo o que é preciso para se manter.

Esses achados podem ser utilizados para discutir aspectos da leitura de mundo pelos sujeitos e dos mecanismos que a conduzem. Isto é, é possível considerar que os resultados dessa linha de pesquisa – em especial o predomínio de concepções naturalistas e antropocêntricas – contêm pistas sobre como opera o processo de significação do meio ambiente em nosso tempo e espaço. Essa consideração pode reforçar a tese de que características marcantes do pensamento ocidental – em especial a separação entre ser humano e natureza; a redução do meio ambiente a um pecúlio à disposição da humanidade; a fragmentação da realidade, de modo a ocultar nexos entre o social e o natural – podem conduzir a leitura do meio ambiente pelos sujeitos. A superação dessas

formas de conceber o meio ambiente representam uma exigência para o desenvolvimento de percepções mais amplas e críticas do quadro de crise ambiental, uma vez que, limitadas aos aspectos naturais e utilitaristas, dificultam que as questões ambientais sejam vinculadas aos aspectos socioculturais.

2.3 A Física e a leitura do panorama ambiental: o problema e as questões de pesquisa

Na esteira da narrativa ambiental, a educação em ciências passou a integrar processos que envolvem a interpretação do meio ambiente – em especial a crise ambiental de nosso tempo. Desde a década de 1960, temas ambientais são abordados na Educação em Ciências (DIAS, 2003). A partir de 1990, essa temática passou a integrar documentos oficiais que influenciam (ou influenciaram) a Educação em Ciências no Brasil, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio e suas orientações complementares (BRASIL, 2000, 2002), as Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (BRASIL, 2013), a Matriz de Referência do Exame Nacional do Ensino Médio (BRASIL, 2015) e a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018). O mesmo se verifica em documentos internacionais que orientam a inclusão dos temas ambientais ao currículo de Ciências em outros países (HARRIS, 1991; KELANI, 2015; VASSILIOU, 2011).

O que observamos na legislação também se deu na produção acadêmica: uma tendência crescente de propostas de abordagens e de reflexões sobre a importância de incorporar temas ambientais à Educação em Ciências. (BRITES; CABRAL, 2012; CARMONA; PEREIRA, 2018; KAWASAKI; CARVALHO, 2009). Assim, o campo de pesquisa em educação em ciências consolidou em seu circuito de publicações e eventos linhas exclusivamente voltadas a sua interseção com os temas que dialogam com a dimensão socioambiental. A formação ambiental é compreendida como área de atuação em periódicos tradicionais desse campo, como a “Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências” e os periódicos “Ensaio: pesquisa em educação em ciências” e “Ciência e Educação”. Eventos importantes para esse campo, como o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) apresentaram a formação ambiental e a relação entre sociedade e meio ambiente em suas linhas temáticas. Além disso, esse tipo de proposição também passou a ocupar espaços multidisciplinares voltados ao debate específico sobre a relação entre Educação e meio ambiente (como os periódicos especializados em educação ambiental),

o que também proporciona um espaço de atuação para a pesquisa em Educação em Ciências.

Esses dados indicam uma tentativa de estimular o tratamento da temática ambiental na formação em ciências, o que nos parece ser um exemplo de ambientalização das práticas sociais, um processo que consiste na internalização da questão ambiental na formação dos sujeitos, de modo a oferecer uma espécie de tradução dessas questões pelas práticas sociais (CARVALHO; FARIAS; PEREIRA, 2011a; LOPES, 2006; NÓBREGA; NASCIMENTO, 2017). Os autores envolvidos nesse processo se comportam como intérpretes de suas áreas de atuação para os diferentes sentidos do ambiental em nossa sociedade (CARVALHO, 2001). Esse tipo de empreendimento possui sua relevância no potencial para instituir processos de identificação, crenças e valores éticos, estéticos e morais e instaurar um horizonte imaginativo (STEIL; CARVALHO, 2014).

As propostas construídas para interpretar a questão ambiental se inserem em um espaço argumentativo heterogêneo, marcado por múltiplas visões. Isabel Carvalho (2005) reconhece esse espaço como campo ambiental e destaca sua característica marcante de ser permeado por diferentes visões submetidas à lógica da disputa pelo poder simbólico: os significados, argumentos e discursos produzidos para a compreensão da realidade ambiental buscam se legitimar como mais “válidos” ou “verdadeiros”. Isso faz com que esse campo se comporte como uma “arena de atribuição de sentidos” para o universo do ambiental; um espaço de “invenção do ambiental” em suas diversas possibilidades de significação, marcado por disputas e negociações que envolvem diferentes visões (CARVALHO, 2001).

Desse modo, as propostas de abordagens e de reflexões que buscam incorporar os temas ambientais à Educação em Ciências, uma vez inseridas no campo ambiental, (re)produzem a busca por classificar, nomear, (re)significar e atribuir sentido para o que vem a ser um meio ambiente ideal, bem como uma conduta humana desejável. Esse processo insere a Educação em Ciências em um jogo mais amplo de disputa epistemológica pela apropriação da natureza e pelos modos de conhecer o mundo.

Diante desse contexto, começamos a nos perguntar sobre como as ideias da Física participam desse processo; como se caracteriza a leitura da realidade ambiental que se particulariza por ser mediada pelo conhecimento científico em Física. Esse questionamento nos conduziu à investigação aqui relatada. Portanto, nosso estudo se localiza dentre aqueles que adotam como objeto de interesse a leitura do meio ambiente e da relação que com ele mantemos. No entanto, em nosso caso, esse objeto foi delimitado

considerando a leitura da problemática ambiental produzida por autores que utilizam ideias da Física. Desse modo, nos interessamos por explorar um modo particular de comunicar a problemática ambiental de nosso tempo – no qual as ideias da Física são mobilizadas como recurso mediador – bem como discutir as implicações envolvidas para a compreensão do meio ambiente e para o ensino dessa disciplina.

O termo mediar faz referência à abordagem histórico-cultural (VYGOTSKY, 2007) e sua noção de que a relação dos seres humanos com o mundo é fundamentalmente mediada por instrumentos e signos. A partir desse referencial, movimentos de subjetivação e objetivação de uma cultura são mediados por elementos simbólicos. O processo de mediação permite aos sujeitos conferirem ao real uma existência simbólica, tornando-o cognoscível e comunicável. É o que possibilita aos sujeitos materializarem seus sentidos para o mundo, compartilhá-los com os outros e inter-relacionar-se com eles, “afetando seus comportamentos e sendo por eles afetado; transformar-se e desenvolver diferentes níveis de consciência a respeito da realidade social, cultural e de si mesmo” (PINO, 1995, p. 33).

As ideias da Física são assumidas como recurso capaz de auxiliar para que a problemática ambiental seja objetivada. Conceitos e outros elementos da Física podem ser tratados como recursos mediacionais e utilizados nesse processo de objetivação. De acordo com Barbosa (2018), um conceito físico pode assumir a dimensão de recurso de mediação em situações específicas, como sua mobilização para a resolver um problema, para responder a uma questão formulada ou, ainda, para construir argumentos. Nesse sentido, as ideias da Física podem ser compreendidas como um tipo particular de recurso para “materializar” (externalizar) aspectos das questões ambientais e orientar sua significação.

Nosso problema de pesquisa surge da necessidade de captar e discutir criticamente a leitura da problemática ambiental no contexto específico de produções escritas que propõem abordá-la a partir de elementos do conhecimento escolar em Física. Esse problema, portanto, consiste em **caracterizar a leitura da realidade ambiental mediada pelas ideias da Física**. Adotamos a produção escrita que aborda a participação de temas ambientais na educação científica como contexto para investigar o referido problema.

A escolha desse contexto justifica-se por seu potencial para divulgação de abordagens e reflexões que visam inserir na formação escolar em Física a construção de significados de ordem socioambiental. Apesar desse potencial, pouco se sabe acerca

desses significados, o que nos leva a questionamentos como os listados a seguir: como se caracterizam as visões para a problemática ambiental? Elas retratam estritamente um recorte científico do meio ambiente ou apresentam extrapolações desse recorte? Quais são as principais problemáticas identificadas? Quais aspectos dessas problemáticas são enfatizados? Quais motivações conduzem o tratamento dos temas ambientais? Essas visões reforçam concepções reducionistas – tais como as visões naturalistas e antropocêntricas – ou oferecem perspectivas para superá-las? Como a dimensão humana é representada nas reflexões? Quais as potencialidades e os limites envolvidos? Quais são as implicações para o ensino de Física?

Esses questionamentos representam inquietações que conduzem nosso interesse em propor a presente investigação. Não é possível responder a todos eles nas condições que formulamos esse estudo, no entanto, a partir deles, formulamos as quatro questões de pesquisa apresentadas a seguir. Elas nos orientam a construir um quadro panorâmico da aproximação entre Física e questões ambientais e a aprofundar a reflexão acerca de duas questões que marcam o período em que vivemos: o aquecimento global e a sustentabilidade.

a) Quais são as principais situações identificadas como problemáticas ambientais retratadas a partir das ideias da Física?

Essa questão visa mapear as interfaces entre a Física e o universo do ambiental, através da identificação das principais questões que têm sido retratadas no contexto investigado. A intenção é estabelecer um mapa dos principais pontos de articulação entre a Física e a problemática ambiental.

b) Para as situações identificadas, quais motivações orientam a aproximação entre a Física e o universo do ambiental?

Esta questão visa complementar a questão anterior, a partir da identificação das razões que orientam a elaboração das produções. Uma vez que a aproximação entre Física e temas ambientais, em contextos que dialogam com o ensino, parece ser recente, temos a intenção de conhecer os possíveis motivos que levam os autores a explorar essa área.

c) Como se caracterizam as leituras para a problemática do aquecimento global?

O aquecimento global representa um marco no período em que vivemos; um desafio em que a dimensão científica se coloca como mais uma dentre outras tantas envolvidas. Com essa questão, temos a intenção de compreender como esse problema é traduzido no contexto investigado, captando as escolhas dos autores para abordar o

problema a fim de, a partir disso, obter pistas sobre como a leitura da realidade ambiental se manifesta no contexto investigado.

d) Como a noção de sustentabilidade é significada no contexto investigado?

Apesar da importância da sustentabilidade para o período em que vivemos, esse termo, aplicado ao universo do ambiental, é muito abrangente e pode possuir diferentes significados. Com essa questão, temos a intenção de reconhecer os significados atribuídos à noção de sustentabilidade concebidos a partir de conhecimentos específicos da Física.

Ao responder a essas perguntas, pretendemos colaborar com o campo de pesquisa em educação em ciências, produzindo reflexões pertinentes para o processo de (re)pensar a formação científica para a inclusão de temas ambientais. Acreditamos que a análise proposta pode subsidiar professores, pesquisadores e outros envolvidos, promovendo a discussão de um enfoque ambiental no contexto da educação científica.

É importante destacar que temos ciência de que a questão ambiental é complexa no sentido de envolver inter-relações e interdependências entre conhecimentos e saberes de diferentes áreas, de modo que a dimensão científica é apenas uma entre as múltiplas dimensões envolvidas em determinada problemática ambiental (FLORIANI, 2001; LEFF, 2007, 2009). Nesse sentido, a noção de leitura da realidade ambiental em perspectivas amplas, que captam a totalidade dos processos envolvidos, é condicionada a perspectivas interdisciplinares. Logo, o contraste entre essa noção e nossa intenção de avaliar a relação entre Física (conhecimento disciplinar) e aspectos da leitura da realidade ambiental pode causar um estranhamento, visto que parte da óptica disciplinar e fragmentada para discutir algo complexo. No entanto, não interpretamos esse fato como estranho ou limitado, pois compreendemos que esse tipo de investigação oferece uma oportunidade para avaliar o papel das ideias da Física no tratamento das questões ambientais e para obter pistas sobre como essas ideias se articulam (ou buscam se articular) a elementos que extrapolam a dimensão científica.

Além disso, é preciso ressaltar que, ao assumir que à problemática ambiental se vincula uma crise relacionada à percepção, não temos a intenção de desprezar a importância decisiva dos problemas ambientais. É evidente e indiscutível a existência de conflitos e degradações instauradas no meio ambiente. Admitir o meio ambiente e a relação que mantemos com ele como objetos passíveis de múltiplas leituras pode trazer à tona a crítica ligada ao relativismo, que, por exemplo, pode minimizar tal problemática e considerá-la uma mera invenção - o que pode acarretar a redução dos esforços para solucioná-la (GERHARDT; ALMEIDA, 2005). A escolha por assumir a dimensão da

leitura tem uma justificativa analítica, que faz com que consideremos um caminho promissor para avaliar como elementos do conhecimento científico em Física podem contribuir para estruturar perspectivas para que tal crise seja comunicada, bem como para compreender possíveis limitações desse empreendimento.

Nossa escolha não tem a intenção de relativizar a crise ambiental no sentido de minimizá-la. Ela objetiva captar e analisar criticamente as possíveis leituras da realidade ambiental que se materializam através da mediação das ideias da Física e, assim, indicar pistas sobre como esse processo pode favorecer a exposição dos conflitos e contradições inerentes à relação sociedade-natureza, traçar possíveis caminhos (esperanças) para lidar com tal problemática ou, por outro lado, dar pistas sobre como esse processo pode operar para reforçar leituras reducionistas, visões fatalistas para o quadro de crise e alguma forma de suporte a posturas que minimizam ou negam o quadro de crise.

Em suma, nosso objetivo é analisar a participação da Física em produções que aproximam dos temas socioambientais como caminho para produzir reflexões acerca das possibilidades e limitações implicadas na leitura da realidade socioambiental. Admitimos que desse encontro emergem perspectivas para a leitura do meio ambiente, cuja investigação é relevante para o contexto da pesquisa em Educação. Captar essas perspectivas, caracterizá-las e discutir seus limites e potencialidades é o que nos move. É também importante ressaltar que nossa análise é limitada, por oferecer um recorte que se aprofunda em apenas duas questões ambientais. Apesar dessa limitação, acreditamos que a investigação contribui para o campo de pesquisa e ensino, ao apontar pistas sobre a relação entre a leitura da realidade ambiental e as ideias da Física.

Por fim, esclarecemos que as expressões ideias da Física ou tópicos de Física são usadas nessa tese como uma forma simplificada de se referir aos elementos do conhecimento específico dessa ciência. O pensamento científico pode ser entendido como composto de conhecimentos de domínio específico (conceitos sobre fenômenos dos campos das Ciências Naturais) e de estratégias de domínio geral (estratégias de raciocínio e de resolução de problemas) (FARIA, 2016). Portanto, ao utilizar essas expressões, nos referimos aos conceitos, princípios, modelos ou outros elementos específicos dessa ciência.

2.4 O recorte do universo do ambiental

O contexto de crise ambiental é muito amplo e envolve problemáticas de diferentes tipos e níveis de abrangência (do local ao global). Para conciliar nosso objetivo de discutir a relação entre a Física e a leitura da realidade ambiental, em um contexto tão amplo e diverso, o primeiro passo consistiu em delimitar um recorte. Optamos por aprofundar as reflexões em dois tópicos que marcam a narrativa ambiental de nosso tempo: o aquecimento global e a sustentabilidade.

Além da relevância dessas questões na atualidade, essa escolha admitiu o fato de tais tópicos representarem instâncias com forte conexão com a dimensão científica. As mudanças climáticas representam consequências de um histórico de incompatibilidades entre humanidade e natureza, cuja verificação e comunicação envolvem recursos científicos e processos tecnológicos desenvolvidos ao longo do tempo. A sustentabilidade, por sua vez, é um conceito cunhado pela sociedade contemporânea para lidar com esse histórico e evitar um colapso ambiental. Conceito esse que se liga a critérios para manutenção da espécie humana e também mantém diálogo com a Ciência e a tecnologia.

Desse modo, a escolha dessas temáticas justifica-se por sua relevância na atualidade e pela expectativa de que as publicações que as abordam podem ser mais propícias à análise de como conhecimentos específicos da Física podem ser mobilizados para comunicar a problemática ambiental a um público mais amplo. A seguir, apresentamos uma breve caracterização dessas questões.

2.4.1 O aquecimento global

O clima representa a manifestação de diversos processos e ciclos naturais que ocorrem no planeta. As mudanças climáticas, por sua vez, evidenciam as severas transformações que esses processos e ciclos têm sofrido ao longo do último século. O caráter dessas mudanças permitiu conjecturar se estaríamos vivendo no limiar de um novo período geológico – o Antropoceno – em que a humanidade atua como força de magnitude geológica capaz de alterar significativamente a paisagem global, os ciclos e os fluxos naturais (ARTAXO, 2014; FERRÃO, 2017; MARQUES, 2018), o que impõe riscos para vida humana e não humana.

O aquecimento global é um fenômeno associado à rápida elevação da temperatura média global,¹ que teve início a partir do período da Revolução Industrial. Tal fenômeno compõe o quadro das “mudanças climáticas”, onde ainda se destacam processos como a elevação do nível do mar, o derretimento acelerado de geleiras, mudanças nos tempos de floração, entre outros. Atualmente, inúmeras indicações apontam que esse aquecimento é preponderantemente antrópico, isto é, tem forte relação com a atividade humana, especialmente com a queima de combustíveis fósseis que intensifica o efeito estufa.

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019), a ação humana pode ser responsável por causar cerca de 1,0°C de aquecimento global desde o início da Revolução Industrial. Além disso, esse órgão aponta que o período entre 1996 e 2018 corresponde aos vinte anos mais quentes já registrados, sendo que os cinco primeiros lugares do *ranking* são dos últimos 5 anos. A estimativa é de que, caso continue a aumentar no atual ritmo, o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052. Muitas regiões monitoradas têm apresentado tendência de aquecimento acima da média global anual, com destaque para o Ártico, região em que isso ocorre com maior intensidade.

O IPCC ainda aponta que os principais impactos do aquecimento global são constatados nas alterações nas dinâmicas de ecossistemas. Os riscos projetados para o futuro incluem intensificação de secas e déficits de chuva; bem como maiores chances de desastres, devido ao excesso de chuva e ciclones tropicais; desaparecimento de regiões costeiras e ilhas, em função da elevação dos níveis dos mares; impactos sobre a biodiversidade, entre outros.

A relevância dessa temática para a sociedade fez com que ela alcançasse um papel de destaque no cotidiano, sobretudo em função da sua forte presença nos diferentes meios midiáticos, nas redes sociais, na esfera política e, ainda, em diferentes campos de atuação para ciências naturais e humanas. Esses espaços discursivos podem oferecer à questão climática formas heterogêneas de interpretação, dentre as quais se destacam os extremos de negação ou sustentação do fenômeno (PFEIFFER, 2016). Essas diferentes interpretações podem ser constatadas, por exemplo, em discursos políticos que negam ou minimizam a existência do aquecimento global, em posições que enfatizam o caráter controverso em torno das origens do aquecimento (tese antropogênica *versus* tese natural) ou ainda em interpretações que afirmam que a atividade humana está relacionada com

¹ O modo como a temperatura média do planeta é obtida é apresentado no Anexo II.

essa origem – tal como ocorre no campo científico (COOK *et al.*, 2013, 2016; ORESKES, 2004; ORESKES; CONWAY, 2011; POWELL, 2019).

2.4.2 A sustentabilidade

O entendimento de que tensões na relação sociedade-natureza são responsáveis pela crise ambiental e por diferentes problemas do campo social fizeram com que o conceito de sustentabilidade se tornasse um elemento fundamental na narrativa ambiental de nosso tempo. Esse conceito orienta um amplo espectro de discussões em torno do modo como a humanidade tem se desenvolvido, trazendo à tona apontamentos sobre possíveis incompatibilidades entre tal desenvolvimento e os limites do planeta. Diferentes campos de estudos incorporam esse tipo de discussão e vinculam a sustentabilidade à proposição de críticas, alternativas e perspectivas para (re)pensar a relação sociedade-natureza.

A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável podem, no entanto, ser compreendidos como conceitos polissêmicos e abertos à interpretação. Seus sentidos e valores sofrem variações nas discussões em que são empregados, conforme expressam Dixon e Fallon (1989):

(...) a sustentabilidade é invariavelmente usada para descrever uma meta que, ainda que superficial, é indiscutivelmente desejável. Em linhas gerais, ela representa a noção de que não queremos dar um passo à frente para tropeçar e retroceder dois passos. Em um exame mais detalhado, no entanto, verifica-se que o conceito é definido de forma tão ampla que está aberto a interpretações dispersas, o que cria potencial para mal-entendidos. As definições de sustentabilidade variam de estreitas e precisas a formas amplas e nebulosas. (DIXON; FALLON, 1989, p. 79, tradução nossa).

Em sua origem, a noção de sustentabilidade apresenta duas raízes distintas, que decorrem de reflexões do campo da ecologia e da economia (NASCIMENTO, 2012). Na ecologia, o conceito surge da percepção da natureza e seu papel de suporte nos processos de produção. Os especialistas em silvicultura são apontados como precursores do conceito de produção sustentável, em resposta à drástica redução dos recursos florestais da Europa nos séculos XVII e XVIII (PURVIS; MAO; ROBINSON, 2019). Nesse contexto, a sustentabilidade orienta reflexões sobre a necessidade de conservação de recursos naturais – seja para o consumo sustentável ou pela necessidade de preservação devido ao seu valor inerente.

No âmbito econômico, o conceito de sustentabilidade se assume como adjetivo, ao lado de desenvolvimento (desenvolvimento sustentável), uma espécie de reação à percepção da finitude dos recursos naturais, dos impactos de sua exploração descontrolada, bem como dos riscos de sua gradativa redução. É provável que a definição de desenvolvimento sustentável mais difundida entre os vários setores da sociedade seja aquela incorporada à agenda política dos anos 1980, através da publicação do relatório de Brundtland (1987). Esse documento define o termo como o “desenvolvimento capaz de satisfazer as necessidades das gerações presentes, levando em consideração as necessidades das gerações futuras” (WCED, 1987, p. 46). Nas décadas seguintes, conferências mundiais deram continuidade à discussão do desenvolvimento sustentável e continuaram a difundir esse conceito e seus desdobramentos para áreas como Educação, saúde e preservação ambiental. Em linhas gerais, esse discurso trata a sustentabilidade relacionada ao desenvolvimento como um critério para (re)conciliar a ordem econômica, os meios de produção e exploração do ambiente e, assim, estabelecer um caminho para lidar com conflitos sociais e ambientais.

Sobre esse contexto, Loureiro destaca:

o conceito de sustentabilidade é instigante, complexo e desafiador. Faz-nos pensar sobre múltiplas dimensões e suas relações. Mas o que houve de mais interessante ao se trazer um conceito biológico para a política e a economia foi não só admitir a dinâmica do contexto ecológico como uma condição objetiva de qualquer atividade social, mas também pensar em um desenvolvimento que fosse duradouro e atribuir responsabilidade pela vida das pessoas no futuro a partir do que o cidadão realiza no presente. Em um momento de tanta ênfase no imediato e na efemeridade, propor o inverso é algo consideravelmente radical e tem seu mérito (LOUREIRO, 2012, p. 57).

Apesar da definição proposta pelo relatório de Brundtland ter uma relevância histórica e política, além de cumprir o papel de marco fundamental para a reorientação do processo civilizatório da humanidade, sua validade tem sido debatida por estudiosos do campo ambiental. Para Leff (2015), essa definição não estabelece critérios rigorosos para internalizar ao sistema econômico as condições ecológicas e sociais, o que prioriza a sustentabilidade do modelo econômico vigente, em detrimento da sustentabilidade ecológica. Para o autor, o desenvolvimento sustentável se insere de modo ineficaz nas políticas ambientais e nos ajustes da economia neoliberal, como forma de legitimar e manter o padrão econômico, o que elimina qualquer perspectiva de desconstruir a ordem antiecológica que caracteriza a racionalidade econômica vigente.

De acordo com Leonardo Boff (2012), a reunião dos termos desenvolvimento e sustentável implica em uma contradição, visto que obedecerem a lógicas que se

contrapõem. O autor explica que o termo desenvolvimento acompanha um viés capitalista de crescimento econômico linear, caracterizado por explorar a natureza e privilegiar a acumulação de recursos. A ideia de sustentabilidade, ao contrário, tem sua origem nas ciências da vida e da ecologia e envolve uma lógica circular, com a tendência dos ecossistemas ao equilíbrio dinâmico, à interdependência e à cooperação de todos com todos.

De modo geral, as críticas em torno do conceito de desenvolvimento sustentável se fundamentam na noção de que trata-se de um modelo impraticável, uma vez que é regido por interesses que prezam pela manutenção do atual modelo econômico (LOUREIRO, 2012; MEIRA; SATO, 2005; SOFFIATI, 2002).

Esse contexto, portanto, explicita um impasse que consiste em conferir à sustentabilidade potencial para reverter o quadro de crise ambiental e, ao mesmo tempo, atribuir a esse conceito um conjunto amplo de significados – que inclusive desmaterializam tal potencial.

3 REFERENCIAL DE ANÁLISE

A investigação aqui relatada fundamentou-se em uma abordagem qualitativa com o foco na descrição e interpretação de informações contidas em artigos acadêmicos. Nesse capítulo, apresentamos os principais passos do percurso investigativo: o levantamento e a caracterização do *corpus*, a descrição dos elementos do referencial freireano que foram adaptados para operacionalizar a ideia de leitura da realidade ambiental e a coleta e pré-análise dos dados.

3.1 Levantamento do *corpus*

O primeiro passo do percurso investigativo consistiu na localização e seleção dos artigos que compõem o *corpus* a ser analisado. Utilizamos elementos da metodologia de pesquisa bibliográfica (FONSECA, 2002; LIMA; MIOTO, 2007; MACEDO, 1994) como referência para esse processo, seguindo os seguintes parâmetros para a localização das publicações:

- a) delimitação do tema presente nas obras;
- b) estabelecimento de um rol de palavras-chave;
- c) delimitação dos idiomas a serem considerados na busca;
- d) escolha dos tipos de fontes que se pretendia consultar;
- e) recorte do período a ser considerado na busca.

O tema foi delimitado como Física e temática ambiental em contextos em diálogo com a pesquisa em Educação. As obras de interesse, portanto, deveriam abordar a temática ambiental através das ideias da Física, considerando iniciativas que estabelecessem diálogo com o campo da pesquisa em Educação e ensino de Ciências. A análise preliminar, no âmbito do processo de qualificação de nosso estudo, revelou que esse tipo de publicação era propício para se observar a maneira como o conhecimento específico em Física é mobilizado para interpretar certos aspectos da problemática ambiental.

Consideramos textos publicados a partir da década de 1990, por compreender que, a partir desse período, desenvolve-se um quadro de pluralidade; de existência e convivência de diferentes perspectivas para abordar a temática ambiental no contexto da Educação (SILVA; CARVALHO, 2019). O ano de 2019 foi adotado como limite superior para o levantamento, tendo em vista a realização da análise a partir do ano seguinte.

As palavras-chave foram definidas a partir da combinação do termo “Física” com termos associados ao meio ambiente e à problemática ambiental, como “temas ambientais”, “ambiental”, “meio ambiente”, “ambiente”, “problemas ambientais”, “degradação”, “questão ambiental”, “sociedade”, “natureza”, “crise ambiental”, bem como palavras que remetem ao campo da pesquisa em educação e ensino, como “Ensino de Ciências”, “Educação Científica”, “Ensino de Física” e “formação científica”.

As palavras-chave foram consideradas em português e também traduzidas para o inglês, e aplicadas nas seguintes plataformas de busca: banco de dados do grupo de pesquisa INOVAR (através do *software* Zotero); portais SciELO e *Educational Resources Information Centre* (ERIC) e sites de busca *Google*, *Google acadêmico* e *Duck Duck Go*. O grupo INOVAR – do qual somos integrantes – tem realizado, há quase uma década, o trabalho de levantamento do estado da arte da pesquisa em educação em ciências, a partir da análise dos resumos publicados nos principais periódicos nacionais e internacionais e sua classificação de acordo com as áreas temáticas desse tipo de pesquisa. As plataformas *Google*, *Google acadêmico* e *Duck Duck Go* são sites de busca (buscadores) utilizados para encontrar informações na internet, sendo o *Google acadêmico* especializado em literatura acadêmica. Os serviços prestados pelo *Google* e *Duck Duck Go* diferenciam-se pela utilização de algoritmos de pesquisa baseados nas características do usuário. A intenção de combinar esses dois buscadores foi aumentar as chances de encontrar publicações com potencial para nosso estudo, uma vez que o *Google* pode ocultar determinados resultados em função de características do usuário.

A partir dessa busca, identificamos um conjunto inicial com 53 artigos. A opção por trabalhar com artigos pauta-se no potencial que eles oferecem para a divulgação de abordagens e reflexões sobre a integração da temática ambiental na formação escolar em Física. Além disso, a opção pelos artigos favorecia a leitura integral das obras, o que permitia que não nos limitássemos a passagens relacionadas às questões de pesquisa e, assim, pudéssemos compreender melhor o contexto do qual as publicações faziam parte. Realizamos uma leitura exploratória desse material, com o objetivo de verificar a relevância e a viabilidade de cada um dos textos para a pesquisa. Após a leitura exploratória, descartamos uma parte das publicações que não contemplavam nosso objeto de interesse e estabelecemos um *corpus* composto de 41 publicações, sendo 25 em língua portuguesa e 16 em língua inglesa, compreendidas entre 1992 e 2019. A maioria dos artigos corresponde a publicações em periódicos, somente 5 foram localizados em anais de congressos.

Em função de particularidades relacionadas às questões de pesquisa, organizamos os textos em três conjuntos. Para lidar com o processo de mapeamento das interfaces e das motivações envolvidas (primeira e segunda questão de pesquisa), tomamos como referência as 41 publicações que compunham o *corpus* geral. Para o aprofundamento nas questões do aquecimento global e da sustentabilidade (terceira e quarta questão de pesquisa), reduzimos o *corpus* geral em dois conjuntos de publicações. Essa redução priorizou trabalhos que permitiam analisar com clareza o modo como as ideias da Física participavam da abordagem das questões. A partir da redução, a análise pôde contar com dois *corpora* reduzidos, com um total de 24 artigos: 12 com foco na sustentabilidade e 12 com o foco no aquecimento global. O Anexo I apresenta a relação de textos selecionados.

3.1.1 Caracterizando o contexto das publicações

A leitura das produções selecionadas apontou que elas se alinham a proposições pedagógicas reconhecidas no campo da Educação, como a Educação Ambiental (EA), a Educação Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (ECTSA) e a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS). Apresentamos, a seguir, uma breve descrição dessas propostas pedagógicas, como forma de caracterizar o contexto de origem das publicações. Essas proposições orientam-se por referenciais distintos, que se diferenciam de acordo com intenção, enfoques privilegiados e concepção dominante do meio ambiente. No entanto, as fronteiras entre elas não são bem definidas e existem zonas de confluência (FREITAS; MARQUES, 2017).

3.1.1.1 Educação Ambiental

A origem dessa modalidade de educação remete ao século XIX (CARTER; SIMMONS, 2010), no entanto, foi a partir de 1968, que ela começou a ser sistematizada por um amplo conjunto de pensadores de diferentes áreas e países e ganhou visibilidade no cenário internacional. Esse processo decorre principalmente da realização das conferências da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), sediadas em Paris (1968), Estocolmo (1972), Belgrado (1975) e Tbilisi (1977), que são reconhecidas por abordarem diferentes aspectos do desenvolvimento da EA.

Existem várias definições para Educação Ambiental. A conferência de Belgrado a definiu como um processo que visa formar uma população consciente e preocupada com o ambiente e com os problemas que lhe dizem respeito, que tenha os “conhecimentos, as competências, o estado de espírito, as motivações e o sentido de participação e engajamento que lhe permita trabalhar individualmente e coletivamente para resolver os problemas atuais e impedir que se repitam” (MARCATTO, 2002, p. 14). A cada conferência, essa definição sofreu alterações para atender a novas demandas. No Brasil, a Constituição Federal, em 1988, determina a promoção dessa modalidade de educação ao estabelecer, no inciso VI do artigo 225, a necessidade de “promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente” (BRASIL, 1988, p. 36).

Atualmente, o termo Educação Ambiental se refere a um conjunto amplo de proposições pedagógicas que se diferenciam pela maneira geral com que são concebidas e praticadas. Lucie Sauvé (SAUVÉ, 2005b) identifica na literatura 15 correntes para a EA. Embora essas correntes possuam características específicas que as distinguem umas das outras, elas não são mutuamente excludentes e podem compartilhar características comuns.

O conhecimento científico é explorado em várias dessas correntes. Nas primeiras décadas de EA (1970 e 1980) a corrente científica para a EA tornou-se uma das pioneiras em incluir temas ambientais no contexto de formação científica. Ela tem como características marcantes a utilização do rigor do método científico na compreensão dos problemas ambientais e o enfoque predominantemente cognitivo – em que o ambiente é um objeto de conhecimento que precisa ser entendido para que decisões apropriadas possam ser tomadas.

No Brasil, a corrente crítica é uma das mais difundidas no contexto da pesquisa em Educação. A análise das dinâmicas sociais que se encontram na base das realidades e problemáticas ambientais é uma característica marcante dessa modalidade e se encontra ancorada na Teoria Crítica do Conhecimento, que defende a construção de uma visão integradora de Ciências e Filosofia, assim como uma atuação transformadora das relações sociais (LOUREIRO, 2015; SAUVÉ, 2005b; TORRES; FERRARI; MAESTRELLI, 2014).

Apesar da diversidade de correntes e definições para a EA, em termos gerais, educar para o ambiente reflete a necessidade de enfrentamento e proposição de novos caminhos para a relação sociedade-natureza.

3.1.1.2 Educação, Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

A preocupação em incluir aspectos sociais relacionados ao modelo de desenvolvimento científico e tecnológico na educação em ciências conduziu educadores e pesquisadores ao desenvolvimento de uma ênfase curricular voltada para as inter-relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Por possuir um diálogo com os temas ambientais, essa proposta também pode ser identificada como Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) (SANTOS, 2007). O movimento CTSA e a EA possuem o meio ambiente como uma interseção comum, uma vez que compartilham do foco em uma educação científica compatível com as transformações e riscos presentes na sociedade (STRIEDER *et al.*, 2016).

O surgimento do movimento CTSA também está inserido no contexto de destaque que os temas ambientais adquiriram a partir da década de 1960, aliado a um traço de desconfiança acerca dos excessos científicos e tecnológicos (ZAUITH; OGATA; HAYASHI, 2011). Essa abordagem admite que as interações entre Ciência e Tecnologia criam implicações de diferentes ordens (social, econômica, ambiental, ética, entre outras). Ela, portanto, prevê a necessidade de um enfoque democrático para que uma parcela cada vez maior da população compreenda a complexa relação entre Ciência, Tecnologia e suas implicações para a sociedade e para o meio ambiente (SANTOS; MORTIMER, 2002). A obra “Primavera Silenciosa”, de Rachel Carson, é reconhecida como precursora desse movimento, por vincular o modelo de desenvolvimento científico-tecnológico aos impactos ambientais. O livro “Estrutura das Revoluções Científicas”, de Tomas Kuhn, também é apontado como uma referência para o desenvolvimento da Educação CTSA (AULER; BAZZO, 2001; PÉREZ, 2012).

No Brasil, a abordagem CTSA possui tradição na pesquisa em ensino de Física para a educação básica e é reconhecida como linha de pesquisa nos principais encontros e periódicos da área. No contexto da Educação brasileira, pressupostos dos movimentos CTSA estão presentes em diferentes documentos que orientam (ou orientaram) o currículo de Física a partir da década de 1990 (STRIEDER *et al.*, 2016).

Ainda no contexto da educação CTSA, situa-se a abordagem das chamadas questões sociocientíficas (QSC). De acordo com Pérez (2012), as QSC abrangem controvérsias sobre assuntos sociais que estão relacionados a conhecimentos científicos e são comuns nos meios de comunicação de massa. Assuntos como clonagem, uso de células-tronco, alimentos transgênicos, energias alternativas e aquecimento global podem

se configurar como controversos na sociedade e envolvem consideráveis implicações científicas, tecnológicas, políticas e ambientais que podem ser trabalhadas em aulas de ciências.

3.1.1.3 Educação para o Desenvolvimento Sustentável

A Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) talvez seja uma das abordagens mais difundidas por governos e organizações internacionais. Essa modalidade é promovida mundialmente pela UNESCO e compreende que a educação é um fator vital para a promoção do desenvolvimento sustentável. A modalidade é assim definida pelo órgão:

Com uma população mundial de 7 bilhões de pessoas e recursos naturais limitados, nós, como indivíduos e sociedades, precisamos aprender a viver juntos de forma sustentável. Precisamos agir com responsabilidade com base no entendimento de que o que fazemos hoje pode ter implicações nas vidas das pessoas e do planeta no futuro. A Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) capacita as pessoas a mudar a maneira como pensam e trabalham para um futuro sustentável. A UNESCO visa melhorar o acesso à educação de qualidade sobre o desenvolvimento sustentável em todos os níveis e em todos os contextos sociais, para transformar a sociedade por meio da reorientação da educação e ajudar as pessoas a desenvolver conhecimentos, habilidades, valores e comportamentos necessários para o desenvolvimento sustentável. Trata-se de incluir questões de desenvolvimento sustentável, como mudanças climáticas e biodiversidade, no ensino e aprendizagem. Os indivíduos são incentivados a serem atores responsáveis que resolvem desafios, respeitam a diversidade cultural e contribuem para a criação de um mundo mais sustentável. (UNESCO, 2015, p. 1, tradução nossa).

Os fundamentos da EDS partem da necessidade de superar a problemática da degradação do ambiente e dos recursos naturais, de modo a evitar a consequente escassez para as gerações presentes e futuras. Desse ponto, emerge a necessidade de conciliar crescimento econômico, desenvolvimento humano e uso racional dos recursos naturais através do desenvolvimento sustentável.

Essa modalidade passou a compor o quadro de iniciativas que buscam incorporar os temas ambientais às aulas de ciências. A influência da EDS para a pesquisa em Educação em Ciências ganhou força a partir da década de 2000 - principalmente após a instituição da Década da Educação para Desenvolvimento Sustentável (UNESCO, 2009), entre 2005 e 2014 - e possui um volume significativo de publicações (JONES; SELBY; STEPHEN, 2010; KARATZOGLOU, 2013; WU; SHEN, 2016). Outro exemplo da influência da EDS para a pesquisa em Educação em Ciências foi o papel de destaque dado

ao tema “sustentabilidade” pela Associação Europeia de Pesquisa em Educação em Ciências (ESERA) na conferência de 2015 (LAVONEN *et al.*, 2015).

Desse modo, muitos trabalhos têm buscado difundir o pressuposto da sustentabilidade, estabelecendo a perspectiva de construção de um futuro previsível para a humanidade (GUERRA; FIGUEIREDO, 2014; LAURIE *et al.*, 2016). A literatura revela a existência de diferentes modelos de implementação da EDS no contexto da Educação em Ciências de todos os níveis (EILKS, 2015), bem como estudos destinados à formação docente (KARAARSLAN; TEKSÖZ, 2016) e ao desenvolvimento de ações sociais amparadas por um conhecimento científico articulado à dimensão da sustentabilidade (ROTH; LEE, 2004). Para o movimento da EDS, o contexto das aulas de Física é apontado como oportuno para que os estudantes compreendam questões relacionadas à sustentabilidade global, especialmente aquelas que envolvem o tema “Energia e Sociedade” (DOSCHER *et al.*, 2015; ROGERS *et al.*, 2013; WALL, 2009).

3.2 Freire e a leitura da realidade

O segundo passo do percurso investigativo que orientou o presente estudo consistiu em examinar o referencial de Paulo Freire a fim de encontrar suportes que nos permitissem lidar com uma questão de natureza metodológica, que consiste em operacionalizar a leitura da realidade ambiental. Apostamos na forma como Freire concebe a relação entre realidade, leitura e consciência como elemento norteador para esse processo.

Paulo Freire se pauta pela ideia de leitura de mundo, na qual o ato de ler não pode ser dissociado do contexto em que tal leitura se estabelece, de modo que diferentes fatores (sociais, culturais, políticos, subjetivos etc.) podem orientá-la. O ato de ler, portanto, estabelece diálogo com a interpretação da realidade que, por sua vez, é influenciada pelo contexto próprio de quem realiza a leitura.

Essa forma de tratar a leitura está em sintonia com nosso estudo, uma vez que investigamos como aspectos do meio ambiente e da relação que a sociedade com ele mantém são interpretados em um contexto específico, no qual autoras e autores utilizam o conhecimento científico em Física para expressar suas visões sobre a problemática ambiental – o que nos inspirou a empregar o termo leitura para nos referir a essas visões.

A realidade, para Freire, não representa apenas um dado objetivo ou concreto, mas também a percepção que as pessoas fazem dela. Acerca da realidade e sua leitura, na perspectiva de Freire, Moacir Gadotti (2017) assim escreve:

Ler o mundo, a partir dessa perspectiva, significa, então compreender que os fenômenos sociais estão vinculados a uma realidade macrossocial que imprime neles a sua marca histórica e os seus significados culturais. Captá-los, criticamente, supõe desvelar seu fundamento, origem, tendências e contradições, descobrindo, ainda, o lugar que cada um ocupa na totalidade do próprio real. Ler a realidade significa compreender os fatos como partes estruturais de um todo dialético. (GADOTTI, 2017, p. 344).

Nesse sentido, o ato de ler admite a superação da decodificação de signos e envolve um progressivo desvelar da realidade. A leitura da realidade pode se desenvolver e conduzir percepções mais amplas, que captam as partes estruturais e as inter-relações que compõem a realidade; que levam em conta a complexidade do mundo.

Para o caso das questões ambientais, essa complexidade se assume como um pressuposto epistemológico capaz de conduzir leituras em um sentido que se opõe a perspectivas de fragmentação. Trata-se de um tipo de leitura que não se limita à dimensão ecológica, uma vez que ela se encontra conectada com outras dimensões da sociedade. Desse ponto de vista, associar complexidade às questões ambientais implica em reconhecer formas de pensar e atuar no mundo que levam em conta as hibridações entre elementos de ordem natural e social; que associam natureza, seres humanos e sociedade de modo tal que admitem a crise ambiental e social como um todo único; que explicitam a confluência entre biosfera e sistema social (LEFF, 2009, 2015; PENA-VEGA, 2010).

O referencial de Freire auxilia a lidar com tal complexidade na medida em que assume que a leitura integra um processo de progressiva tomada de consciência de quem a realiza. A consciência é tratada em uma perspectiva dinâmica, em que há possibilidade de se desenvolver para apreender a realidade em perspectivas mais amplas. Isto é, o estado em que a consciência se encontra se relaciona com a abrangência da percepção para realidade. Sobre o aprofundamento da tomada de consciência, Freire escreve:

É uma apropriação que faz o homem da posição que ocupa no seu aqui e no seu agora, do que resulta (e ao mesmo tempo produz) o descobrir-se em uma totalidade, em uma estrutura, e não “preso”, ou “aderido” a ela ou às partes que a constituem. Ao não perceber a realidade como totalidade, na qual se encontram as partes em processo de interação, se perde o homem na visão “focalista” da mesma. A percepção parcializada da realidade rouba ao homem a possibilidade de uma ação autêntica sobre a mesma. (FREIRE, 2013, p. 24).

Freire concebe a relação entre consciência e realidade, a partir da consideração de que o ser humano se diferencia das demais espécies por sua capacidade de se afastar do mundo e construir uma inserção crítica nessa realidade. Crítica no sentido de objetivá-la de modo cada vez mais lúcido, a ponto de desvelar as inter-relações verdadeiras dos fatos percebidos (FREIRE, 2013). Freire afirma que a “conscientização é isto: tomar posse da realidade; por esta razão, e por causa da radicação utópica que a informa, é um afastamento da realidade” (FREIRE, 1979, p. 14). Esse afastamento se relaciona com o que o autor chama de “ad-mirar” o mundo; olhar para o objeto de conhecimento com distância suficiente para contemplar o que anteriormente não poderia ser contemplado. Ao ad-mirar determinado objeto de estudo, pode-se analisar a percepção que se tem dessa realidade e, assim, realizar uma análise da percepção anterior e, com isso, obter uma visão nova, uma percepção crítica (ESCOBAR, 2017).

Essas considerações nos levam a crer que uma mesma realidade pode ser apreendida em diferentes graus de abrangência, que podem variar de acordo com os estados de consciência. Consciência e leitura da realidade, portanto, são instâncias que se encontram imbricadas. Freire discorre sobre consciência relacionando-a a graus de compreensão da realidade e sua relação com o contexto histórico-cultural (KRONBAUER, 2017). Os estados de consciência para a realidade são definidos por Freire como consciência intransitiva, transitiva ingênua e transitiva crítica. O autor construiu, ao longo de suas obras, um quadro amplo de descrições para cada um desses estados, mostrando situações em que eles se manifestam (FREIRE, 2015, 2016a, 2016b). Nos próximos parágrafos, apresentamos algumas características desses estados e sua relação com o grau de percepção da realidade.

De acordo com Freire (2015), o estado de consciência intransitiva caracteriza-se por uma estrutura fechada, uma imersão absoluta na realidade concreta, privada de um mínimo afastamento para obter sua percepção, do que decorre a impossibilidade de discernir sobre a verdadeira causalidade dos eventos. Sobre o estado de intransitividade, Freire assim escreve:

(...) o homem, qualquer que seja o seu estado, é um ser aberto. O que pretendemos significar com a consciência ‘intransitiva’ é a limitação de sua esfera de apreensão. É a sua impermeabilidade a desafios situados fora da órbita vegetativa. Neste sentido e só neste sentido, é que a intransitividade representa um quase descompromisso do homem com a existência. (FREIRE, 2015, p. 58).

No estado de consciência intransitiva, não é possível se afastar da realidade para problematizá-la. A apreensão da realidade é limitada à dimensão biológica, o que impede, alguma forma, uma atuação em nível histórico. Essa condição de intransitividade, no entanto, não retira das pessoas sua abertura fundamental a ser mais, o que as permite passar ao estado de transitividade. A consciência transitiva é, num primeiro estado, ingênua. Isso significa que ela permite uma leitura mais abrangente da realidade, se comparada ao estado intransitivo – maior afastamento da condição de imersão – e mais bem disposta para perceber inter-relações e contradições. No entanto, é caracterizada pela fragilidade para interpretar essas contradições e conhecer com profundidade a causalidade dos fatos. Nesse sentido, superar a intransitividade significa ampliar o campo de percepção da realidade. “A consciência transitiva é, porém, num primeiro estado, preponderantemente ingênua. A transitividade ingênua (...) se caracteriza, entre outros aspectos, pela simplicidade na interpretação dos problemas”. (FREIRE, 2015, p. 59).

Num primeiro momento, a realidade não se dá aos homens como objeto cognoscível por sua consciência crítica. Noutros termos, na aproximação espontânea que o homem faz do mundo, a posição normal fundamental não é uma posição crítica, mas uma posição ingênua. A este nível espontâneo, o homem ao aproximar-se da realidade faz simplesmente a experiência da realidade na qual ele está e procura. (FREIRE, 1979, p. 15).

Por fim, o estado de consciência crítica se diferencia dos anteriores por seu maior afastamento da realidade, o que permite perceber a causalidade dos fatos; se diferencia pela profundidade na interpretação dos problemas e pela percepção das razões que explicam a maneira como homens e mulheres estão sendo no mundo. A realidade torna-se um objeto cognoscível e admite um caráter mutável – que pode ser transformada –, o que conduz ao engajamento sociopolítico. Freire assim caracteriza a consciência crítica:

A transitividade crítica (...) se caracteriza pela profundidade na interpretação dos problemas. Pela substituição de explicações mágicas por princípios causais. Por procurar testar os “achados” e se dispor sempre a revisões. Por despir-se ao máximo de preconceitos na análise dos problemas e, na sua apreensão, esforçar-se por evitar deformações. Por negar a transferência da responsabilidade. Pela recusa a posições quietistas. Por segurança na argumentação. (FREIRE, 2015, p. 60).

Esta tomada de consciência não é ainda a conscientização, porque esta consiste no desenvolvimento crítico da tomada de consciência. A conscientização implica, pois, que ultrapassemos a esfera espontânea de apreensão da realidade, para chegarmos a uma esfera crítica na qual a realidade se dá como objeto cognoscível e na qual o homem assume uma posição epistemológica. (FREIRE, 1979, p. 15).

Desse modo, na medida em que se ultrapassa o estado transitivo ingênuo para o crítico se constrói uma forma de fazer a leitura da realidade em uma perspectiva mais completa. Nesse sentido, Freire estabelece que a conscientização é um teste de realidade. Isto é, a transição entre os estados de consciência em direção à perspectiva crítica oferece o desvelar da realidade. Quanto mais conscientização, “mais se penetra na essência fenomênica do objeto frente ao qual nos encontramos para analisá-lo” (FREIRE, 1979, p. 15).

Essas ideias reforçam a discussão de que a realidade de crise ambiental oferece um desafio à leitura, na medida em que seu caráter complexo exige o desenvolvimento de percepções mais abrangentes. As palavras de Freire sintetizam esse desafio, o autor afirma que “faltando aos homens uma compreensão crítica da totalidade em que estão, captando-a em pedaços nos quais não reconhecem a interação constituinte da mesma totalidade, não podem conhecê-la” (FREIRE, 2016b, p. 160). O desafio de tal leitura torna-se ainda maior para o campo da educação, onde há fragmentação do conhecimento em disciplinas, áreas, núcleos, departamentos etc.

3.2.1 A leitura da realidade ambiental

A concepção de Freire sobre os estados de consciência e a leitura da realidade foi adaptada para permitir que a leitura das questões do aquecimento global e da sustentabilidade no contexto investigado fosse caracterizada. Para isso, partimos da lógica de que a transição entre os estados de consciência (intransitivo → transitivo ingênuo → crítico) envolve um aumento na abrangência da percepção da realidade. Percepções mais reduzidas tornam-se, progressivamente, mais abrangentes e dão lugar a percepções mais amplas da realidade. Isso pode ser interpretado como uma espécie de afastamento gradual do objeto a ser conhecido, o que permite captá-lo por inteiro, assim como sua relação com outros objetos. A adaptação que realizamos consistiu em utilizar essa lógica como caminho para objetivar a noção de leitura da realidade ambiental.

As questões ambientais constituem-se por diferentes dimensões, que envolvem a natureza, o ser humano e a sociedade. O contexto que investigamos, por sua vez, parte do conhecimento científico (conhecimento sobre o mundo natural) para discutir essas questões. Desse modo, a leitura de certa questão ambiental pode variar entre formas mais reduzidas, que se limitam à percepção da dimensão dos fenômenos naturais envolvidos ou à apreensão de elementos que a compõe; e formas mais amplas, que tendem a captar

não apenas elementos ligados aos fenômenos naturais, mas também os aspectos sociais e as inter-relações desses elementos.

Pensada a partir dos estados de consciência de Freire, a leitura da realidade ambiental seria caracterizada como intransitiva quando há uma espécie de imersão na dimensão natural associada à questão ambiental. Isto é, quando essa leitura privilegia um foco fechado na análise de um fenômeno natural associado à questão ambiental. Essa imersão não permitiria captar aspectos problemáticos e contradições que originaram essa questão, nem a relação entre dimensão social e natural; a questão ambiental teria sua complexidade reduzida a um recorte científico: os fenômenos naturais.

A leitura poderia ser tratada como transitiva ingênua na medida em que indica melhor predisposição para se afastar da dimensão natural, o que permitiria a verificação de contradições entre os elementos de ordem natural e social, mas em uma perspectiva que ainda oferece interpretações limitadas e superficiais e revela fragilidade na compreensão da origem da problemática.

Por fim, a leitura crítica seria considerada aquela que oferece interpretações mais profundas, com a capacidade de fundamentar a argumentação sobre as condições que originaram a problemática, considerando as inter-relações entre elementos sociais e naturais envolvidos, o que atribui à questão ambiental um caráter de realidade mutável; passível de ser transformada.

Desse modo, assumimos como hipótese de trabalho que a abordagem das questões ambientais mediada pelas ideias da Física parte de conhecimentos específicos para produzir leituras que podem oferecer diferentes graus de abertura, mais focadas e imersas no recorte científico de determinado fenômeno natural associado à questão, ou mais abrangentes, em que esses elementos se articulam à dimensão social para, por exemplo, expor aspectos da relação sociedade-natureza.

É importante ressaltar que, ao caracterizar a leitura da realidade ambiental conforme os estados de consciência, não pretendemos estabelecer algum tipo de valorização ou julgamento sobre qual leitura pode ser considerada melhor ou pior. O que se admite na análise é a possibilidade de identificar, no contexto das questões do aquecimento global e da sustentabilidade, os principais temas em diálogo com as ideias da Física, em uma busca que não se restringe à dimensão dos fenômenos naturais. Uma vez identificados esses temas, propomos produzir reflexões a partir das potencialidades, limitações e implicações envolvidas. Portanto, os estados de consciência de Freire nos inspiraram a construir uma forma de analisar não apenas como as ideias da Física são

mobilizadas para tratar os fenômenos naturais associados às questões do aquecimento global e da sustentabilidade, mas também esclarecer como elas podem estar articuladas ao tratamento de outros aspectos envolvidos na trama dessas questões.

3.3 Coleta e tratamento dos dados

Para coleta e tratamento dos dados, nos orientamos por elementos da análise por categorias (ou análise categorial) (BARDIN, 2011). De acordo com a autora, a análise categorial consiste em “tomar em consideração a totalidade de um texto, passando-o pelo crivo da classificação e do recenseamento, segundo a presença (ou de ausência) de itens de sentido” (BARDIN, 2011, p. 43). Os itens de sentido são estruturas presentes nos textos (palavras, frases, inscrições etc.) que se relacionam com o objeto de pesquisa e, portanto, oferecem potencial para orientar a interpretação.

Bardin (2011) divide a análise de conteúdo em três etapas: a) pré-análise; b) exploração do material e; c) tratamento dos resultados obtidos e interpretação. Organizamos as subseções a seguir de acordo com essas três etapas.

3.3.1 Pré-análise

A pré-análise se refere à fase de preparação, que consistiu na escolha e organização dos textos e na definição dos parâmetros de análise. A etapa de escolha e caracterização dos textos foi detalhada na seção 3.1. Para definição dos parâmetros de análise, Bardin (2011) propõe a escolha de índices e a definição de indicadores que orientam a coleta e a interpretação:

Se se considerarem os textos uma manifestação que contém índices que a análise explicitará, o trabalho preparatório será o da escolha destes - em função das hipóteses, caso elas estejam determinadas - e sua organização sistemática em indicadores. (BARDIN, 2011, p. 130).

Para lidar com a primeira questão de pesquisa, que propõe a tarefa de mapeamento das interfaces entre a Física e a problemática ambiental, buscamos nos textos a principal questão ambiental retratada. A segunda questão de pesquisa, por sua vez, propõe investigar as motivações envolvidas no tratamento das questões inicialmente identificadas, o que nos fez definir como um indicador para a motivação a presença de termos que remetiam às razões que levaram à abordagem daqueles temas – como “preocupar”, “solucionar”, “refletir”, “adequar”, “subsidiar”, “auxiliar”, “fomentar” e

“conhecer”. Esses termos foram definidos ao longo da leitura de reconhecimento dos textos.

O trabalho com a terceira e a quarta questões de pesquisa (que aprofundam a questão do aquecimento global e da sustentabilidade) parte da premissa que as publicações denotam leituras da realidade ambiental. Uma vez que essas leituras foram caracterizadas a partir da adaptação dos estados de consciência de Freire, descrições que remetem a cada um desses estados foram consideradas indicadores. Essa definição nos orientou a assumir as ocorrências em que se verificavam o uso de conhecimentos específicos em Física como um marcador. A partir deles, reconhecíamos as situações que os circundavam.

Desse modo, fomos movidos pela expectativa de que as ideias da Física poderiam manter vínculos com situações que oferecem leituras que podem estar centradas na dimensão natural ou extrapolá-la. Ou seja, partimos da possibilidade de que essas ideias operam como recursos mediadores para (re)produzir e/ou compartilhar significados sobre as questões ambientais; um recurso capaz de conferir “materialidade” a aspectos da questão do aquecimento global e da sustentabilidade. Sendo assim, consideramos como indicadores a presença de descrições voltadas para a identificação de conflitos e contradições, bem como situações que envolvem denúncias e discussão de valores ou a proposição de comportamentos e condutas etc.

Esses indicadores, portanto, nos levam ao reconhecimento de aspectos sobre o aquecimento global e a sustentabilidade retratados no *corpus*. A frequência dos indicadores é tratada para orientar a discussão sobre aspectos que podem ser considerados predominantes.

3.3.2 A exploração do material

A fase de exploração do material compreende a definição das unidades de registro e de contexto, bem como das categorias. O material bruto é fragmentado em unidades menores que posteriormente são categorizadas.

A unidade de registro é o segmento de conteúdo considerado como unidade de base. Em nossa análise, essas unidades foram definidas como passagens (fragmentos de texto) que explicitam o uso de elementos do conhecimento científico, seja para explicar fenômenos naturais envolvidos nas questões ambientais, seja para auxiliar em discussões que extrapolam a dimensão natural. Desse modo, dirigimos nossa atenção para frases e elementos visuais (inscrições) que continham descrições acerca da dimensão natural

(tratamento dos fenômenos) e de elementos da dimensão social (identificação de problemas/tensões de ordem social, denúncias, discussão de valores, comportamentos e condutas, entre outros que a análise poderia revelar).

Ainda nesta etapa da metodologia, a análise de conteúdo sugere a definição das unidades de contexto, que correspondem ao segmento do texto que auxilia a estabelecer sentido para a unidade de registro. O parágrafo que contém a unidade de registro foi definido como unidade de contexto. No entanto, para alguns casos, foi necessário extrair passagens maiores que o parágrafo, com o objetivo de contemplar a relação entre o conhecimento científico e a discussão de certo aspecto da problemática ambiental. Para as representações visuais, o parágrafo que continha a respectiva descrição foi tomado como unidade de contexto. O Quadro 2 apresenta os parâmetros utilizados definição das unidades de registro.

Quadro 2 - Parâmetros que orientaram a definição das unidades de registro

Parâmetro	Unidade de registro
Motivação em conduzir os estudos	Termos que expressam as razões em conduzir os estudos
Dimensão natural (fenômenos naturais)	Elementos do conhecimento científico em Física
Dimensão social	Apontamentos que explicitam: problema, tensão, contradição ou denúncia no contexto da relação sociedade-natureza; discussão de valores, proposição de comportamentos e condutas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez coletados, os fragmentos foram enumerados, classificados e agrupados em categorias. Para lidar com essa etapa, utilizamos uma planilha eletrônica como ferramenta para confeccionar uma grade de análise, que foi preenchida com fragmentos textuais/visuais extraídos dos artigos. As categorias não foram definidas *a priori*. Durante a classificação, progressivamente, percebíamos diferenças e semelhanças entre os fragmentos, o que conduziu a definição das categorias.

3.3.3 Tratamento dos resultados obtidos e interpretação

A última etapa da análise consiste em tratar os resultados brutos e colocar em destaque as informações obtidas, o que permite a proposição de inferências e interpretações baseadas no quadro teórico.

A categorização dos principais temas ambientais que perpassavam o *corpus* permitiu construir o mapa das interfaces entre a Física e a problemática ambiental, o que foi proposto pela primeira questão de pesquisa. Isso também foi feito com as motivações em aproximar a Física dos temas ambientais (o que contempla a segunda questão de pesquisa).

Para o tratamento das questões do aquecimento global e da sustentabilidade, cada categoria pôde ser interpretada como um tema que integra o contexto dessas questões. Para o aquecimento global, constatamos três categorias: a) o reconhecimento de fatores que influenciam a temperatura planetária; b) o debate sobre a influência humana para o aquecimento global; e c) dimensão humana, conflitos e esperanças em torno da questão do aquecimento global. Para a significação da sustentabilidade, verificamos duas categorias, que correspondem a duas propostas de como pensar a sustentabilidade energética: a) a sustentabilidade em seu enfoque social; e b) a sustentabilidade em seu enfoque ambiental.

Essas categorias revelam aspectos para o tratamento dessas questões ambientais no contexto investigado. No próximo capítulo, analisamos as categorias e propomos discuti-las e interpretá-las de acordo com a noção de leitura da realidade ambiental que elas denotam.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO

Com base nos parâmetros definidos no capítulo 3, Referencial de análise, localizamos nos artigos trechos que continham informações com potencial para auxiliar o tratamento das questões de pesquisa. Para lidar com a primeira e a segunda questões de pesquisa, extraímos do *corpus* geral (41 artigos) passagens que explicitavam a principal temática ambiental e as motivações envolvidas na condução dos trabalhos. Para o tratamento das terceira e quarta questões de pesquisa, que propunham um aprofundamento dos temas aquecimento global e sustentabilidade, utilizamos um *corpus* reduzido (12 artigos sobre sustentabilidade e 12 sobre aquecimento global). Extraímos do *corpus* reduzido fragmentos de textos e imagens que comunicavam aspectos relacionados ao aquecimento global e à sustentabilidade, conforme definidas na seção 3.3.3. Esses aspectos foram organizados em categorias que nos permitiram caracterizar a leitura dessas questões no *corpus*, bem como discutir as implicações envolvidas.

Neste capítulo, apresentamos as categorias construídas a partir da análise do *corpus*, alguns trechos que as exemplificam e sua discussão. Optamos por organizar este capítulo em três seções. Apresentamos, na seção 4.1, o mapeamento das interfaces entre Física e problemática ambiental, assim como a identificação das motivações envolvidas. Nas seções 4.2 e 4.3, exploramos a terceira e quarta questão de pesquisa, apresentando a análise da leitura para a questão do aquecimento global e da sustentabilidade mediada pelas ideias da Física.

4.1 Mapeando a interface entre a Física e a problemática ambiental

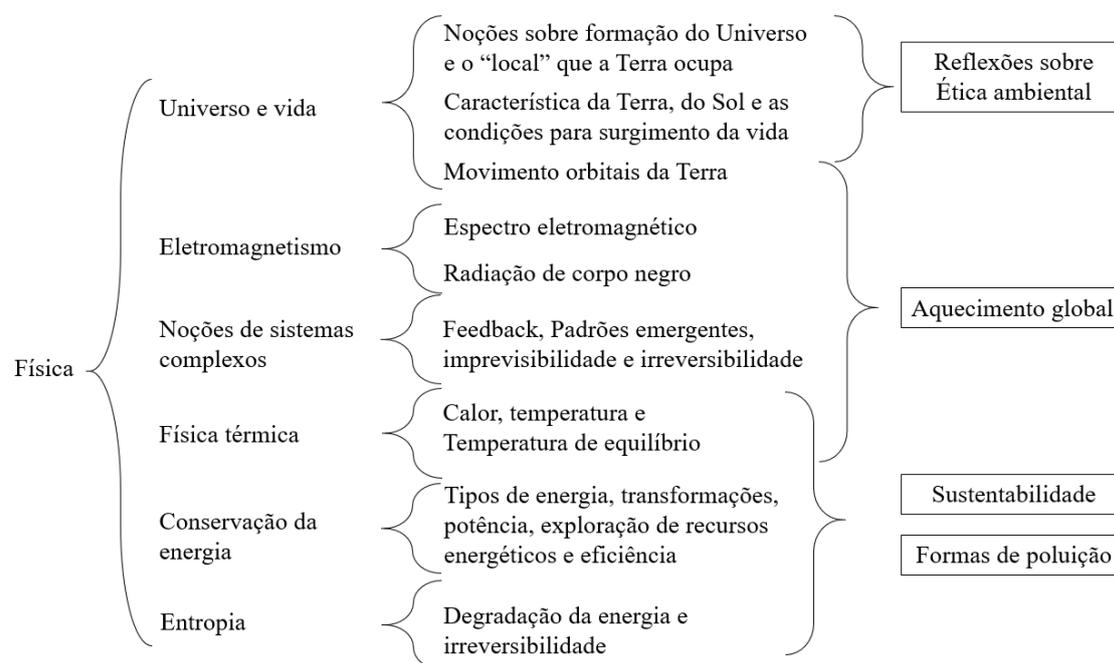
Nesta seção, apresentamos a análise do *corpus* geral, orientada pelas duas primeiras questões de pesquisa. Essas questões propõem um mapeamento das interfaces entre a Física e a questão ambiental, que leva em consideração a identificação das principais problemáticas, sua articulação com os tópicos de Física e as motivações envolvidas na aproximação desses dois contextos.

É interessante destacar que a distribuição do *corpus* em função do período de publicação indica que o interesse em investigar temas ambientais em contextos que dialogam com o ensino de Física é relativamente recente. A maior parte do *corpus* (32 artigos) foi publicada entre 2010 e 2019. Na década de 2000, encontram-se 8 artigos e somente 1 artigo foi publicado na década de 1990.

O mapeamento das interfaces entre Física e questão ambiental seguiu a estratégia de identificar no *corpus* geral passagens que informam a principal temática retratada nos artigos e as motivações das autoras e autores para explorá-la. A busca pela temática mostrou-se uma atividade simples, uma vez que, na maioria dos textos, o título ou o resumo explicitavam essa informação. Do total de 41 artigos, a maioria abrange temas relacionados a aquecimento global (15 artigos) e sustentabilidade (15 artigos). Além dessas duas categorias, cinco artigos possuem o foco voltado para reflexões sobre ética ambiental e quatro abordam temas ligados a formas de poluição. Em dois artigos não conseguimos categorizar a principal temática, por discutirem diferentes problemas no contexto da crise ambiental.

Além da busca pelos temas, ao longo da leitura dos textos, também dirigimos nossa atenção para o reconhecimento dos tópicos de Física que eram mobilizados para retratar tais temas. A Figura 1 ilustra as temáticas identificadas e os respectivos tópicos de Física mobilizados para abordá-las.

Figura 1 - Relação entre tópicos de Física e principais temas ambientais identificados no *corpus*



Fonte: Elaborada pelo autor.

Um tema que identificamos nos artigos foi **reflexões sobre ética ambiental**. Essa categoria engloba trabalhos marcados pela presença de conhecimentos relacionados com a astronomia e cosmologia. Esses tópicos são abordados em discussões que, em linhas

gerais, trazem apontamentos sobre a relação conflituosa entre antropocentrismo e meio ambiente. Os trabalhos estabelecem uma espécie de contraponto à centralidade no ser humano, indicando que nossa espécie representa parte de uma natureza maior e, assim, enxergá-la a partir do universo pode sugerir uma perspectiva capaz de ressignificar a problemática ambiental (BRONZATO et al., 2015).

Para isso, conhecimentos sobre o universo e o planeta Terra são evocados. Tópicos como a teoria do Big Bang, a formação do sistema solar e a discussão sobre a localização do nosso planeta nesse sistema – o que lhe confere condições para o desenvolvimento da vida – são mobilizados para pensar numa proposta de ética ambiental que desloque o foco do ser humano para o planeta. A passagem a seguir, sintetiza o tipo de apontamento verificado nessa categoria:

Quando a exploração do espaço abre um vasto mundo além do nosso planeta, quando as histórias do universo começam a ser compreendidas, quando segredos fascinantes do cosmos são revelados, quando o destino de nossa Terra está intimamente relacionado aos outros planetas e ao Sol, quando a crise ambiental na Terra nos alerta para reexaminar a relação humano/natureza, algumas questões exigem nossa exploração: como deveria ser relação entre os seres humanos e a natureza quando a natureza que conhecemos não está mais limitada à nossa própria Terra? O que seria uma relação “apropriada” entre seres humanos e natureza quando as mudanças ambientais na Terra soam como um alarme para a insustentabilidade dessa relação? Essas questões nos levam a uma tentativa de imaginar uma ética que pode orientar atitudes e comportamentos mais sustentáveis (...) (PETERS; HUNG, 2009, p. 324, tradução nossa).

Os textos que associamos ao tema **reflexões sobre ética ambiental** promovem um senso de pertencimento e de responsabilidade, mediado pelo reconhecimento de características peculiares da Terra. Em alguns casos, adjetivos que expressam beleza são empregados em um sentido que confere admiração ao planeta e à natureza. Essa abordagem apresenta o conhecimento científico a partir de um enfoque afetivo, que conduz os questionamentos sobre condutas que degradam o ambiente, como exemplificado nas passagens a seguir:

A Terra é um planeta lindo e especial, banhado pela luz do Sol na exata temperatura e distância. Ela tem a massa, o tamanho e a temperatura adequados para manter sua atmosfera com uma concentração de gases ideal para manutenção da vida. Sua atmosfera é uma bela mistura de gases (...) sua rotação uniformiza o aquecimento solar, e promove ventos e correntes oceânicas essenciais ao clima e aos processos naturais. Como podemos degradar esse presente? (BUCHAN, 2010, p. 8, tradução nossa).

(...) vemos que a vida, em todos os seus níveis, representa uma herança também universal. É nosso problema decidir se vale a pena participar conscientemente

desse processo - isso implica em olhar o futuro, a história do planeta em seus vários níveis composicionais e não meramente viver nossa vida ou momentos tão individuais da mesma. (...) Não nos adianta, nesse sentido, entender como funciona uma biosfera ou um ecossistema - é preciso perceber, sentir o valor que a vida tem (e se há algum) nesse contexto tão amplo. Nosso cotidiano na superfície do planeta, agravado e sabotado por processos insistentes de desvalorização, nos afasta cada vez mais da visão de nosso valor universal, curiosamente na época em que somos obrigados a pensar tanto, com urgência, na saúde do planeta. (VIEIRA, 1992, p. 19).

Desse modo, essa categoria não envolve algum tipo específico de problemática ambiental, mas remete à sua dimensão moral e ética e argumenta que a crise ambiental decorre dos valores preponderantemente antropocêntricos que a humanidade historicamente adota. Conhecimentos relacionados ao universo são mobilizados para subsidiar os questionamentos apresentados nessa dimensão. Os textos, portanto, buscam oferecer uma base axiológica que permite (re)pensar um sistema de valores ambientais centrados na história do universo e, em especial, do planeta Terra. A base dessas reflexões parece indicar que a história humana está conectada à história do universo.

Em uma perspectiva distinta, os textos que abordam o tema **aquecimento global** tendem a privilegiar a apresentação do recorte científico desse fenômeno. Isto é, o foco é explicar certos aspectos de fenômenos naturais com potencial para influenciar a temperatura do planeta. Tópicos da astronomia, eletromagnetismo, física térmica e sistemas complexos são mobilizados nesse processo. De modo semelhante, a abordagem da **sustentabilidade** baseia-se em textos que buscam, principalmente, explicar processos como a exploração de recursos energéticos e a transformação de energia por dispositivos, com a intenção de apontar formas de minimizar os impactos socioambientais e estruturar caminhos considerados mais sustentáveis para a relação sociedade-natureza. Ao tratar da sustentabilidade, tópicos da física térmica, conservação da energia e entropia são mobilizados. Discutiremos a abordagem dessas duas temáticas mais adiante.

Por fim, a categoria **formas de poluição** abrange textos que discutem situações como contaminação da água, poluição luminosa e a questão do lixo. Os tópicos de Física são mobilizados de maneira mais superficial, se compararmos o tratamento dado a eles nos temas anteriores. Destacam-se questões como o ciclo da água, a reciclagem, as relações entre o excesso de iluminação artificial e os efeitos para a saúde humana e os ecossistemas.

Após a categorização desses temas, buscamos identificar as principais situações consideradas como problemáticas ambientais. Percebemos que a noção de problemática não se limita a questões que envolvem degradação e danos ao meio biofísico e social, mas

se estende a preocupações imateriais, que envolvem a forma como as pessoas pensam certos aspectos da relação sociedade-natureza. As reflexões sobre ética ambiental apresentadas nos parágrafos anteriores exemplificam esse tipo de preocupação. Outras preocupações desse gênero também foram verificadas, como possíveis problemas quanto à falta de rigor científico em informações veiculadas pela mídia – o que é apontado como problemático por levar a desentendimentos sobre, por exemplo, as mudanças climáticas – e o questionamento do conceito de desenvolvimento sustentável.

Desse modo, chamamos de situações problemáticas questões de natureza material (danos aos meios biofísico e social) e imaterial (relacionadas aos modos de pensar/comunicar certos aspectos da crise ambiental). O Quadro 3 sintetiza as principais problemáticas identificadas em cada uma das categorias.

Quadro 3 - Principais situações problemáticas verificadas no *corpus*

Categoria	Situação Problemática
Reflexões sobre ética ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Valores antropocêntricos que corroboram a manutenção da crise ambiental. - Falta de conexão entre a “história” do planeta e a história da humanidade.
Aquecimento global	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade de percepção do fenômeno. - Alterações das condições atmosféricas e da superfície terrestre que podem intensificar o efeito estufa. - Forma com que informações são comunicadas pela mídia.
Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Impactos socioambientais relacionados com a exploração dos recursos energéticos. - Ineficiência associada à utilização de energia em contextos cotidianos. - Ausência de aspectos biofísicos como critério ao desenvolvimento sustentável.
Formas de poluição	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas causados à saúde humana e ao ecossistema, bem como redução da visibilidade do céu noturno em função iluminação artificial. - Poluição das águas. - Geração excessiva de resíduos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Enquanto a busca pelas principais temáticas abordadas mostrou-se uma atividade simples, a identificação das motivações exigiu uma leitura interpretativa mais criteriosa, que foi orientada pela estratégia de dirigir a atenção para passagens que continham termos relacionados às razões para a condução dos trabalhos.

As motivações puderam ser separadas em duas categorias, conforme a dimensão à qual se vinculavam: a primeira, agrupa motivações vinculadas à dimensão do ensino,

enquanto a segunda à dimensão socioambiental. Motivações vinculadas à dimensão do ensino envolvem enfoques em diálogo com a dimensão escolar, tais como subsidiar a prática docente – através de explicações, relatos de experiência e orientações para formular e executar sequências didáticas –, auxiliar adaptações curriculares em função de documentos oficiais, conhecer concepções de professores e estudantes acerca de questões ambientais, analisar materiais didáticos, entre outras. Motivações socioambientais priorizam discussões sobre temas relacionados ao panorama de crise ambiental, sem estabelecer vínculos significativos com a dimensão do ensino. As reflexões sobre ética ambiental mediadas por conhecimentos sobre o universo exemplificam esse tipo de situação.

Essa divisão configura-se como uma estratégia para a organização do material e atende a finalidade de análise, no entanto as categorias possuem uma forte conexão e, na prática, não operam de maneira isolada. Por exemplo, os trabalhos em que se verificam motivações socioambientais, apesar de apresentarem um formato menos direcionado ao ambiente escolar, podem orientar ações com desdobramentos para o campo do ensino. A separação entre essas categorias, portanto, ofereceu uma forma de inferir sobre “de onde surgiu” a motivação para que os autores se aproximassem de temas ambientais e tópicos de Física: de aspectos inerentes ao campo do ensino ou de questões associadas ao contexto de preocupação com o meio ambiente. O Quadro 4 apresenta as motivações agrupadas em cada uma das categorias.

Quadro 4 - Motivações para conduzir os artigos que compõem o *corpus*

Categoria	Motivação
Motivações vinculadas à dimensão do ensino	<ul style="list-style-type: none"> - Subsidiar o ensino através de explicações científicas sobre fenômenos naturais envolvidos em temas ambientais. - Conhecer características de professores e estudantes. - Avaliar materiais didáticos. - Refletir sobre a interdisciplinaridade. - Refletir sobre a adequação curricular em função da orientação de documentos oficiais que balizam a educação em ciências.
Motivações vinculadas à dimensão socioambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Refletir sobre ética ambiental. - Explicitar os impactos ambientais relacionados à exploração e utilização de recursos energéticos. - Discutir/promover a sustentabilidade. - Propor uma perspectiva complexa para o tratamento de questões ambientais.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As motivações vinculadas à dimensão do ensino mostraram-se predominantes na amostra. Quase 80% do *corpus* possui esse tipo de motivação. A busca por subsidiar o ensino de Física através da proposição de explicações para fenômenos relacionados a questões ambientais mostra-se predominante nessa categoria. Essas explicações apresentam o conhecimento científico em Física de modo contextualizado, oferecendo a discussão de temas que normalmente não estão acessíveis em materiais didáticos e de apoio aos professores e professoras. Predomina, nos textos, uma linguagem compatível com a educação básica e, em raras ocasiões, é verificado o uso de linguagem matemática avançada. Para a abordagem do tema aquecimento global, notamos a utilização de informações extraídas de estudos do campo da Climatologia.

Além de subsidiar o ensino de Física através de explicações, a categoria motivações vinculadas à dimensão do ensino também inclui pesquisas centradas nos estudantes. Essas pesquisas foram motivadas pela importância de obter informações sobre como os estudantes compreendem fenômenos e processos relacionados aos temas ambientais, como o efeito estufa e os fatores que o intensificam, o ciclo da água, formas de energia consideradas limpas, entre outros. Esse tipo de estudo busca obter informações que possam orientar a avaliação de processos de ensino, bem como realizar a proposição de abordagens mais adequadas para a formação ambiental.

As motivações vinculadas à dimensão socioambiental são menos recorrentes no *corpus*. Além das reflexões em torno da ética ambiental, destacam-se, nessa categoria, textos que buscam promover e discutir a noção de sustentabilidade, principalmente através de um enfoque na relação entre sociedade e energia. Os textos com esse tipo de motivação buscam discutir os fluxos de energia, desde sua geração até seu uso pelo consumidor final, assim como os impactos socioambientais oriundos desse processo e a busca por tornar o consumo de energia mais eficiente.

4.2 Caracterizando a leitura do aquecimento global

O clima representa a manifestação de diversos processos e ciclos naturais que ocorrem no planeta. O aquecimento global, por sua vez, evidencia as severas transformações que esses processos e ciclos têm sofrido ao longo do último século. Ele é um tema de destaque no cotidiano e nas últimas décadas se fez cada vez mais presente nos meios midiáticos, na esfera política e em diferentes campos de atuação das ciências naturais e humanas. Esses espaços discursivos oferecem à questão climática formas

heterogêneas de interpretação (PFEIFFER, 2016). Buscamos investigar as publicações em diálogo com a pesquisa em Educação em Ciências, por tratar-se de um espaço discursivo que (re)produz leituras e possibilidades de interpretação sobre o aquecimento global.

Verifica-se que, no *corpus*, a abordagem do aquecimento global é justificada, principalmente, por sua predisposição à contextualização das ideias da Física. Desse ponto de vista, o aquecimento global é apontado como tópico favorável para aprender Ciências, bem como para demonstrar que o conhecimento científico pode ser aplicado em situações reais. Isso se observa, por exemplo, em passagens que consideram que a questão climática estimula o “interesse dos estudantes na construção de conhecimentos científicos” (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 451) ou “mostra-se capaz de atrair a atenção dos alunos e, conseqüentemente, proporcionar uma aprendizagem significativa” (MAGALHÃES, 2014, p. 2) ou, ainda, se estabelece como um contexto para “ilustrar noções de ciências básicas” (HOBSON, 2001, p. 239).

No entanto, a partir da classificação das descrições extraídas do *corpus*, verificamos que a abordagem desse tópico extrapola a contextualização das ideias da Física e as utiliza para retratar três aspectos da problemática do clima: o reconhecimento de fatores que influenciam a temperatura planetária, o debate sobre a influência humana para o aquecimento global e a discussão sobre a dimensão humana – o que envolve apontamentos sobre conflitos e esperanças em torno dessa problemática. Esses três temas correspondem às três categorias identificadas pela análise.

Observamos que a maior parte dessas descrições envolve a mobilização do conhecimento científico para representar aspectos do sistema climático do planeta – isto é, as ideias da Física são utilizadas para contextualizar um conjunto de fenômenos naturais com potencial para influenciar a temperatura do planeta. Com base nos estados de consciência do referencial de Paulo Freire, consideramos que esse tipo de abordagem denota leituras intransitivas da realidade, uma vez que os elementos do conhecimento científico vinculam-se à representação do recorte científico da problemática do clima. Essas descrições compõem a categoria **reconhecimento de fatores que influenciam a temperatura do planetária**.

No entanto, também constatamos ocorrências em que elementos do conhecimento científico se articulam a discussões que envolvem a dimensão socioambiental. Esse tipo de ocorrência se estabelece em segundo plano no *corpus*, sendo bem menos frequente. Nos casos em que isso ocorre, verificamos que a análise do comportamento de fatores

que influenciam a temperatura do planeta orienta a discussão a respeito da influência humana no aquecimento global. Também observamos outro tipo de ocorrência que busca aproximar conhecimento científico e aspectos sociais e que consiste no apontamento de aspectos conflituosos na relação sociedade-natureza, bem como na reflexão sobre possíveis caminhos para a superação desses conflitos. Esses dois tipos de ocorrência constituíram as categorias **o debate sobre a influência humana para o aquecimento global e a dimensão humana: conflitos e esperanças em torno da questão aquecimento global**. As questões presentes nessas categorias e o modo como elas são apresentadas denotam leituras transitivas, em função do afastamento da dimensão natural, que permite identificar alguns fatores sociais na trama do aquecimento global. Foi possível verificar que essa identificação ocorre, mesmo que de modo incipiente, o que sugere que as leituras da realidade ambiental manifestadas nessas categorias são transitivas ingênuas.

Nas próximas seções, descrevemos detalhadamente essas três categorias e, em seguida, propomos uma discussão das possíveis implicações envolvidas. Embora a explicação de alguns conceitos e procedimentos presentes nas publicações seja importante para a compreensão da análise, ela sobrecarregaria a leitura e, por isso, optamos por colocá-la no Anexo II. O material que compõe esse anexo explica alguns conceitos (como albedo terrestre e ciclos orbitais da Terra) e procedimentos (como a estimativa para a temperatura de equilíbrio de um planeta e os métodos utilizados para estimar a temperatura média global).

4.2.1 O reconhecimento de fatores que influenciam a temperatura planetária

No conjunto de descrições extraídas do *corpus*, o reconhecimento dos fatores que influenciam as condições climáticas da Terra destacou-se por ser muito recorrente – esse tipo de descrição é predominante entre os dados coletados. Essas descrições configuram um quadro de escolhas, das autoras e autores, de elementos do conhecimento científico para mediar a percepção de fenômenos naturais relacionados ao clima. Apesar de existirem variações, todos os 12 trabalhos analisados mobilizam, em algum nível, esse tipo de abordagem, sendo que 8 deles o fazem de modo mais aprofundado (BESSON; DE AMBROSIS, 2014; HOBSON, 2001; JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018; MAGALHÃES, 2014; PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010; REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015; SANTOS, 2011; SHEPARDSON *et al.*, 2012). Esses elementos,

portanto, são fenômenos naturais comuns aos domínios da Física. Nesta seção, apresentamos exemplos de como esses fenômenos são retratados no *corpus*.

Os principais conhecimentos específicos envolvidos relacionam-se aos seguintes tópicos: astronomia (movimentos orbitais da Terra e características do Sol), eletromagnetismo (espectro de radiação eletromagnética), física térmica (radiação de corpo negro e temperatura de equilíbrio) e conservação da energia. Esse último tópico é representado por meio da ideia de balanço de energia aplicado ao planeta, que se destaca como principal agente mediador entre esses conhecimentos específicos em Física e a questão da temperatura da Terra.

O balanço de energia se refere ao equilíbrio entre a quantidade de energia solar que é absorvida pela Terra e emitida de volta para o espaço. Ele é enunciado de modo muito semelhante em oito dos 12 trabalhos analisados. De modo sucinto, a lógica que articula esse processo com a temperatura planetária é assim apresentada em um dos textos: “se a Terra recebe energia do Sol ela também deve reemitir energia de volta para o espaço, pois, de outro modo, ela se tornaria cada vez mais quente” (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 128). No mesmo texto, encontra-se a seguinte descrição sobre o balanço de energia:

O balanço de energia da Terra é o principal mecanismo que devemos considerar quando estamos interessados na questão da temperatura planetária. (...) para que um planeta como a Terra possa manter uma temperatura média aproximadamente constante, deve existir um equilíbrio entre a intensidade de energia que entra e a intensidade de energia que sai. Um desequilíbrio no balanço de energia a longo prazo tem como consequência um aumento ou um decréscimo da temperatura planetária (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 138).

Em Shepardson *et al.* (2012), o mesmo processo é assim descrito:

A terra, os oceanos e a atmosfera absorvem a energia do Sol, o que ajuda a prover o clima na Terra (...). Esta energia é refletida de volta para espaço, ajudando a equilibrar o balanço de energia da Terra. Qualquer aumento ou diminuição na quantidade de energia solar que entra ou que sai da Terra altera esse balanço, fazendo com que as temperaturas globais aumentem ou diminuam. O clima é um sistema que tenta equilibrar o balanço energia da Terra (SHEPARDSON *et al.*, 2012, p. 12, tradução nossa).

Essa lógica é explorada para fazer emergir a noção de que os planetas devem possuir uma temperatura de equilíbrio, isto é, uma temperatura para a qual a taxa de energia absorvida se equilibre com a taxa de energia emitida. Desse modo, o reconhecimento dos fatores que podem influenciar o balanço de energia comunica a ideia

de que a temperatura do planeta pode ser alterada e, portanto, opera como um recurso para mediar a representação do fenômeno do aquecimento global.

O efeito estufa², o albedo terrestre³, a produção de energia solar e a geometria da órbita terrestre são fatores reconhecidos como capazes de modificar o balanço de energia e, assim, influenciar a temperatura planetária. O efeito estufa e o albedo terrestre são identificados como **fatores internos**, uma vez que integram o sistema Terra-atmosfera. Já a variação na produção de energia solar e na órbita terrestre é reconhecida como **fator externo** (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018; MAGALHÃES, 2014; PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010; REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015; SHEPARDSON *et al.*, 2012). Esses fatores podem alterar a quantidade de energia solar que chega até a Terra, modificar a reflexão da energia solar incidente ou promover maior retenção dessa energia na atmosfera.

O efeito estufa é o fator mais mencionado nas descrições. Todos os trabalhos apontam algum aspecto da correlação entre esse fenômeno e a temperatura do planeta. Um modo recorrente para apontar a influência desse efeito consistiu em comparar a estimativa⁴ para a temperatura de equilíbrio de planetas com a temperatura média da superfície (obtida por leituras diretas, como a aferição via sondas e satélites). A estimativa consiste em uma previsão teórica, calculada a partir de um modelo simplificado, que desconsidera características próprias do planeta.

Tabela 1 - Comparação de temperaturas para planetas

Planeta	Temperatura de Equilíbrio (K)	Temperatura Média de Superfície (K)
Mercúrio	439	440
Vênus	226	737
Terra	255	288
Marte	209	210

Fonte: Junges, Santos e Massoni (2018, p. 130).

² Em síntese, o efeito estufa se relaciona à absorção de uma fração significativa de radiação térmica reemitida pela superfície da Terra por certos gases que compõem a atmosfera (principalmente CO₂, NO₂, O₃, CH₄, vapor de água e gases da família dos CFCs), que também passa a emitir radiação térmica em todas as direções. A radiação absorvida por esses gases é reemitida inclusive de volta para a superfície, sendo novamente absorvida e reemitida para a atmosfera, onde o processo se repete.

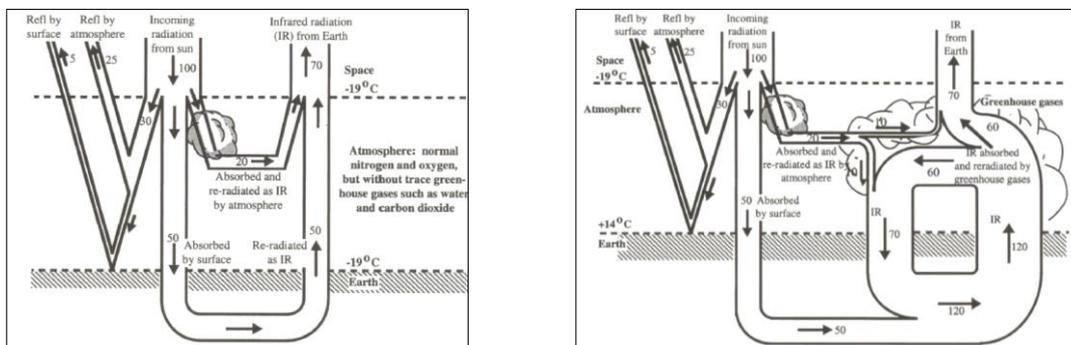
³ Ver explicação desse conceito no Anexo II. Em síntese, “albedo” ou “coeficiente” de reflexão é o poder de reflexão de uma superfície; a fração da radiação incidente que é refletida por uma superfície.

⁴ A forma de obter a temperatura estimada é detalhada no Anexo II.

Para Mercúrio e Marte, a previsão teórica das temperaturas de equilíbrio se mostra muito satisfatória em relação às medidas das temperaturas médias de suas superfícies, no entanto o mesmo não ocorre para Vênus e Terra. A comparação opera como elemento provocador para o reconhecimento do papel da atmosfera e do efeito estufa na manutenção da temperatura do planeta. No trabalho do qual extraímos a Tabela 1, os autores explicam que Vênus e Terra se diferenciam de Mercúrio e Marte por possuírem atmosfera substancial, com a presença de gases que possibilitam a ocorrência do efeito estufa. A atmosfera, portanto, é responsável por elevar a temperatura da Terra em cerca de 30 °C acima do resultado previsto pelo cálculo da temperatura de equilíbrio.

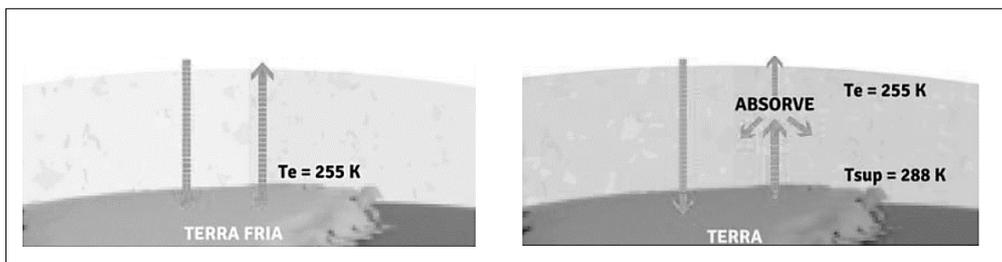
Os trabalhos de Junges, Santos e Massoni (2018) e Hobson (2001), apesar de quase duas décadas de diferença, utilizam essa mesma estratégia para indicar a ação do efeito estufa. Ambos enfatizam o papel da atmosfera a partir da comparação entre o balanço de energia e a temperatura do planeta em duas situações: a primeira considera uma Terra hipotética – sem a presença de gases estufa na atmosfera e, portanto, com temperatura muito baixa – e a segunda, a Terra com a atmosfera que conhecemos.

Figura 2 - Balanço de energia e comparação da temperatura planetária a partir do efeito estufa 1



Fonte: Hobson (2001, p. 240).

Figura 3 - Balanço de energia e comparação da temperatura planetária a partir do efeito estufa 2



Fonte: Junges, Santos e Massoni (2018, p. 139).

O vínculo entre a atmosfera e a temperatura planetária estabelece nexos com a problemática do aquecimento global, na medida em que permite o reconhecimento de um fator determinante para a elevação das temperaturas: o aumento na concentração de gases estufa e a respectiva intensificação do efeito estufa. Esse aumento intensifica a capacidade de absorção de energia pela atmosfera e, assim, dificulta que ela seja emitida de volta para o espaço. Esse efeito, portanto, produz um desequilíbrio entre o fluxo de entrada e saída de radiação.

Para que a Terra consiga emitir novamente a mesma quantidade de energia, ela precisa aquecer, pois a intensidade (fluxo de energia por unidade de área e de tempo) é proporcional à temperatura na quarta potência ($I_s = \sigma \cdot T_e^4$). Ou seja, a Terra irá aquecer até uma temperatura que permita restabelecer o equilíbrio entre a entrada e saída de energia no topo da atmosfera. Assim, a nova temperatura de superfície será maior (...) (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 143).

Desse modo, a interferência no balanço de energia conduz à percepção da problemática: mudanças nesse balanço fazem com que o planeta experimente um novo estado de equilíbrio, para o qual emerge uma nova temperatura de equilíbrio. Para o caso da intensificação do efeito estufa, a temperatura do planeta precisa aumentar para reequilibrar o fluxo de saída de energia.

É importante destacar que, no *corpus*, o foco é mais direcionado à compreensão da dinâmica do efeito estufa e sua relação com a temperatura planetária. O vínculo entre a dimensão humana e o processo de intensificação desse efeito é menos explorado, ocupando segundo plano nos trabalhos. A dimensão humana é representada, principalmente, através de dados que indicam o aumento nas emissões de gases estufa (especialmente o dióxido de carbono CO₂) ao longo do último século. O modo como isso é tratado nos textos será apresentado nas próximas seções.

Os demais fatores são bem menos explorados na amostra, mas também cumprem a função de indicar perturbações no balanço de energia. O albedo terrestre, por exemplo, tem relação com a quantidade de energia que será refletida pelo planeta. Cada tipo de superfície ou cobertura (asfalto, vegetação, areia, água, gelo, nuvens etc.) contribui de forma diferente com essa reflexão. Logo, modificações na cobertura terrestre implicam em variações na quantidade de energia que irá participar do balanço de energia do planeta. Os fragmentos a seguir exemplificam a forma como o albedo é tratado nos textos:

(...) o albedo da Terra sofre importantes modificações ao longo do tempo. O seu aumento provoca a diminuição da temperatura terrestre, porque uma menor

quantidade de energia proveniente do Sol será absorvida pela superfície da Terra, enquanto que a sua diminuição implica em um aquecimento do planeta. (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 458).

Mudanças na superfície da terra e cobertura vegetal afetam a refletividade (albedo). Por exemplo, o desmatamento diminui o albedo da superfície terrestre, aumentando a quantidade de energia do Sol que é absorvida. (SHEPARDSON *et al.*, 2012, p. 12, tradução nossa).

O albedo pode sofrer variações através da modificação de diversos fatores que são responsáveis por grande parte da reflexão de energia solar incidente na Terra. Entre eles destacam-se as mudanças na cobertura da superfície terrestre e a variação na concentração de nuvens e de aerossóis. (REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015, p. 543).

A relação entre o albedo e o balanço de energia foi aprofundada apenas em um dos trabalhos, no qual os autores propõem uma atividade investigativa que relaciona a modificação do albedo na região do Ártico – em função do derretimento do gelo – com o aumento da temperatura local (ROGERS *et al.*, 2013).

A variação na produção de energia solar é também apontada como um fator que influencia o balanço de energia. A radiação solar foi considerada constante durante muitos anos, com valor em torno de 1.365 W/m^2 , porém estudos conduzidos a partir da década de 1970 demonstraram que esse valor pode sofrer pequenas variações em escalas de tempo de minutos e até décadas (GÓMEZ *et al.*, 2018). Fenômenos presentes na atmosfera solar – como as manchas solares – são responsáveis por essas variações. Além disso, conforme explicado nos trabalhos de Magalhães (2014) e Reis, Silva e Figueiredo (2015), variações na atividade solar também influenciam o albedo, na medida em que modificam o vento solar que, por sua vez, interfere na atmosfera, alterando a quantidade de nuvens.

Por fim, também encontramos descrições que tratam das alterações cíclicas que ocorrem na órbita terrestre e que constituem um fator capaz de influenciar o balanço de energia, uma vez que fazem variar a distância média entre a Terra e o Sol (excentricidade da órbita), bem como o ângulo de rotação do eixo terrestre (obliquidade e precessão). É importante lembrar que tais ciclos envolvem períodos da ordem de dezenas de milhares de anos. Isto é, variações na órbita dos planetas podem influenciar a temperatura do planeta, no entanto a escala de tempo envolvida nesses processos é muito longa.

Destacamos que a análise do *corpus* indica variações quanto ao reconhecimento desses fatores. Alguns trabalhos apresentam apenas alguns deles, enquanto outros retratam todos. A principal tarefa que esses trabalhos vêm cumprir é a de comunicar a existência de fatores que podem interferir no clima da Terra e explicá-los. Nesse contexto,

o conceito de balanço de energia parece oferecer potencial para conferir à temática do clima uma noção de desequilíbrio; a partir da ideia de que algo tem ocorrido para desequilibrar tal balanço e, como resultado, o clima tem se alterado. No entanto, a ênfase dos textos se volta mais para a explicação dos fenômenos que influenciam esse balanço. A discussão das possíveis razões para esse desequilíbrio fica em segundo plano, isto é, a ideia de que ações humanas ou processos naturais podem alterar o balanço é menos explorada.

4.2.1.1 A dinâmica do clima terrestre

A análise das descrições que compõem a presente categoria exigiu um retorno ao contexto em que estavam inseridas, a fim de compreender como os fatores que influenciam o clima são apresentados. A intenção era compreender se tais fatores são apresentados de modo isolado ou integrado. Constatamos que três textos enfatizam o caráter sistêmico compartilhado por esses fatores; isto é, enfatizam as inter-relações entre esses fatores. (JACOBSON *et al.*, 2017; REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015; SHEPARDSON *et al.*, 2012). Os demais trabalhos possuem um enfoque voltado ao tratamento isolado dos fatores. A análise dos contextos em que esse caráter sistêmico foi adotado permitiu constatar que a apresentação dos fatores na forma de um sistema favorece que sejam representados alguns aspectos dinâmicos do clima.

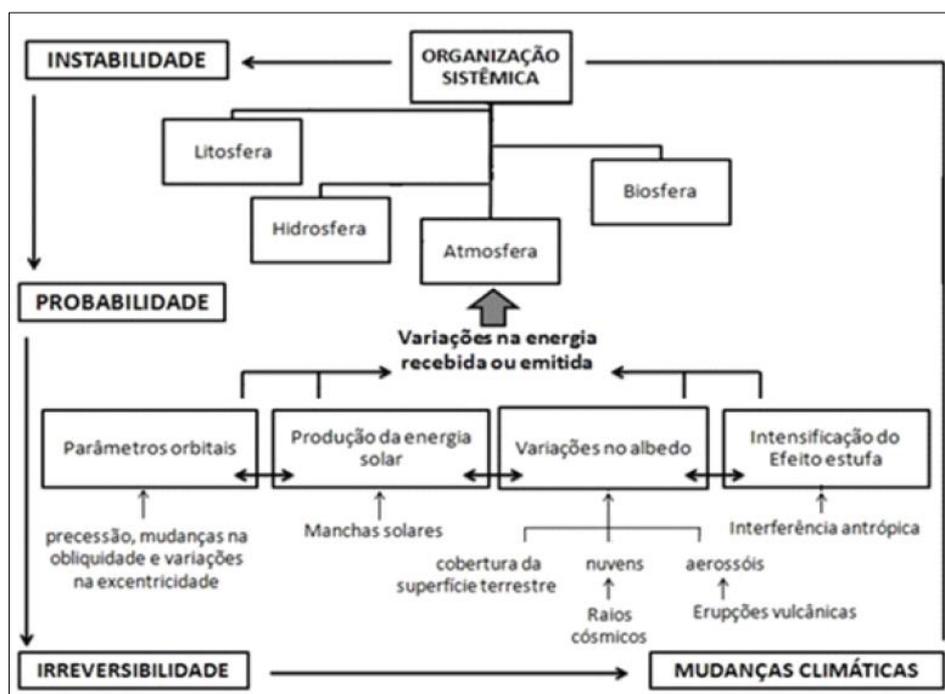
Na perspectiva sistêmica, cada fator é apresentado como um componente do sistema climático que, uma vez alterado, pode causar mudanças em outros componentes e, assim, conduzir o sistema a novas configurações. A passagem a seguir exemplifica essa perspectiva:

Mudamos o comportamento da atmosfera e do clima ao modificar componentes do planeta: por exemplo, acentuamos o efeito estufa ao alterar os ciclos do carbono e ciclos biogeoquímicos através da queima de combustíveis fósseis ou de reduções na cobertura da terra (desmatamento). Isso aumenta o dióxido de carbono atmosférico, aquecendo a troposfera e produzindo impactos climáticos regionais. Por sua vez, mudanças meteorológicas regionais levam a mudanças no ciclo hidrológico e na distribuição de água (por exemplo, eventos de chuva e neve). Ao mesmo tempo, mudanças na cobertura do solo (por exemplo, vegetação e urbanização) impactam no albedo no balanço de energia. O aquecimento da atmosfera resulta no derretimento do gelo polar que não apenas afeta os oceanos, mas também altera o albedo, influenciando, novamente, o balanço de energia. Essas mudanças secundárias podem ter um impacto ainda maior sobre o clima regional e o aquecimento global do que emissões de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa devido à natureza não linear do sistema climático. (SHEPARDSON *et al.*, 2012, p. 8, tradução nossa).

elementos que interagem de tal maneira que exibem comportamentos emergentes não triviais e auto-organizados. Nesse tipo de sistema, o comportamento do sistema como um todo não pode ser explicado pelos comportamentos individuais dos elementos que o compõem. Para o clima, essa perspectiva é evocada ao considerar que ele resulta da interação dinâmica de seus vários componentes (internos e externos), em uma condição não linear, instável e irreversível (REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015; SHEPARDSON *et al.*, 2012).

Essa perspectiva é ainda explorada para explicitar a noção de que a perturbação em um componente pode alterar o comportamento dos demais, uma vez que todo o conjunto se encontra interligado, o que pode acarretar novas mudanças. Isso evidencia a noção de imprevisibilidade (não determinismo) como uma característica intrínseca às previsões climáticas de longo prazo – o que faz com que elas sejam admitidas em termos de possibilidade, ao invés de certezas. Reis, Silva e Figueiredo (2015, p. 537) representam a interação entre os fatores que influenciam o balanço de energia de modo semelhante ao apresentado pela Figura 4, porém introduzindo na visão do sistema climático comportamentos comuns aos sistemas complexos, como instabilidade, probabilidade e irreversibilidade.

Figura 5 - Sistema climático com elementos da perspectiva complexa



Fonte: (REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015, p. 545).

Ainda que o esquema com setas possa suscitar um raciocínio baseado na ideia de linearidade, ele deve ser entendido como um modelo dinâmico: a variação de um certo componente pode causar perturbações em outros componentes e, como efeito, esse primeiro componente pode, novamente, sofrer variações. Ou seja, a causa age sobre o efeito e o efeito age sobre a causa. O elo entre cada um dos componentes, portanto, indica que a mudança no comportamento de qualquer componente pode acarretar alterações no comportamento do sistema como um todo. Essas mudanças podem, ainda, resultar na formação de novos padrões através da amplificação de pequenas flutuações que favorecem alterações do sistema, o que é chamado de *feedback* positivo.

É interessante destacar que o derretimento de grandes quantidades de gelo no Ártico e a respectiva alteração no albedo, mencionados na proposta de (ROGERS et al., 2013), exemplificam o processo de *feedback* ligado às mudanças climáticas em escala local. Os autores explicam que superfícies cobertas com gelo possuem um albedo elevado e conseguem refletir uma parcela considerável de energia solar. Ao ser derretido, o gelo expõe a superfície dos oceanos (que possui menor valor de albedo), que passa a absorver mais energia quando comparada ao gelo. Isso faz com que a água se aqueça e aumente a umidade relativa do ar através da evaporação. O vapor de água, por sua vez, intensifica o efeito estufa e, logo, estabelece um *feedback* positivo, pois irá contribuir para elevar ainda mais a taxa de derretimento, expor superfícies oceânicas ainda maiores e intensificar o efeito estufa.

No esquema apresentado na Figura 5, essa lógica é representada pela caixa “mudanças climáticas”, na qual a elevação da temperatura pode ser entendida como um padrão emergente do sistema em escala global. Esse panorama implica a aceitação de que tanto processos de ordem natural quanto antropogênicos podem impor condições que levam a novos e imprevisíveis padrões ao clima terrestre, o que envolve riscos à vida humana e não humana.

Em um dos trabalhos (JACOBSON *et al.*, 2017), observamos uma abordagem semelhante as que foram apresentadas nos últimos parágrafos, porém mais focada em como ensinar tópicos ligados aos sistemas complexos. Uma vez que sistemas complexos são temas pouco explorados no ensino de ciências na educação básica, os autores identificam a carência de estudos voltados a métodos de ensino e apresentam uma sequência didática que incorpora tópicos desse assunto ao contexto das mudanças climáticas. De acordo com os autores, a inclusão desse tipo de tópico no ensino de Ciências oferece ganhos para desenvolver a percepção de que as mudanças nos fatores

que influenciam o clima podem levar à emergência de novos padrões em escala global. Esse tipo de ganho é tratado pelos autores como um caminho para aprimorar a percepção sobre como a humanidade tem contribuído com a problemática do clima:

Dadas as novas perspectivas da complexidade científica sobre as mudanças climáticas, existe uma necessidade adicional de que os alunos também aprendam ideias de sistemas e como elas se relacionam com os sistemas climáticos. (...) ideias sobre sistemas complexos (por exemplo, auto-organização, feedback positivo, emergência) podem fornecer uma base conceitual para a compreensão do sistema climático e como o impacto humano no meio ambiente global está contribuindo para as mudanças climáticas. (JACOBSON *et al.*, 2017, p. 3, tradução nossa).

Apesar do apontamento sobre a possibilidade de aprimoramento na percepção do impacto humano nos processos climáticos, a dimensão humana é, também, pouco explorada nesses trabalhos que representam o sistema climático. A atividade humana é reconhecida como um elemento capaz de alterar o balanço de energia e conduzir sistema climático a mudanças. Porém, a forma como isso é tratado caracteriza-se por apontamentos (menções) genéricos sobre a emissão de CO₂ e alterações no albedo, como exemplificado a seguir:

O efeito estufa deve ser contextualizado dentro do balanço de energia da Terra. Isso desafia a concepção de que o aquecimento global e as mudanças climáticas são simplesmente um fator de emissão de gases de efeito estufa. Isso amplia a compreensão para além de uma simples "queima de combustíveis fósseis como um modelo de transferência de carbono", contextualizando o ciclo do carbono dentro do sistema climático. Além disso, constrói interconexões e feedbacks entre os componentes do sistema climático (ou seja, atmosfera, gelo, vegetação, terra e oceanos) e incorpora as mudanças conduzidas pelos seres humanos no sistema climático (por exemplo, queima de combustíveis fósseis, uso da terra e mudanças na cobertura da terra). (SHEPARDSON *et al.*, 2012, p. 13, tradução nossa).

O caráter de imprevisibilidade na análise do sistema climático é apontado por Reis, Silva e Figueiredo (2015) como promissor para ampliar a visão do fazer científico, introduzindo, nesse contexto, a noção do indeterminismo inerente a certos fenômenos e as limitações da Ciência para compreendê-los. De acordo com os autores, essa abordagem propõe um distanciamento da visão preconizada pela ciência clássica/moderna – em que a realidade é interpretada de maneira determinista, mecanicista e simplificadora – conduzido pela consideração do quadro de incertezas e probabilidades. Contudo, os autores indicam que isso não representa que tentativas de prever o comportamento das mudanças climáticas sejam inválidas ou devam ser abandonadas. Sobre esse tema, os autores assim esclarecem:

Essa complexa “teia de relações” coloca para todos a perspectiva do limite do determinismo científico. Nesse sentido, não é possível prever com exatidão o comportamento climático terrestre. Porém, isso não significa que a ciência não possa apresentar cenários futuros que orientem processos de tomada de decisão, o que indica a possibilidade de tratar regiões com características semelhantes usando as leis da termodinâmica para fazer possíveis previsões para a evolução desse sistema. (REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015, p. 546).

Para os autores, é importante que exista clareza em relação aos efeitos e às vulnerabilidades às quais estamos propensos e, ainda, que tenhamos a precaução como norte para as decisões que possam intensificar as mudanças climáticas, compreendendo que conter essa intensificação é necessário “antes que haja uma certeza científica absoluta de seus efeitos” (REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015, p. 546).

4.2.2 O debate sobre a influência humana para o aquecimento global

Um segundo tipo de descrição extraída do *corpus* se caracteriza por colocar em evidência o debate sobre a influência da atividade humana no aquecimento global. Para isso, as autoras e autores analisam o comportamento de fatores que podem influenciar a temperatura do planeta, utilizando como referência estudos sobre o clima e reflexões sobre métodos de avaliar o aquecimento global. Esse tipo de descrição foi bem menos frequente que a descrita na seção anterior, observada em quatro dos 10 textos analisados (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018; MAGALHÃES, 2014; PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010; REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015). É importante destacar que nenhum dos textos adotava a influência da atividade humana no aquecimento global como foco. As menções ligadas a esse debate foram localizadas em poucos trechos, normalmente, contracenando de modo coadjuvante com as explicações sobre os fatores que podem influenciar o sistema climático.

As descrições que remetem a esse debate puderam ser divididas em dois grupos, que se diferenciam pela forma como interpretam a influência da atividade humana. No primeiro grupo, situam-se as descrições que afirmam que o aquecimento global não pode ser explicado por alterações de ordem natural nos fatores que influenciam a temperatura da Terra e, desse modo, é um fenômeno que está diretamente associado com a atividade humana. No segundo grupo, as descrições estabelecem um caráter de dúvida em torno da influência da atividade humana, o que é feito a partir da ênfase dada às controvérsias científicas em torno desse assunto – o que leva à conclusão de que não é possível

distinguir com clareza o peso da influência humana e as possíveis alterações de ordem natural. É importante destacar que primeiro grupo se sobressai entre os dados.

As descrições que pautam esse debate relacionam-se com a categoria apresentada na última seção, na medida em que partem do exame de fatores que influenciam o sistema climático para situar o possível papel da atividade humana no aquecimento global. Isto é, a categoria anterior se constituiu a partir da mobilização do conhecimento científico para reconhecimento e explicações dos fatores que influenciam as condições climáticas, enquanto a categoria atual avalia o comportamento desses fatores em função de sua possível influência para explicar a ocorrência do aquecimento global.

Antes de prosseguir com a análise, ressaltamos que a avaliação sobre a influência humana para o aquecimento global é um tema que se insere na trama ambiental de nosso tempo e se faz presente em um debate que ocorre em diferentes esferas sociais, como a ciência, a política, as filiações partidárias, a economia, entre outros. Debate esse que contrasta posições divergentes sobre a ocorrência do aquecimento global, que vão desde a aceitação da tese do aquecimento global antropogênico, à posição de que se trata de um processo que tem total gênese em um fenômeno natural, além da posição que defende que o planeta não estaria passando por um período de aquecimento global.

Esse debate, portanto, extrapola os limites da ciência. Desse modo, essas descrições oferecem uma leitura do aquecimento global que parece envolver maior abertura para captar a realidade ambiental, uma vez que parte do conhecimento científico é explorado para discutir a interferência humana na trama dessa problemática. Apresentamos, a seguir, alguns exemplos de como esse debate participa do *corpus*.

Em Pina *et al.* (2010), a ênfase na dúvida sobre a influência humana se verifica através do confronto em relação à posição do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Os autores consideram que o aquecimento global pode ser explicado por variações de ordem natural:

A tese defendida pelo IPCC, por exemplo, é a de que existe um aquecimento planetário provocado pelas atividades humanas. Essa tese é sustentada em três grandes pilares: as séries históricas dos desvios de temperatura global, as séries históricas de concentrações atmosféricas de CO₂ e uma previsão de clima baseada no dobro da concentração de CO₂. Porém, a história geológica do planeta, por exemplo, indica que, ao longo dos anos, o clima da Terra modificou-se diversas vezes. Os desvios de temperatura observados nas últimas décadas, mesmo considerando-se um intervalo de tempo da ordem de centenas de anos, podem ser explicados a partir de várias perspectivas, como, por exemplo, a diminuição do albedo planetário, uma menor atividade vulcânica no último século, as variações das circulações atmosféricas e oceânicas, as mudanças dos parâmetros orbitais da Terra, ou ainda algumas

variações na produção de energia solar (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 468).

O fragmento de texto supracitado aponta que mudanças naturais nos fatores que influenciam a temperatura do planeta podem explicar o atual aumento da temperatura planetária. No mesmo texto, encontra-se um apontamento que destaca que a ocorrência do aquecimento global remete a uma controvérsia científica, visto que “questões associadas a esse tema ainda estão em aberto, distanciando-nos muito de um consenso mínimo na comunidade científica sobre as origens, causas e efeitos (...)” (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 449). Uma avaliação semelhante é verificada em Reis, Silva e Figueiredo (2015), ao reconhecerem a existência de uma polarização no debate sobre a influência humana – aquecimento antropogênico *versus* aquecimento natural – no aquecimento do planeta. Embora afirmem que há controvérsias científicas no reconhecimento dessa influência, os autores não exploram com clareza o que, de fato, seriam tais controvérsias. As origens, causas e efeitos do aquecimento global são, também, tratados como temas cientificamente controversos.

Esse tipo de posicionamento nos parece conduzir a duas percepções. A primeira decorre da ênfase no caráter controverso dos estudos climáticos, o que pode transmitir a imagem de uma divisão homogênea na comunidade científica quanto à interpretação da natureza do aquecimento global. A segunda percepção decorre da consideração de que se trata de um processo de ordem natural, o que pode reproduzir a noção de que podemos estar diante de uma mudança climática tal como aquelas constatadas em outras eras.

No fragmento citado, essa noção se expressa no trecho em que os autores afirmam que “a história geológica do planeta, por exemplo, indica que, ao longo dos anos, o clima da Terra modificou-se diversas vezes” (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 468). Em Magalhães (2014), que também considera a existência de controvérsias científicas envolvidas na natureza do aquecimento global, essa noção também pode ser verificada no trecho em que o autor afirma que:

(...) como educadores e formadores de opinião, é relevante a preocupação com os alarmistas do aquecimento global, para os quais mudanças climáticas remetem à falsa compreensão de catástrofes climáticas. Industrialização que aumenta produção do CO₂ na atmosfera, efeito estufa que aumenta a temperatura da Terra, clima que começa a ficar desequilibrado, modelos computacionais que preveem aceleração do aquecimento global, geleiras que estão diminuindo e níveis de oceanos crescendo, maior número de fenômenos climáticos extremos (furacões, tornados, tsunamis, etc.), espécies que estão sendo ameaçadas, doenças tropicais (malária, dengue, etc.) que se propagam até regiões que antigamente eram mais frias, são algumas das questões que

devem ser tratadas com cuidado. Afinal, nossos ancestrais sobreviveram e evoluíram em uma era do gelo e o próprio efeito estufa cria condições adequadas para nossos padrões de vida atuais; enfim, sempre houve variações climáticas. (MAGALHÃES, 2014, p. 9).

O modo como essa afirmação é construída parece transmitir a noção de que podemos estar vivenciando um problema climático de origem natural, tal como nossos antepassados enfrentaram.

De forma semelhante, Reis, Silva e Figueiredo (2015) apontam que as condições climáticas do planeta Terra sempre foram instáveis e isso pode ser constatado através da história geológica. Os autores indicam que ocorreram diversas variações na temperatura da superfície terrestre através de eras, alternando-se períodos de temperaturas mais elevadas e outros com temperaturas mais reduzidas, e afirmam que, “ao longo de milhões de anos de existência da Terra, ela tem mudado muitas vezes em resposta a causas naturais” (REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015, p. 542). Porém, não há no texto uma distinção clara entre o processo atual de aquecimento e os processos anteriores.

É importante ressaltar que os estudos relacionados às condições climáticas ao longo de eras indicam esse tipo de alternância natural de temperaturas, o que explicita o caráter dinâmico de nosso clima (PETIT *et al.*, 1999). No entanto, o que está em jogo quando se trata do aquecimento global na atualidade é o rápido aquecimento verificado nas últimas décadas. Considerar que se trata de um processo natural admite a tese de que esse aquecimento pode ser explicado pela mudança natural de um ou mais fatores, o que implicaria na perturbação do balanço de energia, acarretando a elevação da temperatura. De acordo com essa perspectiva, nas últimas décadas, o planeta deveria estar transitando para uma nova etapa do ciclo de alternância de temperaturas, que se caracterizaria por temperaturas mais elevadas.

Outro tipo de descrição consiste em apontar um caráter controverso a respeito do conceito de temperatura média global como artifício para questionar sua validade e apontar limitações quanto ao reconhecimento do fenômeno do aquecimento global. A menção a seguir exemplifica essa postura:

(...) é importante ressaltar que a ideia de uma temperatura média da Terra é mais um aspecto controverso nessa discussão de natureza científica. O conceito de temperatura de um corpo macroscópico apenas tem um sentido preciso e, portanto, não ambíguo, no equilíbrio térmico. Assim, se olharmos a Terra como o corpo macroscópico que é, apenas se pode falar com propriedade da sua temperatura se ela estiver em equilíbrio. Entretanto, equilíbrio térmico não há na Terra, o que se evidencia pelo próprio clima. Assim, as variações de temperatura na Terra são evidentes e, quando se faz menção à temperatura, nessa circunstância, esta corresponde a uma temperatura local, ou seja, uma

temperatura medida localmente, onde subjaz a um equilíbrio local. Entretanto, a Terra globalmente não está em equilíbrio e, apenas por esse motivo, não é possível definir univocamente uma temperatura da Terra. (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 467).

Como contraponto a esse tipo de posição, verificam-se descrições que se caracterizam pela defesa de que o aquecimento global é conduzido pela ação antrópica. Isso é feito através de apontamentos que deslegitimam a possibilidade de mudanças de ordem natural. Isto é, os fatores que influenciam a temperatura do planeta – tal como aqueles apresentados na seção anterior – são examinados com base em evidências de estudos climatológicos. Esse exame leva à conclusão de que nenhum dos fatores sofreu alguma modificação que explique o rápido aquecimento do planeta nas últimas décadas. A seguir, apresentamos alguns exemplos desse tipo de descrição.

Shepardson *et al.* (2012) reconhecem o processo de alteração natural do clima, mas apontam, citando o IPCC, que esse processo não se aplica na atualidade:

O clima da Terra muda naturalmente; climas passados ou paleoclimas indicam períodos de aquecimento e resfriamento (idades do gelo). Essas mudanças climáticas globais anteriores se devem a variações na radiação solar que alcança a Terra (Shindell *et al.* 2003). Mudanças naturais na órbita da Terra e na rotação alteram a intensidade da radiação solar que atinge a superfície da Terra. Variações naturais na irradiância do Sol também influenciam a quantidade de energia solar que chega à Terra. (...) Erupções vulcânicas liberam partículas na troposfera que refletem uma parte da energia do Sol, o que contribui para resfriar o clima em curtos períodos de tempo. (...). Essas variações naturais continuam hoje, mas sua influência não explica o rápido aquecimento, experimentado nas últimas décadas (IPCC, 2007a). (SHEPARDSON *et al.*, 2012, p. 10)

Esse posicionamento também é verificado em Junges, Santos e Massoni (2018), que utilizam referências de estudos específicos relacionados ao campo da climatologia para indicar a impossibilidade do aquecimento global ter relação com processos naturais. Na passagem a seguir, a influência na variação da energia produzida pelo Sol é examinada:

(...) medidas de satélites da irradiância solar, disponíveis a partir de 1980, têm indicado que a intensidade da radiação do Sol tem mantido valores aproximadamente constantes, em torno de 1361 W/m². Ou seja, nenhum aumento significativo na radiação solar tem sido observado que pudesse explicar o aquecimento observado a partir de 1980 (Lockwood, 2010). (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 149).

Essa afirmação se fundamenta em evidências que indicam que, apesar da forte correlação entre a atividade solar e a temperatura média global, nos últimos 30 anos, a

irradiância solar medida por satélites diverge das tendências observadas para os episódios de aquecimento global nesse período. Verificou-se que aquecimento global e atividade solar têm se movido em direções opostas, o que torna improvável que a variabilidade solar tenha sido a causa dominante do forte aquecimento durante as últimas três décadas (SOLANKI *et al.*, 2004; USOSKIN *et al.*, 2005).

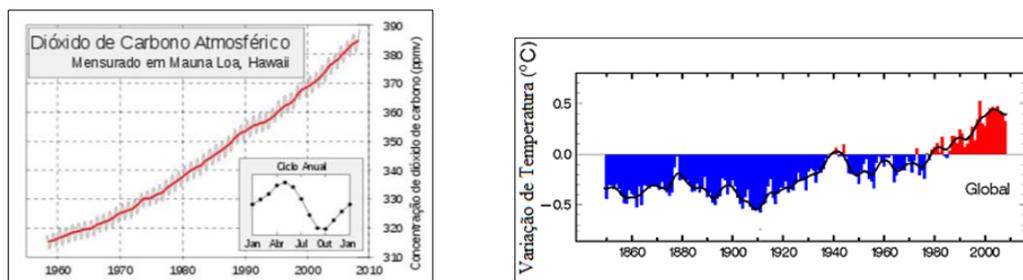
Além da influência do Sol, o trabalho de Junges, Santos e Massoni (2018) considera evidências que descartam a influência de qualquer outro fator que possa ter sido modificado de modo natural. No fragmento a seguir, a influência do Sol, da órbita da Terra e do albedo é destacada pelos autores.

Para poder atribuir de forma inequívoca à ação do homem no aquecimento do clima, cientistas tomaram em consideração a ação de outros fatores naturais como a influência do Sol, os vulcões e os ciclos orbitais de Milankowitch. (...) todos estes fatores podem atuar como forçantes climáticas afetando o clima do planeta. Contudo, a evidência científica atual é de que os fatores naturais não são capazes de explicar o aumento da temperatura registrado nas últimas quatro décadas (...) nenhum aumento significativo na radiação solar tem sido observado que pudesse explicar o aquecimento observado a partir de 1980. Trabalhos que avaliaram os efeitos de erupções vulcânicas permitiram compreender que a forçante dos vulcões é uma forçante de resfriamento da troposfera, pois as imensas quantidades de material particulado (aerossóis) emitidas pelos vulcões refletem a luz solar incidente aumentando, desta forma, o albedo da Terra. Finalmente, os ciclos de Milankovitch também não podem explicar o aquecimento observado, uma vez que, de acordo com a teoria orbital, nenhuma tendência de aquecimento está prevista para os próximos milhares de anos. (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 148).

A exposição de evidências que desconsideram a hipótese de aquecimento natural transmite uma imagem de que não existe uma controvérsia científica acerca da influência humana para o aquecimento global.

Dentre as descrições, menções ligadas aos fatores internos (efeito estufa e albedo) também suscitam posições divergentes. São centrais nessas menções a utilização de dados que abordam o histórico de concentração de CO₂ na atmosfera, a frequência de anomalias térmicas, bem como o aumento na utilização de combustíveis fósseis. No entanto, a forma de interpretar esses dados podem conduzir a posições distintas. A Figura 6 exemplifica esse tipo de dado, bem como a Figura 7.

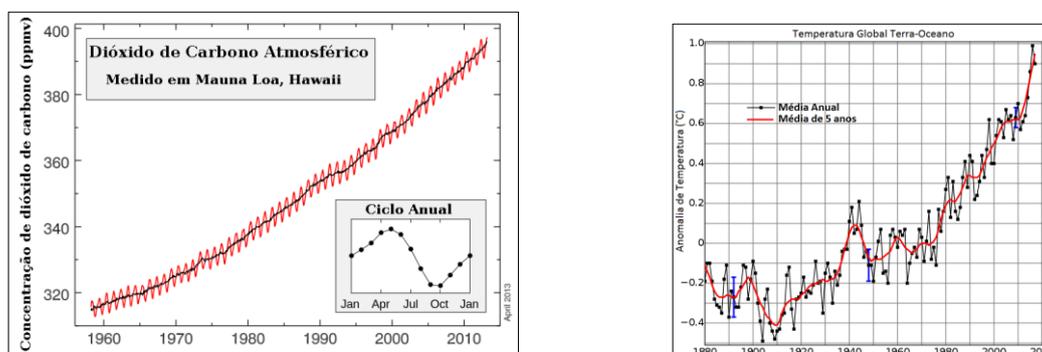
Figura 6 - Histórico de concentração de CO₂ atmosférico e de registros de anomalias de temperatura 1



Fonte: (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 466).

Na Figura 6, à esquerda, um gráfico registra o histórico de concentração de CO₂ na atmosfera. Os dados indicam um aumento dessa concentração a partir de 1960. À direita, a região em azul indica ocorrência de anomalias negativas para temperatura média global e, em vermelho, anomalias positivas. As anomalias positivas indicam que a temperatura média global para um certo ano supera a média da temperatura global considerada para a série histórica.

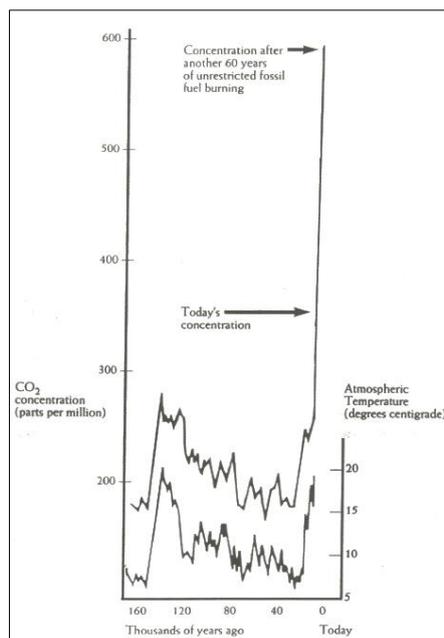
Figura 7 - Histórico de concentração de CO₂ atmosférico e de registros de anomalias de temperatura 2



Fonte: (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 147).

Os gráficos da Figura 7 representam os mesmos dados verificados na Figura 6. O gráfico à direita registra as anomalias de temperatura em função do tempo, porém com outro tipo de disposição para os dados, que leva em consideração as médias anuais e quinquenais.

Figura 8 - Histórico de concentração de CO₂ atmosférico e de registros de anomalias de temperatura 3 (com previsão de concentração futura)



Fonte: (HOBSON, 2001, p. 242).

A Figura 8 tem a mesma função das anteriores e busca apontar a correlação entre a concentração de CO₂ atmosférico e a temperatura da Terra, no entanto ela possui estimativas para esses dados que consideram períodos do passado e do futuro. A seguir, apresentamos algumas descrições feitas pelos autores e autoras ao apresentarem esses dados.

(...) em seus relatórios, [IPCC] tem atestado com níveis de confiança cada vez maiores que as evidências científicas são suficientemente fortes para afirmar que o aquecimento observado tem como causa dominante as emissões antropogênicas de gases estufa. (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 148).

A partir da era industrial, a humanidade elevou a concentração atmosférica de CO₂ em 30%, de 280 ppm para mais de 360 ppm. Sem uma ação drástica, o CO₂ atmosférico pode dobrar até 2050. Essas emissões excessivas estão causando mudanças climáticas globais, conhecidas como "aquecimento global". (HOBSON, 2003, p. 241, tradução nossa).

Esse tipo de descrição estabelece nexos entre a atividade humana (via emissão de CO₂) e a elevação das temperaturas, especialmente em função do crescimento vertiginoso de consumo de combustíveis fósseis verificado no último século.

É importante destacar que em um dos trabalhos (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018) os autores visitam estudos que consideram a concentração de CO₂ em séries

históricas mais antigas (feitas através de testemunhos de gelo) para apontar a existência de variações de ordem natural nessa concentração (como representado na Figura 8). Segundo os autores, variações na concentração de CO₂ fazem parte da história do planeta, porém, o que está em discussão é o fato da concentração atual ultrapassar consideravelmente os valores mais altos já registrados.

O posicionamento de tomar como controversa a influência do aumento na concentração de CO₂ foi verificado apenas em uma descrição. Isso foi feito através do apontamento de um estudo que declara não existirem dados suficientes para comprovar a responsabilidade antrópica para o aumento da concentração de CO₂, enfatizando, assim, as dúvidas e controvérsias científicas quanto ao real peso dessas emissões de CO₂ para a intensificação do efeito estufa (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010). O autor, porém, acrescenta que o fato de a humanidade estar alterando de forma significativa o ciclo anual do carbono não pode ser desprezado.

De outro lado, instaurando a controvérsia, encontram-se autores como Hieb e Hieb (2006), que destacam o fato de que não há dados suficientes que comprovem que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera seja originário somente de emissões antrópicas – principalmente as geradas pela queima de combustíveis fósseis. Há, isto sim, importantes dúvidas quanto ao real peso dessas emissões de carbono para a intensificação do efeito estufa. Porém, cabe destacar que não podemos desprezar o fato do homem estar alterando de forma significativa o processo conhecido como ciclo anual do carbono (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 464).

Esse tipo de abordagem que enfatiza o caráter de controvérsia científica é também verificado no tratamento das influências a que estão sujeitas as alterações no albedo. Essas alterações também são inseridas dentro do quadro de controvérsias científicas pelos autores:

O albedo pode ser modificado tanto por causas naturais quanto por causas antropogênicas. Esse é um aspecto que suscita importantes controvérsias na comunidade científica que trata do tema Mudanças Climáticas. Por um lado, existem argumentos que apontam para o fato de que essas mudanças são essencialmente provocadas por causas naturais, por outro lado há fortes evidências que indicam que o ser humano tem acelerado acentuadamente essas modificações. Dentre as causas naturais, podemos citar o aumento da quantidade de nuvens, o lançamento na atmosfera de uma grande quantidade de partículas (aerossóis) provenientes de erupções vulcânicas, o aumento ou a diminuição das superfícies cobertas por gelo e neve e das superfícies cobertas por florestas, entre outros aspectos. (...) Um importante exemplo de causa antropogênica relacionado com a modificação do albedo está diretamente associado com as mudanças na cobertura da superfície da terra. (...) Esse, aliás, é um importante argumento a favor daqueles que defendem o papel do ser humano na aceleração das mudanças climáticas. É importante destacarmos que o ser humano, ao longo do último século, provocou grandes modificações nas

áreas cobertas por florestas do nosso planeta. (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 458,459).

É importante destacar que os trabalhos que não apareceram nesta seção manifestam um posicionamento que admite a interferência humana para a ocorrência do aquecimento global, porém eles não utilizam a estratégia de avaliar o comportamento de fatores que influenciam o clima para justificar tal posicionamento. Nos parece que os autores e autoras desses trabalhos partem da premissa de que a interferência humana para o aquecimento global não está em debate. Desse modo, é possível inferir que apontamentos que levam à dúvida sobre a influência humana para o aquecimento global representam, em termos de frequência, um posicionamento pouco representativo no *corpus*. Porém, acreditamos que isso não pode ser desprezado por indicar uma possível divergência, em estudos que tratam da integração de temas ambientais ao ensino de ciências, quanto à interpretação da responsabilidade humana em alterações no meio ambiente em escala global.

4.2.3 A dimensão humana: conflitos e esperanças em torno da questão aquecimento global

Nesta categoria, encontram-se descrições que caracterizam a dimensão humana. Conforme descrito nas seções anteriores, esse tipo de descrição é menos comum no *corpus*, se comparado àquelas que caracterizam os fenômenos naturais associados ao aquecimento global. No entanto, a frequência com que aparecem é suficiente para indicar que as autoras e autores reconhecem um quadro de conflitos e esperanças inerente à relação entre atividade humana e aquecimento global; isto é, eles identificam situações relacionadas ao tema aquecimento global, protagonizadas pela atividade humana, que podem ser consideradas preocupantes, contraditórias ou problemáticas, assim como possíveis caminhos para sua superação. A análise dessa categoria, portanto, buscou compreender como se expressa no *corpus* a dimensão humana, a noção de conflito – o que é entendido por conflito dentro do tema aquecimento global – e a noção de esperança para superação dessa problemática.

Observamos que a noção de conflito predominante no *corpus* caracteriza-se por preocupações de ordem didática, de modo que se pretende apresentar ao público um conjunto de informações seguras para a compreensão da problemática do clima. Assim, a noção de conflito se traduz na amostra, principalmente, como um embate entre as

possíveis fontes para se informar sobre a questão climática. Os autores expressam preocupações em torno das falhas que os meios de comunicação cometem ao tratar esse tema – como a distorção dos fatos, falsas interpretações e ausência do rigor científico – e dos efeitos que isso pode produzir na compreensão pública da problemática. As passagens apresentadas a seguir exemplificam esse tipo de situação.

Em Magalhães (2014, p. 1), afirma-se que conclusões precipitadas, alarmistas e contraditórias podem ser produzidas ao se levar em conta que “informações são divulgadas para a população geral pelos meios de comunicação sem o cuidado e esclarecimento necessários acerca dos termos utilizados e seus significados”. Pina *et al.* (2010) apontam que “uma parte significativa das produções midiáticas que aborda o tema mudanças climáticas apresenta alguns equívocos de natureza conceitual” (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 452). Em Junges, Santos e Massoni (2018), fica expressa a preocupação com alegações que podem deslegitimar a ocorrência do aquecimento global:

Compreendemos que a esse respeito ainda circulam muitos “fatos alternativos” e desinformações na internet e nos meios de comunicação. É comum depararmos com alegações como: o planeta não está aquecendo, mas esfriando, que estamos num ciclo natural, que as emissões de dióxido de carbono não são um problema, ou até mesmo que o efeito estufa não existe. (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 127).

A mesma preocupação com possíveis fontes que podem propagar argumentos céticos em relação ao aquecimento global são verificadas em Walsh e Tsurusaki (2018), que afirmam que o ensino e a aprendizagem dessa temática “são desafiadores dado o papel das afiliações políticas e a força dos argumentos céticos que proliferam na mídia popular” (WALSH; TSURUSAKI, 2018, p. 44).

Reis, Silva e Figueiredo (2015) e Magalhães (2014) expressam uma preocupação com o caráter alarmista que o tratamento midiático do aquecimento global pode oferecer.

As discussões sobre o tema “mudanças climáticas” atualmente têm grande destaque na sociedade, sendo que as informações sobre este são divulgadas principalmente pelos meios de comunicação em massa. Porém, muitos discursos elaborados por uma parte da mídia em relação a esse tema contêm equívocos conceituais e apresentam abordagens sensacionalistas, fato que acaba por privilegiar uma visão exclusivamente catastrófica e determinista em relação ao fenômeno. (REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015, p. 547).

Por fim, mas antes de tudo, defendemos também um mundo sustentável, mas a começar por uma educação sustentável, na qual os impactos midiáticos sejam menos sensacionalísticos e importantes do que a educação de nossas crianças e adolescentes. (MAGALHÃES, 2014, p. 8).

De certo modo, o predomínio de apontamentos a respeito de um conflito em torno da (des)informação sobre o tema aquecimento global é compatível com nossa observação de que impera no *corpus* abordagens que buscam subsidiar o entendimento dessa problemática através de explicações sobre os fenômenos naturais envolvidos. É interessante perceber que, apesar das preocupações se voltarem para as possíveis distorções no tratamento do aquecimento global pelos meios de comunicação, os autores e autoras expressam duas preocupações distintas: o risco à banalização da questão do clima e sua caracterização com ênfase alarmista. Além disso, é importante destacar que estudos sobre a forma como essas falhas ocorrem nos meios de comunicação não são citados.

Descrições que expressam a noção de conflito através de apontamentos sobre a relação sociedade-natureza também foram observadas. Conforme apresentado na seção anterior, há uma tendência nos textos de responsabilizar a atividade humana pela ocorrência do aquecimento global. A apresentação de dados sobre históricos de emissão de CO₂ configurou-se como a principal forma de representar a dimensão humana e, assim, identificar um impasse a respeito das alterações que a sociedade tem causado na atmosfera. Contudo, esse tipo de representação da sociedade demonstra ser muito genérico e indireto; pois privilegia situar as emissões como uma espécie de “grande vilão dessa história” (SANTOS, 2011, p. 8). Poucos apontamentos tentam problematizar de uma maneira mais específica algum tipo de atividade, conduta ou prática.

A interpretação do significado das emissões de CO₂ é uma iniciativa que busca estreitar os laços entre o recorte científico para o aquecimento global e aspectos de ordem cultural. A seguir, são apresentados exemplos desse tipo de iniciativa. O contexto dos quais essas descrições foram extraídas se caracteriza pelo reconhecimento de fatores que influenciam a temperatura da Terra. Uma vez reconhecido que a humanidade pode contribuir com a intensificação do efeito estufa, os autores apontam a necessidade de explorar aspectos culturais na análise do aquecimento global, como forma de identificar contradições na forma com que a sociedade tem se organizado – o reconhecimento da dimensão humana é, portanto, mediado pela noção de interferência humana no balanço de energia no planeta. Os textos, no entanto, não exploram, com profundidade, essas contradições.

(...) o fenômeno ganha dimensões muito discutidas em outras esferas além da científica, posto que aderir às medidas de mitigação sugeridas por vários grupos sociais organizados, como, por exemplo, a redução do CO₂ depositado na atmosfera a partir da queima de combustíveis fósseis, implica rever

convicções políticas e valores que fundamentam a forma como muitas sociedades estão organizadas, ou seja, implica rever o *American way of life*. O estilo de organização social representado pelo modelo norte-americano (...) A problematização dos valores que sustentam o estilo de vida das sociedades atuais deveria, também, ser um dos objetivos do ensino de ciências que incorpora a discussão da temática ambiental. Nesse caso é necessário problematizar a lógica centrada no consumismo e no individualismo (...) (REIS; SILVA; FIGUEIREDO, 2015, p. 546,547).

(...) devemos estar preparados não só para explicar os mecanismos que levam as moléculas de CO₂ a absorverem radiação na faixa de comprimento de onda do infravermelho, mas a contextualizar o significado dessas emissões para a sustentação da sociedade industrial que construímos, tendo em vista que os combustíveis fósseis constituem a matriz energética preponderante em nossa sociedade. (...) é preciso enfatizar que discussões dessa natureza não nos eximem de realizar críticas ao modo como nos relacionamos com a natureza e a forma como inventamos a nossa organização social. De fato, é cada vez mais evidente que vivemos uma situação insustentável do ponto de vista econômico, político e ambiental, sobretudo ao vislumbrarmos as imensas distorções que existem no mundo. (PINA; SILVA; OLIVEIRA JÚNIOR, 2010, p. 468).

No primeiro fragmento, ao citar o *American way of life*, os autores buscam problematizar a cultura do consumismo que, aliado a uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis (cultura dos combustíveis fósseis), se torna um mecanismo de intensificação do efeito estufa. No entanto, a relação entre consumo e aquecimento global é apenas apontada e não aprofundada. Algo semelhante é verificado no segundo fragmento, que indica a necessidade de extrapolar o recorte científico que explica a intensificação do efeito estufa para compreender o sentido dessas emissões. Mas, tal como no primeiro fragmento, a obra também não se aprofunda nessa questão. O que parece estar em jogo em descrições desse tipo é a correlação entre os processos de produção em nossa sociedade e a intensificação do efeito estufa, o que leva a uma contradição entre o modo como nos organizamos como sociedade e o modo como a natureza se comporta.

Apenas um dos trabalhos procura aprofundar esse tipo de correlação, explorando um caso específico de processo de produção e sua influência para o efeito estufa. Em De-Carvalho e Matei (2019), isso é feito através da problematização da atividade pecuária, apontada como uma questão fortemente ligada à cultura brasileira e que, normalmente, está ausente das discussões sobre os impactos para o aquecimento global. O autor e a autora apontam a necessidade de incluir no ensino do aquecimento global reflexões que aprofundam a discussão sobre a relação entre produção e consumo na sociedade. Esse tipo de reflexão é apontada como necessária por oferecer a percepção de que grande parte das emissões que intensificam o aquecimento global está associada a comportamentos, atitudes e valores ditados pela lógica do mercado (DE-CARVALHO; MATEI, 2019, p. 257). Além das emissões de gases estufa, a interferência da pecuária para alterações no

albedo, via mudanças na cobertura do solo, também é identificada. Esse tipo de interferência é pouco explorado nos textos, sendo verificadas apenas menções sobre processos de desmatamento e urbanização.

Dois trabalhos vinculam à dimensão dos conflitos o apontamento de previsões em torno dos efeitos negativos que o aquecimento global pode causar para a vida (SHEPARDSON *et al.*, 2012). Os autores consideram como principais alertas as mudanças ligadas ao ciclo hidrológico (que podem comprometer o abastecimento de água em várias regiões do planeta), eventos meteorológicos mais severos (como tempestades e enchentes), como também problemas relacionados a agricultura e atividades extrativistas. De modo semelhante, em Walsh e Tsurusaki (2018), os possíveis impactos do aquecimento global para espécies locais e globais são comunicados através de dados de acesso público que indicam danos e são utilizados para exemplificar a noção de conflito para os estudantes.

Um tipo de abordagem que se distingue daquelas apresentadas nos parágrafos anteriores consiste em reconhecer características próprias da atmosfera como caminho para explicitar a problemática das alterações causadas pela humanidade, bem como para desenvolver um senso de responsabilidade ecológica. Nesse tipo de atuação, o reconhecimento dessas características orienta a construção de uma imagem de fragilidade do planeta frente aos impactos da atividade humana. Nesse caso, a noção de conflito é construída a partir da constatação do descuido e da negligência com que a humanidade compartilha o planeta com os demais seres vivos. Os fragmentos a seguir expressam esse tipo de atuação.

Imagine uma única pessoa em uma cidade de mais de um milhão de habitantes. A atmosfera é, na verdade, uma teia delicada e diversa contendo uma miríade de fios vitais para a vida. Não é surpreendente que os primeiros problemas ambientais verdadeiramente globais da Terra, como a destruição da camada de ozônio e o aquecimento global, tenham surgido neste meio complexo e tênue; as emissões que você libera hoje se misturam por toda a atmosfera em apenas alguns anos. (HOBSON, 2001, p. 241, tradução nossa).

(...) não apenas a composição química da atmosfera promove as condições para vida, mas é a própria vida (a biosfera do planeta) que regula a composição química da atmosfera. Cientistas que estudam o desenvolvimento e surgimento da vida no Universo têm observado que a peculiar concentração de gases atmosféricos da Terra é apenas possível devido à presença da vida. Ou seja, é a biosfera do planeta que através da ciclagem de elementos químicos (os ciclos biogeoquímicos) consegue manter a composição atmosférica (...). caso a vida na Terra fosse extinta, seria uma questão de tempo para que a Terra viesse a se transformar em um planeta com altíssimas concentrações de dióxido de carbono, similar a Vênus e Marte. A presença de água em seus três estados (sólido, líquido e gasoso), a tectônica de placas e a presença da vida fazem da Terra, até onde sabemos, um exemplar único de sua “espécie” e, por isso,

mesmo merecedora de cuidados. (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018, p. 132).

Os exemplos evocam o potencial da humanidade em instaurar problemas a partir de sua interferência na atmosfera. No primeiro fragmento, a noção de difusão gasosa medeia a percepção de que as ações individuais (emissões individuais) levam a efeitos globais. No último fragmento, observa-se um paralelo entre o (re)conhecimento da influência que a vida exerce para a manutenção da atmosfera e a construção de um senso de responsabilidade. Essa abordagem remete à categoria **reflexões sobre ética ambiental**, que identificamos no mapeamento sobre as interfaces entre Física e universo do ambiental.

A noção de esperança para superar a problemática do aquecimento global parece ser conduzida pela relação entre o (re)conhecimento de fenômenos e processos naturais associados à questão do aquecimento global e o desenvolvimento de posturas menos conflituosas para a relação sociedade-natureza. Isto é, essa noção se manifesta nos textos a partir da expectativa de que a compreensão de aspectos científicos relacionados à problemática do clima possa surtir efeitos para mudanças de atitude e de comportamento, bem como orientar a tomada de decisão das pessoas. Esse tipo de expectativa é declarado em oito dos 10 trabalhos analisados. A seguir, apresentamos alguns exemplos de descrições em que verificamos esse tipo de ocorrência.

A relação entre conhecimento científico e efeitos na tomada de decisão de estudantes pode ser assim exemplificada:

(...) instruir estudantes para as relações causais dos principais gases que agem na geração do efeito estufa propiciará uma reflexão acerca de determinadas atitudes e comportamentos socioambientais, bem como suas respectivas consequências, atentando-se precipuamente às mudanças climáticas, desde sua realidade local até a dimensão global. Isso possibilitará a formação de estudantes cidadãos, como agentes transformadores de uma sociedade mais sustentável para o futuro, repercutindo posturas, decisões, modos e estilos de vida, além de uma revisão cultural do consumo. (DE-CARVALHO; MATEI, 2019, p. 256).

(...) é importante que os estudantes tenham a oportunidade de desenvolver o conhecimento e as habilidades de analisar fenômenos climáticos e dados (históricos e projeções) em uma abordagem que incorpore a ação humana no sistema climático do qual os seres (...) o que pode orientar decisões e ações pessoais como imersas no sistema climático. (SHEPARDSON *et al.*, 2012, p. 11, tradução nossa).

Em Jacobson *et al.*, encontra-se uma menção semelhante, porém os autores estendem essa expectativa ao público geral:

(...) esperamos que nosso trabalho possa contribuir com os esforços para aprofundar a compreensão de importantes ideias científicas sobre mudanças climáticas por estudantes e um segmento mais amplo do público, incluindo a esfera política, visto que essa área impacta nossas vidas hoje. O impacto certamente será maior no futuro. (JACOBSON *et al.*, 2017, p. 7).

Em síntese, nesse tipo de menção, o senso de esperança é conduzido como uma espécie de convicção sobre os efeitos que o conhecimento científico pode provocar nas ações e comportamentos pessoais. Apenas um dos textos tem como foco o exame da relação entre conhecimento científico e comportamentos das pessoas. Walsh e Tsurusaki (2018) propõem uma metodologia especialmente desenvolvida para verificar possíveis contribuições das ideias científicas sobre o aquecimento global para reverter posicionamentos de ceticismo em relação ao fenômeno, em um contexto caracterizado por divergências de cunho político-ideológico. Os autores verificam episódios de inflexão nesses posicionamentos, porém argumentam que generalizações, nesse caso, não podem ser realizadas, uma vez que a ciência exerce influência distinta na vida de cada pessoa, além de ser apenas uma das várias fontes capazes de orientar o posicionamento dos sujeitos.

Estudos que adotam como objeto de interesse a relação entre conhecimento científico e tomada de decisões e outros comportamentos ligados a tópicos sociocientíficos reforçam a noção de que, apesar de possíveis efeitos positivos observados para a qualidade na tomada de decisão e para o desenvolvimento de um pensamento crítico, se trata de uma situação que oferece dificuldades para ser avaliada, visto que múltiplos fatores participam desse processo – tanto intrínsecos à abordagem investigativa (tipo de conhecimento científico mobilizado, visão sobre natureza da ciência, tipo de questão e de discussão), quanto pertencentes ao contexto dos sujeitos avaliados (como questões éticas e valores pessoais) (EGGERT *et al.*, 2013; FANG; HSU; LIN, 2019; JHO, 2015; SADLER, 2004; SANTOS; MORTIMER, 2001; SOUSA; GEHLEN, 2017).

4.2.4 Síntese e discussão sobre a leitura do aquecimento global mediada pelas ideias da Física

As informações extraídas dos textos foram classificadas de acordo com o aspecto do aquecimento global que descrevem, o que permitiu a construção das categorias apresentadas nas seções anteriores. Nesta seção, discutimos como essas categorias são capazes de orientar a leitura da realidade ambiental e as possíveis implicações para o ensino.

Constatamos que predomina no *corpus* um tipo de tratamento para a questão do aquecimento global no qual elementos do conhecimento científico operam como recursos para representar fenômenos naturais com potencial para influenciar a temperatura do planeta. Isso é feito a partir de tópicos como movimentos da Terra, produção de energia solar, espectro de radiação eletromagnética e conservação da energia. Essas abordagens privilegiam o tratamento de aspectos naturais ligados ao clima e constroem um recorte científico de processos a ele relacionados. Desse modo, a questão do aquecimento global se traduz nos textos, principalmente, como uma forma de comunicar ao público a compreensão de certos aspectos do sistema climático.

A dimensão dos fenômenos naturais relacionados ao clima terrestre, portanto, se sobressai no *corpus* e o modo como ela é apresentada varia conforme a abordagem dos fatores envolvidos. Isto é, essas abordagens podem retratar apenas o reconhecimento de um fator que influencia o clima; podem abranger o reconhecimento de vários fatores de modo isolado; podem, ainda, apontar a interação dinâmica entre esses fatores, tomados como pertencentes a um sistema.

Compreendemos que esses tipos de abordagem têm uma contribuição significativa para o campo do ensino, pois identificam diferentes pontos de aproximação entre a Física e a questão do clima. Além disso, apresentam subsídios à integração dessa questão na formação científica, na medida em que oferecem um ponto de partida para essa tarefa, especialmente através da identificação do balanço de energia como um possível eixo articulador entre o conhecimento escolar científico e a questão climática. A partir desse eixo, diferentes conhecimentos específicos da Física podem ser mobilizados para atribuir materialidade ao aquecimento global; para reificar alguns aspectos da dinâmica do clima e para situar a ação humana no quadro de fatores que podem interferir o sistema climático.

O aquecimento global é um fenômeno cujas peculiaridades que nos levam a considerar sua percepção como desafiadora e, nesse sentido, compreendemos que o tipo de tratamento que predomina no *corpus* responde a esse desafio. Certos problemas ambientais se manifestam de tal maneira que podem ser mais facilmente notados – mesmo que de modo superficial – uma vez que são captados diretamente por nossos sentidos ou, ainda, têm seus impactos e efeitos no meio mais imediatos. A poluição atmosférica nos grandes centros urbanos (smog) e o aumento nos casos de doenças respiratórias ou a contaminação de um rio e a mortandade de sua fauna exemplificam esse tipo de percepção

mais imediata do fenômeno e/ou efeito no meio. No entanto, para a problemática do clima, a situação é bem diferente.

Certas características do clima, como aquelas ligadas ao ciclo das estações, podem até ser tratadas como evidentes, por possuírem conexões um pouco mais imediatas com o cotidiano das pessoas. Contudo, a percepção sobre o aquecimento global apresenta severos obstáculos, visto que ele: é constituído de processos abstratos, complexos e intangíveis aos sentidos; é evidenciado através de sofisticados modelos computacionais e séries de dados de longo prazo; é concebido em um emaranhado de inter-relações conflituosas, que abrangem a dimensão científica, ecológica, social, política, econômica etc. Nesse sentido, ao atribuir materialidade ao processo, o reconhecimento de fatores que influenciam o clima estabelece um primeiro passo na direção de desvelar essa realidade e, a partir disso, é possível pensar sua problematização.

Esse tipo de tratamento dado ao fenômeno foi considerado um “ponto de partida” por estar voltado predominantemente para a dimensão científica, entretanto, a apresentação de modelos científicos ofusca a participação da dimensão humana nessa problemática. Julgamos que, caso o papel das ideias da Física se restrinja a esse ponto, é possível que elas conduzam a leituras que reduzem a problemática do clima a um problema majoritariamente científico – uma forma de traduzi-la em um conjunto de fenômenos naturais do qual o pensamento científico em Física é capaz de modelar. Com isso, corre-se o risco de reforçar leituras reducionistas, que oferecem à visão dessa problemática a identificação de elementos naturais isolados, dos quais a Física é capaz de conferir uma significação quase restrita à dimensão científica.

Desse modo, é possível conjecturar que retratar uma problemática ambiental tão ampla quanto o aquecimento global em circunstâncias que minimizam seus aspectos sociais pode ter efeitos que reforçam visões conformistas, conservadoras e acríticas, ou ainda, que mantêm frágil (ou até mesmo oculto) vínculo entre seres humanos e natureza; uma espécie de reforço à concepção naturalista de meio ambiente, que enfatiza os fenômenos, processos e ciclos naturais.

A restrição a esse tipo de enfoque pode, ainda, reverberar, no contexto da formação ambiental, uma representação convencional da educação científica – objetiva, racional e isenta de valores – que privilegia o pensamento científico desarticulado do contexto social e político. Desse modo, é possível inferir que o predomínio do recorte científico na amostra estabelece um tipo de abordagem que pode minimizar o empenho dirigido à superação de concepções naturalistas e antropocêntricas, que corroboram a

manutenção de leituras da realidade ambiental que caracterizamos como intransitivas, por manterem o foco quase restrito à dimensão dos fenômenos naturais.

No entanto, verificamos iniciativas que demonstram potencial para que o vínculo entre a Física e o tema aquecimento global favoreçam leituras mais amplas da realidade ambiental. As iniciativas que reconhecem o clima como um sistema dinâmico, composto por diversos fatores que se inter-relacionam exemplificam esse tipo de iniciativa. Na medida em que a relação sistêmica entre esses fatores é identificada, certas particularidades sobre as interações podem ser explicitadas, o que revela, por exemplo, o caráter de indeterminismo das previsões de longo prazo e a possibilidade de ocorrências de *feedbacks* positivos, capazes reforçar certos padrões climáticos (como a elevação da temperatura). Esse tipo de perspectiva explicita as relações de interdependência entre os componentes do meio biofísico e do meio social; para indicar que a sociedade é parte inseparável da dinâmica do clima e, assim, expor as vulnerabilidades, os riscos e as incertezas, além do caráter de imprevisibilidade sobre os efeitos que ela impõe sobre o clima do planeta.

O debate sobre a influência da atividade humana para a ocorrência do aquecimento global também demonstra ser um exemplo de iniciativa que busca extrapolar o recorte científico para estabelecer vínculos com a dimensão social. As autoras e autores cujos textos foram analisados apresentam avaliações sobre o comportamento dos fatores que influenciam o sistema climático, a fim de julgar se a atividade humana pode (ou não) ter relação com a problemática. Dentre os trabalhos que oferecem essa perspectiva, foi comum observar a estratégia de isolar cada fator e analisar seu comportamento com base em evidências científicas. Essa estratégia, de modo geral, descarta que mudanças de ordem natural tenham relação com o aquecimento global e reforçam o vínculo entre a dimensão humana e a dimensão natural.

É importante destacar que esse tipo de abordagem – que considera evidências científicas para inferir sobre a influência humana no aquecimento global – é comum a outros contextos sociais (DUARTE, 2014; LEE, 2020). Nesses casos, a discussão sobre essas evidências participa tanto de argumentos que ficaram conhecidos por céticos e negacionistas, visto que inserem o aquecimento global em um processo de mudanças naturais, quanto de argumentos que buscam inseri-lo no quadro de impactos antropogênicos. A análise dos fatores externos, por exemplo, é adotada para construir argumentações que supõem que modificações na produção de energia solar e/ou na órbita

da Terra poderiam ser preponderantes fatores causadores das alterações atuais do clima. (FLORIDES; CHRISTODOULIDES; MESSARITIS, 2010).

Uma divisão semelhante manifesta-se no *corpus* a partir de duas perspectivas distintas. Na primeira, as possíveis mudanças de ordem natural são descartadas e a influência humana é admitida como única explicação plausível para a ocorrência do aquecimento global. Na segunda, o caráter de controvérsia científica a respeito da origem do aquecimento global é enfatizado, o que leva à impossibilidade de discernir sobre a influência de fatores naturais e antrópicos.

Apesar da segunda perspectiva ser minoritária no *corpus*, ela nos suscitou um questionamento sobre os efeitos de considerar a influência humana para a ocorrência do aquecimento global como um tema cientificamente controverso. Do ponto de vista da leitura do meio ambiente, esse tópico é importante, uma vez que pode reforçar concepções que separam sociedade e natureza, na medida em que atribui um *status* de “dúvida” para os efeitos da humanidade para o meio. Do ponto de vista do ensino de Ciências, a proposta de inclusão de temas sociocientíficos controversos é apontada como um empreendimento que oferece diferentes ganhos, em especial o potencial de estabelecer condições que favoreçam a tomada de decisão na direção de uma formação cidadã (BARBOSA; LIMA; MACHADO, 2019; SOUSA; GEHLEN, 2017). No entanto, seria válido esse mesmo tipo de tratamento para o caso específico do aquecimento global no ensino de ciências? É evidente que a natureza do aquecimento global se manifesta como tema controverso em diferentes esferas, como Política, Economia, Ética etc. Seria também coerente admitir essa controvérsia na esfera científica como um caminho para se favorecer um ensino de ciência voltado para capacitar tomadas de decisão de qualidade?

Questionamentos éticos no campo do currículo escolar extrapolam o escopo deste trabalho. No entanto, em virtude da relevância da temática do aquecimento global para nosso estudo, julgamos coerente tecer alguns apontamentos que podem ser úteis para lidar com a questão. A compreensão acerca de como as controvérsias operam no campo das Ciências pode ser uma referência promissora para professoras e professores. A controvérsia se configura como uma instância intrínseca à Ciência, de modo que faz parte do processo de estabilização de um conhecimento – principalmente em situações cuja disputa argumentativa abrange conhecimentos ainda não assegurados. Do ponto de vista dos estudos sociais sobre ciência, observa-se que dados, modelos, evidências ou experimentos não representam uma dimensão definitiva capaz de levar à solução das

controvérsias científicas, pois os caminhos para tal solução passam por fatores de ordem social (COLLINS, 2011; KUHN, 1962).

Collins (2011) e Kuhn (1962) admitem que, na finalização de uma controvérsia científica, o peso dos fatores sociais pode, inclusive, ser maior que a influência de um fato natural. Dentre os fatores de ordem social, situam-se o prestígio dentro da comunidade científica, a persuasão e o convencimento, o que sinaliza que as controvérsias passam por relações de poder e negociação dentro da comunidade científica.

Desse modo, o contraste proposto pelo “jogo” de evidências sobre a natureza do aquecimento global pode reproduzir no ensino o mesmo efeito que se manifesta na comunidade científica, ou seja, a apresentação de evidências pode não ser um ponto chave para o estabelecimento de algum tipo de consenso. O tema do aquecimento global perpassa diferentes esferas sociais, que podem exercer diferentes graus de influência sob posturas e valores das pessoas. A apresentação e a discussão dessas evidências podem favorecer o entendimento da dimensão científica do fenômeno, mas, desse ponto de vista, isso não garante um efeito conscientizador; evidências não convencem as pessoas de que vivemos uma problemática ligada ao clima.

Além das particularidades ligadas às relações de poder e negociação, os estudos sobre a problemática do clima se baseiam em um elevado volume de informação; a compreensão de seus argumentos exige uma formação minimamente especializada. Desse modo, observamos que julgar como o tema é debatido no campo das Ciências com base na análise dos dados e evidências evocados nos estudos, para, depois, discutir qual tese é mais ou menos consistente não nos parece ser uma linha de trabalho viável, um tipo de investigação com limitações para ser conduzida com rigor pelo campo de pesquisa e ensino de Ciências. Parece-nos que o conhecimento científico escolar pode auxiliar na contestação de argumentações céticas simples⁵ e, assim, ajudar a fortalecer a tese de aquecimento antropogênico. No entanto, acreditamos que esse conhecimento pode oferecer limitações para lidar com argumentações fundamentadas em informações técnicas e científicas mais especializadas, rigorosas ou abstratas.

Para lidar com esse impasse, a posição de Duarte (2014) nos parece ser pertinente. O autor sugere alterar a pergunta de “qual a teoria é mais correta em sua relação com o

⁵ São exemplos desse tipo de argumento: “o Sol está ficando mais quente”, “a Terra está mais próxima do Sol”, “não é possível afirmar que a concentração de CO₂ atmosférico está aumentando”. Esses exemplos foram retirados do portal Skeptical Science (<https://skepticalscience.com>), especializado em avaliar argumentações céticas sobre o aquecimento global.

mundo real?” para “qual teoria é mais bem aceita na comunidade científica?” (DUARTE, 2014, p. 106). Para o caso da problemática do clima, o autor coloca essa posição da seguinte maneira:

A questão central é compreender qual a relevância atribuída a cada uma das teorias envolvidas nessa controvérsia. Em outras palavras, em que medida a comunidade científica ainda se debruça sobre essas diferentes teorias? Até que ponto ainda há um debate a respeito da realidade do aquecimento global antropogênico? (DUARTE, 2014, p. 106).

De acordo com o autor, se existisse, de fato, uma controvérsia científica, essa se caracterizaria por uma quantidade significativa de estudos que defenderiam argumentos dos diferentes grupos de cientistas e, uma vez encerrada a controvérsia, haveria uma convergência para a teoria estabelecida, com a redução de estudos que defendem a posição contrária. Esse tipo de análise indica que os argumentos contrários ao aquecimento antropogênico representam apenas uma pequena fração das pesquisas que estudam mudanças climáticas. Estudos sobre o estado da arte desse debate indicam que a teoria do aquecimento antropogênico tem o consenso estimado em mais de 95% das publicações (em um universo de quase 12.000 artigos conduzidos nas últimas três décadas) (COOK *et al.*, 2013, 2016; ORESKES, 2004; ORESKES; CONWAY, 2011; POWELL, 2019), o que indicaria a baixa relevância da tese contrária para a comunidade científica.

Embora o propósito deste trabalho não seja dar um veredito sobre a possibilidade de participação da controvérsia sobre a natureza do aquecimento global no ensino de Ciências, sentimos necessidade de avaliar se esse tipo de empreendimento pode (re)produzir uma imagem distorcida acerca de como o tema é abordado pela comunidade científica. Em outras palavras, é possível que esse tipo de tratamento reproduza, no contexto da pesquisa e do ensino de Ciências, uma falsa noção de existência de controvérsia científica sobre a relação atividade humana e aquecimento global. Isso poderia reforçar uma leitura estereotipada para as questões climáticas e contribuir com posicionamentos céticos e negacionistas, bem como com concepções de meio ambiente de caráter naturalista e antropocêntrico, que não reconhecem a dimensão humana ou são pouco enfáticas no reconhecimento do ser humano na trama da questão climática.

De fato, há diversos aspectos ainda controversos relacionados ao debate sobre aquecimento global. Portanto, para envolver estudantes nesse debate é preciso que professoras, professores, pesquisadoras e pesquisadores – de dentro e de fora da área de

ensino de ciências – tenham clareza sobre “o que é” e “o que não é” controverso dentro da comunidade científica. As previsões do clima a longo prazo, os efeitos e riscos resultantes do aquecimento, bem como os modos de mitigar o aquecimento global podem envolver controvérsias e incertezas, uma vez que se trata de um fenômeno de natureza complexa.

A análise feita na seção 4.2.3, **A dimensão humana: conflitos e esperanças em torno do tema aquecimento global**, revelou que a dimensão humana é pouco explorada na amostra. Através da análise do balanço de energia do planeta, alterações da cobertura do solo e da atmosfera são reconhecidos como instâncias sujeitas à interferência humana, o que favorece o reconhecimento de certos conflitos entre a forma como a sociedade se organiza e a forma como a natureza se comporta. Nesse contexto, a dimensão humana é representada, principalmente, através de dados e informações que indicam a intensificação das emissões CO₂ no último século, bem como por alguns apontamentos sobre modificações na cobertura do solo. Essa forma de representar a dimensão humana indica um desafio à integração entre a Física e o tema aquecimento global, que pressupõe a proposição de formas menos genéricas e mais próximas do cotidiano das pessoas para representar essa dimensão no contexto das práticas e comportamentos individuais e culturais.

As iniciativas voltadas à interpretação do sentido das emissões de CO₂ pela sociedade parecem ser um exemplo de resposta a esse tipo de desafio. Apesar de poucos exemplos desse tipo serem verificados no *corpus*, eles se destacam por apontarem possíveis vínculos entre a dimensão natural e o contexto social – o que foi mencionado em dois textos, a partir da identificação de aspectos relacionados ao consumismo, à cultura capitalista e à matriz energética baseada em combustíveis fósseis. Esse tipo de iniciativa revela pontos de articulação entre o conhecimento científico escolar e conhecimentos de outras áreas que podem subsidiar uma análise mais profunda de fatores inerentes ao modelo socioeconômico neoliberal, hegemônico na atualidade, e sua relação com a problemática do clima. Esse tipo de articulação nos parece ser necessária para que seja possível explicitar a dimensão humana no contexto dessa problemática ambiental e construir um exame mais profundo das tensões entre sociedade e natureza, assim como da análise dos possíveis caminhos para superação.

Observamos que a noção de esperança se manifesta no *corpus* através da indicação de possibilidades de superação da problemática do clima a partir de um aprimoramento das tomadas de decisão e dos comportamentos das pessoas. Impera nos textos a convicção

de que a compreensão das ideias científicas sobre os processos climáticos pode orientar esse aprimoramento. Em nosso entendimento, esse fato sinaliza a necessidade de diálogo entre estudos com enfoque ambiental e estudos que exploram a dimensão da tomada de decisão.

A investigação sobre percepções e atitudes em relação à Ciência e à Tecnologia no Brasil indica que o grau de escolaridade dos sujeitos, bem como o tipo de informação que detém, pode não ser o fator mais relevante na avaliação de muitos tipos de atitudes (CASTELFRANCHI *et al.*, 2013; CASTELFRANCHI; FERNANDES, 2015). Isso representa um desafio à articulação entre ensino de Ciências e temas ambientais, uma vez que fatores como trajetórias de vida, posicionamento político e valores morais afetam a complexa e não linear relação entre informação e atitude e podem oferecer uma influência maior do que a condição de alfabetização científica das pessoas.

Acreditamos que a educação científica pode (e deve) desempenhar um papel construtivo no enfrentamento da crise ambiental, que oriente a compreensão de que vivenciamos um problema climático e exerça um papel relevante para minimizar posturas que negam ou banalizam esse problema. No entanto, entendemos que isso cria implicações que exigem extrapolar o foco sobre como ensinar o fenômeno do aquecimento global a partir das ideias da Física, para discutir como essas ideias podem ajudar a fazer a diferença no contexto social. Essa implicação desafia o contexto que investigamos, no qual predominam iniciativas que apostam na noção de que a compreensão cientificamente rigorosa da problemática conduzirá a mudanças de posturas. Logo, torna-se necessária a construção de reflexões e práticas capazes de reduzir essa condição de “aposta” e oferecer escolhas mais seguras do ponto de vista da formação ambiental.

Acerca da noção de conflito, verificamos que a maior parte das menções o relaciona ao embate entre as fontes e espaços que oferecem informações sobre o aquecimento global. Esse conflito, portanto, não remete diretamente ao problema do aquecimento global, mas a um mecanismo de disputa entre as fontes que veiculam informações sobre o aquecimento global. Em nossa interpretação, essa é uma posição que se legitima na medida em que os autores e as autoras apontam falhas e incoerências nas explicações disponibilizadas pelos meios midiáticos. No entanto, acreditamos que as considerações sobre a mídia e outros espaços não formais exigem cautela, pois a possível banalização de informações veiculadas pela mídia, sem o uso de critérios objetivos,

configura-se como uma prática que pode favorecer a conjuntura da pós-verdade⁶ (LLORENTE, 2017).

Atualmente, dispositivos de checagem de notícias falsas, reportagens que contam com a participação de especialistas e matérias que buscam esclarecer argumentações falaciosas representam um tipo de dispositivo oferecido pela mídia e outros meios de informação que podem ser úteis em muitas circunstâncias. Nesse sentido, acreditamos que não se trata de confiar cegamente em informações midiáticas, nem de deslegitimá-las, assumindo-as como uma fonte não confiável, mas, sim, compreender que são informações que devem ser analisadas com critério para que sejam aceitas ou rejeitadas.

Essa constatação reconhece o papel da formação científica no tratamento da problemática ambiental para auxiliar no julgamento de informações veiculadas em espaços não escolares – principalmente quando considerado o fácil acesso que os jovens têm a esse tipo de informação através da internet. Isso implica na possibilidade do conhecimento científico se integrar ao desenvolvimento de habilidades relacionadas à análise de mensagens que são transmitidas pela mídia, redes sociais, canais do Youtube, aplicativos de comunicação, entre outros.

Sobre a **adaptação dos estados de consciência e as leituras que são denotadas pelo *corpus***, nossa análise revelou que, no *corpus*, predominam abordagens para a questão do aquecimento global centradas em um recorte científico do problema. A adaptação que fizemos para os estados de consciência de Paulo Freire nos permitiu considerar que essas abordagens denotam leituras intransitivas da realidade ambiental, uma vez que apresentam foco mais fechado na dimensão dos fenômenos naturais. Esse tipo de leitura apresentou variações quanto à forma como os fatores que influenciam o clima terrestre são identificados – em perspectivas mais isoladas ou mais integradas. Compreendemos que as abordagens que caracterizam esse tipo de leitura são relevantes para o estabelecimento de uma forma de percepção do fenômeno aquecimento global e da possibilidade de inserir a influência humana nesse quadro, contudo elas são limitadas para comunicar as contradições e impasses que originam a problemática.

Observamos que o vínculo entre o recorte científico e a dimensão social é representado com menor frequência no *corpus*, no entanto, quando isso ocorre, temas relevantes são propostos, como a influência da atividade humana para o aquecimento global e alguns apontamentos a respeito de tensões na relação sociedade-natureza. Ao

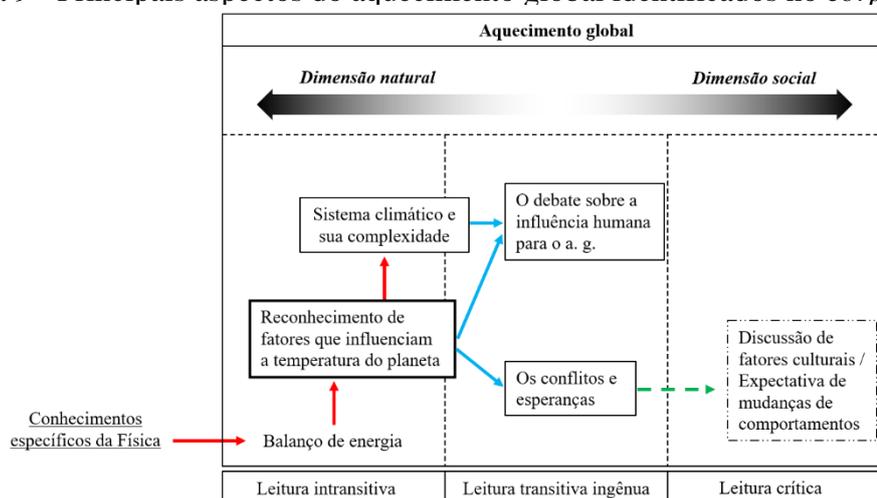
⁶ Termo cunhado para descrever um processo típico do período em que vivemos em que os fatos objetivos são menos influentes para moldar a opinião pública do que apelos emocionais e crenças pessoais.

admitir o debate da influência humana para o aquecimento global, os tópicos de Física se estendem para participar de um assunto com relevância social na atualidade, que integra as pautas política, econômica e ambiental. Ao lidar com esse assunto, o *corpus* revela o potencial que o vínculo entre a Física e a questão do aquecimento global oferece para aproximar tópicos de Ciências e de outras áreas do conhecimento, com a finalidade de aprofundar a percepção de contradições entre o modo como natureza se comporta e o modo como a sociedade se organiza. Essa aproximação pode aprimorar a percepção de contradições entre valores culturais e impactos para o aquecimento global, no entanto ela se expressa nos textos de maneira incipiente.

Desse modo, consideramos que as tentativas de aproximar o recorte científico e a dimensão social expressam leituras que podem ser consideradas transitivas, por oferecerem um afastamento dos fenômenos naturais. Este afastamento cria uma maior predisposição as contradições na relação sociedade-natureza. Isso sugere uma leitura transitiva, pois esse tipo de abordagem permite a percepção, ainda que genérica, das formas como a sociedade interfere no balanço de energia do planeta e dos riscos e vulnerabilidades envolvidos. Porém, tais leituras ainda nos parecem ser transitivas ingênuas, sobretudo em função da superficialidade com que analisam o vínculo entre o recorte científico e a dimensão social.

Elaboramos um esquema como forma de representar, de maneira sintética, os principais aspectos do aquecimento global identificados no *corpus* e os tipos de leituras que eles denotam. Na imagem, cada caixa representa uma categoria identificada, enquanto as setas representam a articulação entre elementos presentes no *corpus*. A posição horizontal em que as caixas estão dispostas indica o tipo de leitura que elas denotam para a problemática do aquecimento global, conforme Figura 9.

Figura 9 - Principais aspectos do aquecimento global identificados no *corpus* e a leitura



Fonte: Elaborada pelo autor.

Cada caixa representa uma categoria identificada, enquanto as setas representam a articulação entre elementos presentes no corpus. As caixas estão dispostas conforme o tipo de leitura que elas denotam para a problemática do aquecimento global; quanto mais à esquerda a leitura denotada é mais intransitiva, no sentido oposto, as leituras denotam ora uma consciência transitiva ingênua, ora transitiva crítica.

O conhecimento específico em Física é mobilizado para representar o balanço de energia que, por sua vez, permite reconhecer como a temperatura do planeta pode ser influenciada (setas vermelhas). O reconhecimento de fatores e a apresentação do sistema climático situam-se à esquerda, visto que concentram descrições restritas (ou quase restritas) à dimensão natural. Essas duas instâncias orientam o debate sobre a influência humana para o aquecimento global e os apontamentos sobre as tensões e formas de superação dessa problemática (setas azuis). Essas categorias foram colocadas na região central por denotarem leituras que propõem um afastamento dos fenômenos naturais. No entanto, elas foram enquadradas no estado intransitivo ingênuo, uma vez que, apesar de estarem mais abertas e permitirem a identificação de contradições na relação sociedade-natureza, isso é feito de modo superficial.

Entendemos que a participação do conhecimento científico no aprofundamento da questão dos conflitos, em um sentido capaz de captar e favorecer a discussão de fatores culturais que estão na base da problemática do clima, colocam-se como horizonte (como um projeto) para o desenvolvimento de leituras críticas. O mesmo pode ser dito quanto ao tratamento das superações e esperanças, que se concentra na expectativa das mudanças de postura e comportamentos que decorrem do conhecimento dos aspectos do sistema climático. Representamos a articulação que envolve esse processo por meio de uma seta verde tracejada para indicar que, na amostra, isso se manifesta como um potencial – observado, especialmente, em descrições que apontam a cultura dos combustíveis fósseis e do consumo.

4.3 A Física e os significados para a sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade possui forte representatividade no contexto socioambiental e situa-se num conjunto de ideias elencadas como caminho para superação da crise ambiental. No entanto, esse conceito parece estar aberto a diferentes

possibilidades de significação. É provável que a noção mais popular para a ideia de sustentabilidade seja aquela vinculada ao discurso do desenvolvimento sustentável, compreendido como “a capacidade de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações” (WCED, 1987, p. 16). Outras formas de compreensão para a sustentabilidade são verificadas na literatura e demonstram variar conforme o campo do conhecimento e o tipo de empreendimento social (como ativismo ambiental, economia, governança corporativa etc.) (BOFF, 2012; DIXON; FALLON, 1989; LEFF, 2015; LOUREIRO, 2012; SOFFIATI, 2002).

Nesse contexto, o conceito de sustentabilidade está vinculado a um quadro de possíveis soluções para lidar com a problemática ambiental e, ao mesmo tempo, é reconhecido por seu caráter polissêmico. Certas formas que esse conceito pode assumir são, inclusive, apontadas como incompatíveis ou incoerentes para lidar com a crise ambiental (AURELIO SOBRINHO, 2016; LEFF, 2010, 2015). A sustentabilidade vinculada ao desenvolvimento sustentável, por exemplo, é apontada como controversa, uma vez que tem em seu discurso o empenho por adotar a ecologia como critério para reorientar a economia e, no entanto, seus efeitos práticos corroboram uma estratégia de poder para a apropriação da natureza como meio de produção e fonte de riqueza (LEFF, 2015).

Desse panorama, surgiu nosso interesse por investigar como o conceito de sustentabilidade se manifesta em publicações em diálogo com a pesquisa em educação em Ciências – em especial, publicações em que os autores e autoras utilizam o conhecimento específico em Física. Admitimos que esse contexto reproduz formas de compreender esse conceito, o que, por sua vez, se associa à leitura da realidade ambiental.

Conforme descrito no capítulo 3, Referencial de Análise, selecionamos do *corpus* geral 12 artigos com o foco na temática sustentabilidade. Para essa seleção, prezamos por textos que exploram a integração do tema ao contexto do ensino de Física. A busca por descrições que continham elementos do conhecimento específico em Física indicou que o conceito de energia é central no tratamento da sustentabilidade e é mobilizado para discutir algum aspecto da relação entre energia, sociedade e meio ambiente – em especial, para promover condutas e reflexões reconhecidas, no âmbito dos textos, como sustentáveis. De modo geral, os artigos analisados fazem apontamentos sobre a dimensão energética para sustentabilidade (sustentabilidade energética). Extraímos do *corpus* passagens com esse teor e pautamos nossa análise no reconhecimento sobre **o que está**

sendo promovido como sustentável, como caminho para interpretar os significados que a sustentabilidade pode assumir. As passagens extraídas foram classificadas e enquadradas em duas categorias, que indicam que a sustentabilidade pode assumir dois significados distintos no *corpus*.

O primeiro significado se associa à gestão dos recursos energéticos e remete a um conjunto de reflexões sobre fontes de energia, formas de exploração dos recursos energéticos e seus impactos socioambientais e ecoeficiência⁷ dos processos. Nesse contexto, a sustentabilidade é traduzida como uma espécie de uso racional da energia – um uso eficiente, que evite desperdícios e reduza a demanda de maior produção de energia, bem como os impactos dessa produção. Essa concepção mostrou-se predominante no *corpus*, pois esteve presente em 10 dos 12 artigos examinados. Denominamos a categoria com menções relacionadas a esse significado como **sustentabilidade em seu enfoque social** e a apresentamos na seção 4.3.1.

O segundo significado também retrata a gestão de recursos energéticos, no entanto o foco se volta para o reconhecimento sobre como esses recursos se tornam disponíveis no planeta, o que pode ser utilizado como critério para (re)pensar o ritmo com que a sociedade consome energia. A categoria com menções relacionadas a esse significado foi nomeada de **sustentabilidade em seu enfoque ambiental**. Ela é apresentada na seção 4.3.2.

Desse modo, o primeiro significado é compreendido no âmbito da sustentabilidade social, isto é, leva em consideração o exercício da sustentabilidade através da análise de processos construídos pela sociedade. O segundo significado compreende a reflexão acerca da sustentabilidade em um enfoque ambiental, realizada através da análise de processos naturais (que ocorrem no meio biofísico). Compreendemos que ambos os significados remetem a uma leitura da realidade ambiental pautada em percepções distintas da relação entre energia, sociedade e ambiente. Nas próximas seções, apresentamos as categorias e, ao final, na seção 4.3.3, uma síntese e a discussão do conteúdo apresentado.

⁷ A ecoeficiência aplicada à dimensão energética consiste na minimização dos impactos ambientais e dos riscos de um colapso energético através da implementação de processos que consomem menos recursos (ESCAP, 2009).

4.3.1 Sustentabilidade em seu enfoque social

As menções que se enquadram nessa categoria abordam a dimensão energética em processos comuns à sociedade contemporânea, em especial os processos de exploração e uso dos recursos energéticos. Essas menções consistem em apontamentos sobre as características do processo de geração de energia, os impactos socioambientais envolvidos e a busca por tornar mais eficiente a utilização desse recurso.

Os processos abordados se diferenciam pela escala em que a dimensão energética é analisada: a exploração dos recursos energéticos em larga escala e sua utilização em escala individual. Processos esses que se localizam nos extremos da cadeia produtiva do setor energético, uma vez que o primeiro se encontra na etapa inicial de geração de energia, enquanto o segundo, nos sujeitos, “consumidores” finais dessa energia.

Notamos que, independentemente do tipo de processo retratado, as abordagens se caracterizam por promoverem a percepção do caminho que a energia realiza até chegar ao cotidiano das pessoas. Isto é, elas levam à compreensão de que, seja em usinas de geração de energia ou nos aparelhos e dispositivos que nos cercam em nosso cotidiano, a energia flui de um modo “invisível”⁸ para as pessoas. Desse modo, as autoras e autores se pautam na apresentação de processos de exploração dos recursos energéticos e dos fluxos de energia envolvidos em situações cotidianas e, a partir disso, abordam questões pertinentes ao contexto socioambiental – como a busca por garantir que a demanda social por energia seja atendida, a necessidade do desenvolvimento de melhores formas de gerenciar esse recurso, os impactos socioambientais e as fontes alternativas de energia.

Essa perspectiva, focada no reconhecimento de processos de exploração e melhor utilização dos recursos energéticos, é denominada, em um dos textos que compõe o *corpus*, como “alfabetização energética” (PERKINS *et al.*, 2014), entendida como uma articulação entre conhecimentos relativos ao conceito de energia e o reconhecimento de processos relevantes para a sociedade contemporânea. Seu intuito é proporcionar a compreensão de que: a energia é um conceito físico que segue leis naturais; os processos físicos que ocorrem no planeta são resultados do fluxo de energia; a atividade humana é fomentada por várias fontes e transformações de energia; fatores econômicos, políticos,

⁸ O termo invisível remete à dificuldade de visualizar os fluxos de energia. De acordo com Costanzo *et al.* (1986), essa dificuldade pode ter relação com a transição histórica para o uso de fontes de energia mais distantes do cotidiano dos sujeitos – como no caso da transição da lenha para eletricidade no uso doméstico, envolvendo processos cada vez mais complicados e sofisticados.

ambientais e sociais afetam as decisões relacionadas à energia que, por sua vez, afetam a qualidade de vida.

Os tópicos de Física são recursos mobilizados para tratar as transformações e fluxos de energia, bem como para discutir a eficiência em alguns processos. O princípio da conservação de energia se articula à discussão das transformações de energia envolvidas em cada tipo de usina e, assim, características desse processo são apontadas – como os tipos de emissões e geração de resíduos envolvidos, a eficiência e os riscos impostos. O conceito de potência e de eficiência são administrados para discutir a operação de dispositivos de uso cotidiano. A seguir, apresentamos alguns exemplos dessa categoria, analisando-os em dois grupos: energia em larga escala e energia em contextos locais e individuais.

4.3.1.1 Energia em larga escala

As menções relacionadas a processos de geração de energia elétrica em larga escala foram encontradas em quatro textos (BORGES; PRESA; COSTA, 2019; LIMA JÚNIOR et al., 2018; LIMA JÚNIOR; SILVA; LOUREIRO, 2019; SILVA; CARVALHO, 2002). Elas consistem em sistematizações de informações técnicas e científicas relacionadas à operação de determinados tipos de usinas e em apontamentos dos consequentes danos socioambientais envolvidos. Esse tipo de abordagem é semelhante ao tratamento encontrado em livros didáticos de Física (SANTOS, 2013).

Observamos que os tópicos de Física ocupam um espaço significativamente menor, se comparado ao tratamento verificado na análise da questão do aquecimento global. É interessante analisar que função é atribuída à Física nesses casos. A principal função consiste em apontar os tipos de energia, sua conservação em transformações em usinas e algumas equações relacionadas ao cálculo de algum tipo de energia, potência e eficiência. As menções desse tipo apresentaram uma convergência do que diz respeito à caracterização dos processos de transformação de energia como caminho para expor os impactos envolvidos. O vínculo entre o conhecimento científico e a dimensão socioambiental, portanto, se estabelece através de apontamentos sobre os tipos de impactos inerentes a diferentes tipos de processos de transformação. Em Silva e Carvalho (2002), esse vínculo é assim formulado:

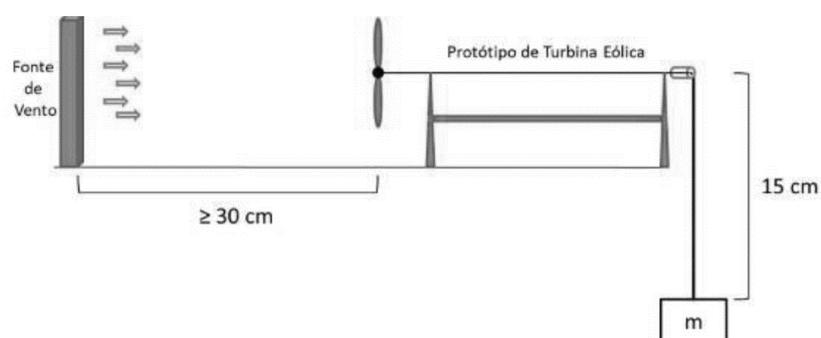
Para que possamos compreender quais são os processos de produção de energia elétrica menos prejudiciais aos meios naturais e humanos, precisamos

identificar os principais processos de transformação de uma fonte de energia primária em elétrica e, dentre estas fontes, quais são as que trazem menores impactos para os meios social e ambiental. (SILVA; CARVALHO, 2002, p. 345).

Desse modo, a ideia de conservação da energia é explorada para indicar os possíveis efeitos que a transformação de um tipo de energia em energia elétrica pode oferecer para o meio ambiente. De modo geral, as menções analisadas dividem os processos de transformação em três grandes grupos: a) transformação da energia cinética (através do deslocamento de grandes massas água e ar) em energia elétrica; b) transformação de energia solar em energia elétrica, através de células fotovoltaicas; e c) transformação de energia química (obtida através de combustão ou fissão de elementos radioativos) em energia elétrica.

Aspectos de caráter técnico, como o funcionamento de turbinas e dispositivos (como dínamos e painéis fotovoltaicos) também são apresentados nesse tipo de descrição. Um exemplo desse tipo é verificado em Lima Júnior, Silva e Loureiro (LIMA JÚNIOR; SILVA; LOUREIRO, 2019), que exploram o caso específico da transformação de energia em usinas eólicas, através da identificação de fatores que influenciam seu funcionamento, dos principais componentes que constituem esse tipo de usina e das equações da Física que podem ser utilizadas para discutir os aspectos quantitativos envolvidos. O objetivo dessa publicação é propor uma atividade experimental de construção de um protótipo que reproduz o funcionamento desse tipo de usina em pequena escala.

Figura 10 – Protótipo de usina eólica



Fonte: Júnior *et al.* (2019, p. 34).

As publicações desse tipo estabelecem um contraponto aos benefícios oferecidos pelos recursos energéticos, através de apontamentos que manifestam um caráter de

denúncia dessa atividade. A intenção é apontar problemas e impasses que não podem ser captados pelo consumidor final, como descrito no fragmento a seguir:

Vários setores organizados da sociedade têm chamado a atenção para os diferentes níveis de alterações que as organizações humanas impõem aos sistemas naturais como um todo e para os impactos, muitas vezes irreversíveis, que essas alterações podem provocar aos sistemas naturais. Dentre estas interferências, destacamos aquelas diretamente relacionadas com a produção de energia elétrica em larga escala (...). Os benefícios da produção da energia elétrica são facilmente reconhecidos pela população, enquanto os diferentes impactos ambientais advindos da produção desta energia são dificilmente percebidos pelos diferentes grupos sociais. (LIMA JÚNIOR; SILVA; LOUREIRO, 2019, p. 342).

Desse modo, apesar de pequenas variações quanto à forma como o tema geração de energia elétrica é abordado nos textos, as menções que retratam a produção de energia em larga escala compartilham o enfoque nos problemas socioambientais inerentes às transformações de energia ou na implementação de usinas. Reunimos as principais informações sobre os danos provocados pelo funcionamento e implementação de cada tipo de usina de energia tratado nos textos e apresentamos no Quadro 5.

Quadro 5 - Principais problemas ambientais decorrentes da exploração de energia em larga escala

Tipo de usina	Danos socioambientais
Hidrelétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos à fauna e flora locais. • Interferência no ecossistema aquático. • Deslocamento de populações ribeirinhas e prejuízos culturais. • Emissão de metano (gás estufa) oriundo da decomposição de material orgânico.
Termelétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Emissão de poluentes que agravam o aquecimento global, a chuva ácida e a precipitação de metais pesados. • Impactos relacionados à extração de matéria-prima para funcionamento.
Nuclear	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de acidentes relacionados ao funcionamento e de decomposição dos resíduos radioativos. • Impactos na microflora e microfauna.
Eólica / Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da paisagem e dos padrões de uso do solo. • Impactos relacionados à extração de matéria-prima para fabricação de componentes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A contradição entre os benefícios e prejuízos inerentes à exploração de energia elétrica é acompanhada de duas perspectivas de análise da relação entre sociedade e energia. A primeira, e mais preponderante dentre as menções analisadas, propõe lidar com essa contradição a partir de escolhas de matrizes energéticas que ofereçam menos

impactos ao meio ambiente. Isto é, o foco é indicar que essa contradição pode ser resolvida através do uso de fontes de energia alternativas, o que é compreendido como uma medida que contribui para o desenvolvimento sustentável, garantindo uma produção contínua, limpa e sem riscos de colapso (LIMA JÚNIOR *et al.*, 2018, p. 234). O potencial brasileiro para explorar energias compreendidas como limpas (como eólica e solar) é reconhecido nesse tipo de perspectiva (LIMA JÚNIOR *et al.*, 2018; LIMA JÚNIOR; SILVA; LOUREIRO, 2019; SILVA; CARVALHO, 2002).

A segunda perspectiva leva o foco da análise para a sociedade e sua relação com o consumo, a partir de ponderações sobre a elevada demanda por energia elétrica e sua relação com o crescimento econômico. O foco para lidar com essa contradição, portanto, volta-se para os motivos que levam ao atual padrão de consumo de energia pela sociedade. Poucos exemplos dessa perspectiva foram verificados nos textos. Em Lima Júnior, Silva e Loureiro (2019), essa perspectiva é evidenciada na compreensão de que, “na busca desenfreada pelo crescimento econômico, muitas vezes, os países fazem o planejamento da matriz energética sem se importar tanto com as limitações dos recursos, da mesma maneira com as consequências ambientais que possam surgir” (LIMA JÚNIOR; SILVA; LOUREIRO, 2019, p. 32). Ponderação semelhante é observada em Silva e Carvalho (2002), que indicam que os valores que sustentam o padrão de desenvolvimento hegemônico na sociedade “dão exagerada ênfase ao aspecto do crescimento econômico, sem considerar que a exploração descontrolada dos recursos naturais implica grandes prejuízos ambientais e humanos” (SILVA; CARVALHO, 2002, p. 345). Os autores afirmam que, para os padrões brasileiros, o crescimento de 1% no produto interno bruto (PIB) representa, em média, um crescimento de 30% no consumo de energia.

A primeira perspectiva se sobressai em relação às outras, sendo mais frequente e mais bem fundamentada a partir do conhecimento científico. Embora os textos utilizem o termo “sustentabilidade”, eles não apresentam algum tipo de definição operacional.

4.3.1.2 Energia em contextos locais e individuais

Os textos que descrevem contextos locais e individuais parecem privilegiar proposições que informam sobre o consumo de energia em situações e dispositivos cotidianos. O objetivo dessas proposições demonstra ser sensibilizar as pessoas a desenvolverem condutas voltadas para a redução do consumo. Desse modo, são centrais, nessas menções, a exposição das quantidades de energias envolvidas nessas instâncias e

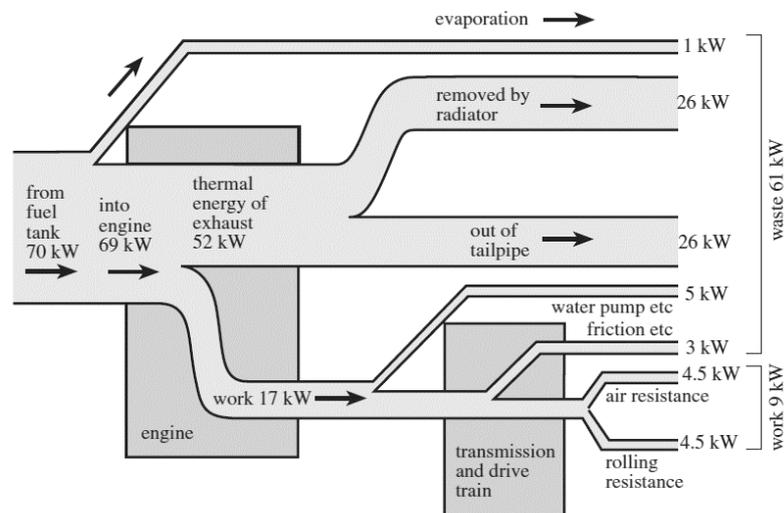
a reflexão em torno de como otimizar o consumo. Essa perspectiva foi constada em seis textos que abordam a sustentabilidade (BALDOW *et al.*, 2018; ENGSTRÖM; GUSTAFSSON; NIEDDERER, 2011; HOBSON, 2001; LINDSTROM; MIDDLECAMP, 2018; MONTALBANO, 2006; PERKINS *et al.*, 2014).

Para esses casos, a sustentabilidade se traduz como um critério para promover a percepção dos fluxos de energia em escala local e individual, o que se assemelha com o que foi verificado para larga escala, bem como para levar à reflexão sobre a ecoeficiência energética dos processos.

A menor utilização de tópicos específicos de Física também é uma tendência observada nas perspectivas que abordam o contexto local e individual. Os conceitos de energia, potência e rendimento são os elementos mobilizados para representar os fluxos de energia e tratar a noção de consumo. Esses conceitos são evocados para contrastar quantidades de energia utilizadas e desperdiçadas no funcionamento de dispositivos como motores, lâmpadas, sistemas de aquecimento, preparo de alimentos, entre outros. O modo como esses conceitos são explorados é muito semelhante ao uso tradicional no ensino de Física em assuntos como conservação da energia e termodinâmica. A seguir, apresentamos alguns exemplos de descrições que exemplificam esse tipo de tratamento.

A dimensão energética vinculada à mobilidade urbana e ao transporte de cargas é abordada em Hobson (2003), que assume a relevância socioambiental do tema em função do elevado consumo de energia envolvido, assim como do elevado impacto ao meio ambiente. O autor utiliza conceitos de potência e rendimento para problematizar a baixa eficiência energética do modelo de transporte, que privilegia o uso de veículos individuais e de baixo rendimento – como o caso de carros movidos por motores de combustão. O esquema representado na Figura 11 exemplifica esse tipo de abordagem.

Figura 11 - Fluxos de energia típicos de um veículo movido com motor de combustão



Fonte: Hobson (2003, p. 112).

O baixo rendimento do motor a combustão é representado através da comparação das parcelas rotuladas como *work* – fração da energia introduzida no motor que é convertida em trabalho útil – e *waste* – fração da energia que não é utilizada na forma de trabalho. A comparação entre essas parcelas indica que apenas uma pequena fração da energia total fornecida pelo combustível é, de fato, destinada à locomoção.

Esse tipo tratamento sobre funcionamento e rendimento dos motores a combustão é um tema típico de livros e materiais destinados ao ensino de Física. No entanto, a abordagem apresentada se diferencia por buscar avaliar, ainda que parcialmente, a eficiência do sistema de transporte. Isto é, leva-se em consideração que o propósito dos veículos é transportar pessoas e cargas através das vias e, desse modo, o recorte sobre o funcionamento do motor é ampliado para envolver outras características dos meios de transporte – como o número de passageiros transportados e a autonomia do veículo. Essa lógica é apontada pelo autor como uma forma de conferir à noção de eficiência um caráter socialmente mais apropriado, conforme explicado no fragmento a seguir:

Mantendo a noção geral de que a eficiência de um dispositivo representa a divisão entre a energia útil obtida do dispositivo e a energia total inserida para sua operação, nós definimos a “eficiência no transporte de passageiros” como a divisão entre o número de passageiros-quilômetros (número de passageiros multiplicado por quilômetros percorrido) por megajoule (MJ) de energia consumido. Esta definição nos permite comparar meios de transporte (HOBSON, 2003, p. 112, tradução nossa).

A partir dessa definição, a eficiência para meios de transporte é avaliada, indicando, por exemplo, a vantagem energética que o transporte ferroviário oferece em relação aos meios viários, bem como a de veículos coletivos em detrimento ao transporte individual. Essa abordagem, portanto, opera como uma justificativa para (re)pensar a mobilidade nos grandes centros urbanos, pautada no argumento da eficiência energética.

Outra variação desse tipo de estratégia, com o foco em quantificar a eficiência energética de dispositivos do cotidiano, também aparece em Lindstrom e Middlecamp (2018). A intenção das autoras é “reconhecer as contribuições que a Física pode proporcionar ao ensino e aprendizado da sustentabilidade” (LINDSTROM; MIDDLECAMP, 2018, p. 240), através do exame do consumo de eletricidade por dispositivos que integram o cotidiano de uma comunidade escolar. Os autores apresentam vários exemplos dessa iniciativa. A seguir, reproduzimos um desses exemplos, que consiste em uma montagem experimental para examinar o consumo de energia do sistema de iluminação.

Figura 12 – Atividade experimental para verificar a eficiência de lâmpadas



Fonte: (LINDSTROM; MIDDLECAMP, 2018, p. 241).

O experimento consiste no acionamento dos pedais de uma bicicleta, fixada no solo e equipada com um dínamo. Circuitos com diferentes tipos de lâmpadas podem ser ligados a partir do acionamento dos pedais. Quanto mais eficiente for o tipo de lâmpada, maior quantidade de lâmpadas é acesa pela energia disponibilizada ao pedalar. Os autores descrevem que a escolha dos modelos de lâmpadas presentes no experimento pautou-se no cotidiano dos estudantes (presença delas na escola e lares) e, assim, a intenção da montagem é estimulá-los a optar por modelos mais eficientes. Outras estratégias semelhantes são comunicadas pelos autores como forma de examinar o consumo e a eficiência de outros dispositivos comuns no ambiente escolar.

Exemplos como o apresentado nesta seção, com o foco nos fluxos de energia envolvidos em situações cotidianas e no exame do consumo, destacaram-se pela frequência na amostra, sendo também verificados no *corpus* através de temas relacionados aos processos de preparo de alimentos (MONTALBANO, 2006), reciclagem e reutilização de resíduos (BALDOW *et al.*, 2018) e fontes alternativas de energia (ENGSTRÖM; GUSTAFSSON; NIEDDERER, 2011; PERKINS *et al.*, 2014).

Assim como verificado na seção anterior, não foram encontradas definições para o termo sustentabilidade. A análise das descrições sugere que a sustentabilidade se traduz na otimização do uso de energia pelos consumidores finais, o que é apontado como uma prática que oferece benefícios por reduzir os impactos no meio e, principalmente, por contextualizar as ideias da Física e tornar o ensino mais atrativo e significativo para os estudantes. As passagens a seguir exemplificam esse tipo de justificativa.

O objetivo de introduzir a sustentabilidade usando uma visão científica deve ser uma questão primária na educação. Além disso, a motivação e o interesse podem facilitar o processo de aprendizagem, aumentando o envolvimento do aluno tanto em laboratório e discussões em aula. (MONTALBANO, 2006, p. 1221, tradução nossa).

Integrar a sustentabilidade no currículo de Física oferece oportunidades para inspirar os alunos e levá-los a apreciar como os conceitos que eles encontram na Física se conectam para suas próprias vidas (LINDSTROM; MIDDLECAMP, 2018, p. 242, tradução nossa).

Passagens que relacionam a sustentabilidade à redução dos impactos ao meio foram menos recorrentes. As ocorrências desse tipo destacam o vínculo entre a economia de energia e o aquecimento global, a partir de apontamentos de que processos mais eficientes reduzem as emissões de CO₂ na atmosfera, visto que parte considerável de energia elétrica é disponibilizada aos consumidores por usinas que utilizam combustíveis fósseis (ENGSTRÖM; GUSTAFSSON; NIEDDERER, 2011; LINDSTROM; MIDDLECAMP, 2018; PERKINS *et al.*, 2014). É importante destacar que, nesses contextos, verifica-se uma relação entre desenvolvimento tecnológico e otimização do consumo de energia. A seguinte passagem sintetiza essa ideia:

Por um lado, a sociedade precisa se afastar das tecnologias de energia que ameaçam o meio ambiente. Por outro, mudar essas tecnologias envolve escolhas difíceis e possíveis perigos. A humanidade pode estar condenada a grandes sofrimentos, por exemplo, pelas mudanças climáticas caso não haja investimento em mudanças nas tecnologias energéticas (...). Os cidadãos e líderes precisam aumentar a compreensão sobre energia como caminho para se resolver o dilema em torno das mudanças tecnológicas, políticas e de comportamento. Novas tecnologias e políticas podem mudar tanto a oferta quanto a demanda de energia; o desafio está em apreender os recursos e

ferramentas para se estabelecer um modelo energético seguro, e sustentável. (PERKINS *et al.*, 2014, p. 355, tradução nossa).

Desse modo, o *corpus* oferece uma perspectiva de que a contradição entre os benefícios e impactos da utilização dos recursos energéticos pode ser amenizada a partir de escolhas tecnologicamente mais eficientes; que contribuem para reduzir a demanda por energia e, por sua vez, reduzem os impactos no meio. Somente em um texto foi verificado um tipo de reflexão que se diferencia das demais, por questionar as razões que levam à alta demanda de energia pela sociedade (BALDOW *et al.*, 2018). Os autores citam a correlação entre o modelo de desenvolvimento econômico baseado no incentivo ao consumo e o acelerado ritmo de exploração dos recursos naturais.

Por fim, destacamos que a noção clássica de desenvolvimento sustentável é citada em três das seis publicações que abordam o contexto local e individual, como forma de expor o núcleo de referências que orientam a formulação dos trabalhos, o que é verificado em passagens como as exemplificadas a seguir:

Se a educação para o desenvolvimento sustentável é aplicada no ensino de Física, a Física pode ser enfatizada como uma base geral para o desenvolvimento sustentável. Seu conteúdo pode contribuir de questões relacionadas à energia (...) (ENGSTRÖM; GUSTAFSSON; NIEDDERER, 2011, p. 1284).

Neste sentido, esse conceito [sustentabilidade] passou a ser discutido também na área da política e da economia sustentando uma ideia de desenvolvimento sustentável aliado ao desenvolvimento econômico de forma a atribuir às atitudes dos cidadãos do presente a responsabilidade do que vai acontecer no futuro. (BALDOW *et al.*, 2018, p. 156).

Em um mundo que busca soluções para seus desafios energéticos e ambientais, o desenvolvimento sustentável tornou-se uma das prioridades emergentes. O objetivo de introduzir a sustentabilidade usando uma visão científica deve ser uma questão primária na educação. (MONTALBANO, 2006, p. 1123).

O termo sustentável também foi utilizado para se referir à “sociedade sustentável” (PERKINS *et al.*, 2014) e “futuro sustentável” (LINDSTROM; MIDDLECAMP, 2018). Embora sejam expressões diferentes, elas foram utilizadas para se referir à lógica de otimização do uso de energia e redução dos impactos ambientais.

4.3.2 Sustentabilidade em seu enfoque ambiental

A análise dos dados que compõem a categoria apresentada na seção anterior revelou um tipo de enfoque que privilegia a veiculação de informações sobre a exploração de energia em larga escala e seus impactos no ambiente e o delineamento de possíveis

práticas relacionadas à ecoeficiência dos processos. Essas características sugerem um sentido para a sustentabilidade voltado para a dimensão social, que consiste na análise da dimensão energética de processos construídos pela sociedade como caminho para desenvolver uma espécie de uso racional da energia, focado em otimizar o consumo e minimizar danos.

Os dois textos enquadrados na presente categoria diferenciam-se por promoverem reflexões que vinculam a ideia de sustentabilidade à análise de características biofísicas do meio natural (BARBOSA; MARQUES, 2015; WALL, 2013). Essa perspectiva propõe que o foco de análise seja deslocado dos processos construídos pela sociedade para a dimensão ambiental (natural); para a base energética oferecida pela natureza, que oferece sustentação aos processos de exploração e uso de energia pela sociedade. Isso é feito através de apontamentos sobre a degradação da energia e sobre como ela se torna disponível na natureza.

Esse tipo de perspectiva, portanto, diferencia-se do que foi apresentado na categoria anterior, na medida em que propõe que o vínculo entre conhecimento científico e sustentabilidade deve considerar o estágio anterior à discussão de questões sobre redução no consumo de energia ou melhores formas de explorá-la. Nesse contexto, o conceito de entropia é o elemento mediador entre o conhecimento científico e a discussão sobre sustentabilidade, sendo utilizado para caracterizar a sociedade como um mecanismo que transforma energia utilizável em não utilizável (degradação da energia), assim como indicar o papel da natureza para tornar a energia disponível.

Existem diferentes formas de enunciar o conceito de entropia, que podem variar conforme o domínio do conhecimento em que é retratado. De modo geral, esse conceito se associa a diferentes questões, como a irreversibilidade dos processos, a tendência para configurações mais desordenadas em um sistema composto de muitos elementos, a impossibilidade do calor fluir de um corpo frio para um corpo quente, a limitação do rendimento de máquinas térmicas, entre outras (COVOLAN; SILVA, 2005; GREGIO, 2016; SANTOS, 2009). Apesar da grande abrangência desse conceito, no âmbito dos textos analisados, ele é interpretado para se referir à indisponibilidade da energia. Isto é, o princípio da conservação estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, sendo sempre conservada. A segunda lei da termodinâmica acrescenta a essa noção a ideia de que a energia pode assumir formas menos úteis (de menor qualidade) para a realização de trabalho e, nos diversos processos naturais dos quais ela participa, a energia

de alta qualidade (também identificada como exergia⁹) tende a se transformar em energia de qualidade mais baixa (FREEDMAN, 2008; HEWITT, 2002). Nesse sentido, os textos associam a entropia à indisponibilidade de energia, isto é, a uma forma em que a energia não oferece condições para realizar trabalho. A seguir, apresentamos alguns exemplos de como essa perspectiva aparece nos textos.

Em Barbosa e Marques (2015), o conceito de entropia é aplicado à discussão sobre produção-consumo (produção de bens pela sociedade e seu respectivo consumo) e se coloca como um critério para examinar o pensamento econômico e a noção clássica de desenvolvimento sustentável. Para formular suas considerações, a autora e o autor pautam-se nas ideias de Georgescu-Roegen – cientista reconhecido por considerar a entropia em estudos da Economia.

(...) o pensamento econômico não pode continuar embasado no dogma mecanicista oriundo da Física que torna o processo econômico um diagrama circular que encerra o movimento de vai e vem entre a produção e o consumo num sistema totalmente fechado, isto é, isolado da fonte/base biofísica que sustenta esse processo: a natureza. Quando a economia busca se embasar neste modelo, fica a crença de reversibilidade dos processos, isto é, se alguns acontecimentos modificam a estrutura da oferta e da procura, uma vez que esses acontecimentos desaparecem, o mundo econômico sempre retorna às condições iniciais. Entretanto, nos processos para produção de bens de consumo, esta reversibilidade é impossível. (...) a matéria-energia absorvida pelo processo econômico ocorre num estado de baixa entropia e retorna num estado de alta entropia. (BARBOSA; MARQUES, 2015, p. 1127).

A intenção dos autores é indicar que a entropia também se vincula aos processos econômicos e, assim sendo, a condição de irreversibilidade leva à lógica de que, com o passar dos tempos, os estoques energéticos e materiais se reduzem (BARBOSA; MARQUES, 2015). Os autores utilizam a noção de irreversibilidade e finitude dos recursos como critérios para examinar a noção clássica de desenvolvimento sustentável. Esse exame fundamenta-se na ideia de que, sendo os recursos finitos e irreversíveis, o principal critério para pensar um caminho sustentável para a sociedade deveria ser o ambiente. Isto é, torna-se necessário compreender os reais limites impostos pelo meio natural, para, assim, traçar um planejamento coerente para o desenvolvimento. Os autores indicam que esse tipo de exame tornou-se pertinente, visto que os modelos econômicos vigentes na atualidade foram apontados como negligentes, por desconsiderarem a

⁹ É comum, nos textos analisados, a utilização do termo exergia para se referir à forma de energia com qualidade para realizar trabalho. Desse modo, apesar da energia sempre se conservar, a exergia se reduz nos processos de transformação.

irreversibilidade que caracteriza a base biofísica, o que torna o discurso de desenvolvimento sustentável questionável.

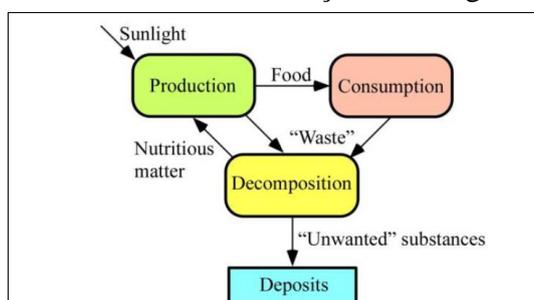
A maior parte das menções relacionadas a conceitos físicos destaca a falta de vínculo entre o modelo econômico que se alia ao discurso clássico de desenvolvimento sustentável e os possíveis limites energéticos que o ambiente oferece. Argumenta-se que esse modelo é regido prioritariamente por uma dinâmica entre produção e consumo – marcada pelo incentivo ao consumo – que se encontra isolada da base biofísica (a natureza), como exemplificado a seguir.

Acredita-se que a crise ambiental que vivenciamos (...) somente poderá ser resolvida pelo enfrentamento político das desigualdades e da injustiça socioambiental, a partir da articulação das diversas dimensões da sustentabilidade, e a problematização das contradições dos modelos de desenvolvimento e de sociedade que experimentamos. Perspectivas estas que, portanto, se colocam no campo da crítica política ao conceito de Desenvolvimento Sustentável formulado pelo Relatório Brundtland. Todavia, o que não transparece nessa crítica é uma base analítico-conceitual fundada em aspectos físico-químicos do ambiente; isto é, dos limites biofísicos que constituem a base natural onde se realizam as condições de vida. É justamente sobre estes aspectos que buscamos explorar nesse ensaio e, para tanto, acrescenta-se uma outra dimensão, por vezes esquecida ou ignorada, que faz referência aos postulados termodinâmicos – particularmente o da Segunda Lei, que trata da Entropia. (BARBOSA; MARQUES, 2015, p. 1126).

A ausência de vínculos entre a dinâmica produção-consumo e a base biofísica que a sustenta é, portanto, apontada como uma instância que conduz a uma imagem distorcida da ideia de desenvolvimento, uma vez que oculta a degradação energética e, por consequência, os possíveis limites (entrópicos) oferecidos pela natureza.

O segundo trabalho enquadrado nessa categoria (WALL, 2013) oferece à discussão uma visão complementar, por considerar não apenas a degradação, mas também a análise sobre como a energia utilizável se torna disponível na natureza. Isso permite ao autor contrastar o comportamento energético da natureza e da sociedade, bem como o ritmo com que a energia utilizável é degradada e disponibilizada. O autor situa o papel do Sol na manutenção dos fluxos de energia utilizável através do planeta. A Figura 13 representa esse processo.

Figura 13 – Natureza e circulação de energia e matéria

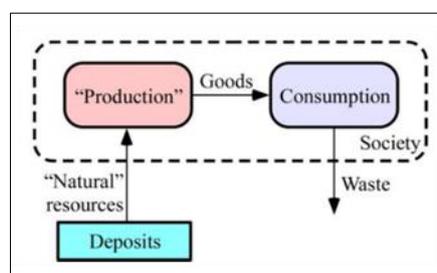


Fonte: (WALL, 2013, p. 29).

A Figura 13 representa, de modo simplificado, um tipo de processo que disponibiliza energia utilizável na natureza. Parte da energia emanada pelo Sol é estocada na forma de biomassa, através da fotossíntese (*Production*). Essa energia é transferida através dos níveis tróficos (*Consumption*), que caracterizam as cadeias alimentares nos ecossistemas, até alcançar os organismos decompositores (*Decomposition*). Nessa representação simplificada, a natureza opera como um mecanismo capaz de capturar e fixar certas substâncias em depósitos minerais (*Deposits*) na crosta terrestre, de modo que uma fração da energia do Sol é armazenada e contribui com o aumento da energia utilizável na Terra. A natureza, portanto, consegue disponibilizar energia utilizável no planeta, a partir do aumento de entropia no Sol.

O autor indica que a sociedade opera de forma bem diferente e pode ser entendida como uma grande máquina que transforma energia utilizável em não utilizável. A Figura 14 exemplifica essa dinâmica

Figura 14 – Sociedade e circulação de energia e matéria



Fonte: (WALL, 2013, p. 29).

A sociedade se desenvolve através do uso dos recursos (*Deposits*), em um sentido oposto ao da natureza. Recursos naturais (como combustíveis fósseis, metais e outras formas de matéria-prima) são utilizados em processos de produção (“*Production*”) e transformados em bens (*Goods*). Após a vida útil, os bens são espalhados pela natureza – assim como os resíduos utilizados no processo de produção. Muitos desses bens não conseguem ser (re)incorporados à natureza ou demandam um tempo muito longo para isso – o ritmo de produção normalmente supera o tempo de incorporação, o que leva a problemas como a poluição.

Considerando essa ótica, a sustentabilidade é pensada através do balanço energético entre energia utilizável e energia não utilizável, bem como da geração de

resíduos advindos da degradação da energia pela sociedade. A passagem a seguir exemplifica essa perspectiva:

A maior parte da demanda energética da sociedade é atendida pela utilização dos estoques de energia utilizável oferecida pela natureza. Apenas uma pequena parte da energia solar Sol é usada diretamente (...). A sociedade propõe uma perda contínua de energia utilizável da Terra. Desde que os níveis sejam mantidos estáveis, ou seja, a saída de recursos não exceda a entrada promovida pelo Sol e os processos biológicos, então temos uma situação sustentável. No entanto, se o nível está caindo, ou seja, o estoque de exergia está se esgotando, então temos uma situação insustentável (...). (WALL, 2013, p. 29, tradução nossa).

Assim como em Barbosa e Marques (2015), o autor também tece críticas à noção clássica de desenvolvimento sustentável, apontada como um modelo econômico que não tem se revelado adequado para lidar com os problemas ambientais:

O desenvolvimento sustentável não deve se tornar um mantra usado como desculpa e justificativa para sustentar o crescimento econômico às custas do sofrimento humano contínuo e da destruição ambiental. Assim, deve incorporar uma noção explícita e bem fundamentada da capacidade de suporte do globo e uma consciência das consequências de superá-la. No entanto, desde que o relatório Brundtland foi apresentado, o esgotamento dos recursos e a destruição do meio ambiente apenas prosseguiram e pioraram. (WALL, 2013, p. 37, tradução nossa).

Em suma, os trechos que compuseram o *corpus* indicam que o tratamento da questão da sustentabilidade exige o reconhecimento de características biofísicas que possibilitam a existência da sociedade; além de ressaltarem a importância de se pautar a lógica de gestão dos recursos e de redução do consumo, através da análise da dinâmica de como a energia é degradada e disponibilizada na natureza. Essa perspectiva subsidia a crítica ao desenvolvimento sustentável ou a qualquer outro modelo que considere o crescimento econômico sem levar em consideração os limites biofísicos do planeta. Analisado desse ponto de vista, qualquer noção de sustentabilidade que tenha como objetivo prolongar a continuidade da espécie humana sem levar em consideração os aspectos biofísicos é apontada como algo contraditório.

4.3.3 Síntese e discussão sobre a relação entre Física, sustentabilidade e leitura da realidade ambiental

A análise que realizamos indicou que as autoras e autores pouco falam da forma como compreendem o conceito de sustentabilidade. A noção de sustentabilidade parece

ser empregada como integrante de uma linguagem comum; como se, por si só, conseguisse comunicar o sentido de seu uso. Embora o termo “desenvolvimento sustentável” seja reconhecido, na maioria dos textos, como uma espécie de parâmetro que justifica os estudos, o seu uso não comunica o que os autores e autoras compreendem por sustentabilidade. Além disso, verificamos que o próprio termo aparece, em alguns textos, sem algum tipo de declaração que o explicita – sem necessariamente estar vinculado à definição proposta pelo relatório de Brudtland. Nesse sentido, acreditamos que nossa análise contribuiu para indicar pistas sobre como o conceito de sustentabilidade é traduzido pelo contexto investigado.

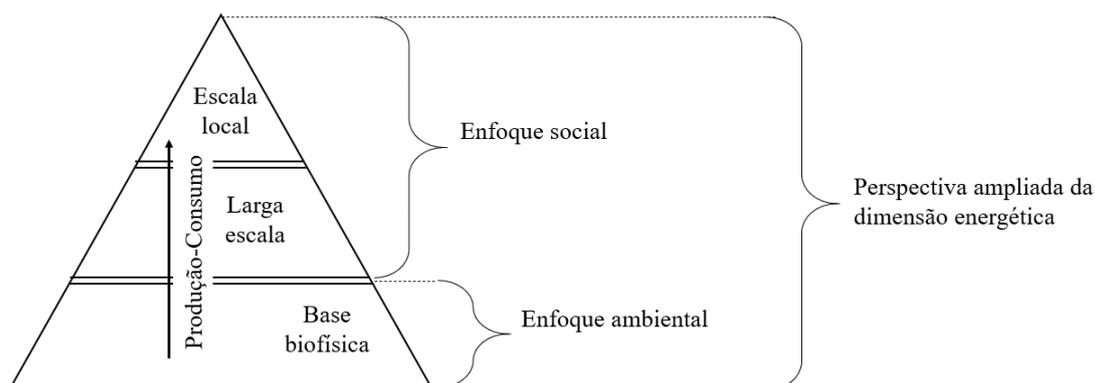
A estratégia metodológica que propusemos permitiu observar que, nos textos analisados, a sustentabilidade é vinculada a dois tipos de processos, o que pode indicar que ela é significada de duas formas distintas. Na primeira forma, a sustentabilidade se coloca como um critério para desenvolver uma espécie de uso racional da energia, que consiste basicamente na otimização do consumo – principalmente através de escolhas mais eficientes – e no estabelecimento de formas de exploração que ofereçam menos danos ao meio. As ideias da Física oferecem a esse contexto um suporte para indicar quantidades de energias envolvidas em situações cotidianas e para caracterizar os processos de geração. Essas ideias são mobilizadas como uma forma de indicar que esse uso racional é possível na sociedade: elas ilustram processos de redução do consumo de energia, assim como as possibilidades que os avanços tecnológicos oferecem para explorar esse recurso em circunstâncias menos agressivas ao meio. Essa forma de pensar a sustentabilidade é predominante no *corpus* e se expressa em 10 dos 12 textos analisados.

A segunda forma de significação parte da noção de degradação da energia para indicar a necessidade de (re)orientar os processos de produção-consumo na sociedade. Desse modo, o balanço entre energia utilizável e não utilizável é apontado como um critério para pensar o desenvolvimento da sociedade, assim como para julgar a incoerência do discurso clássico de desenvolvimento sustentável – apontado pelos autores como um discurso que materializa processos econômicos ineficazes para frear os problemas ambientais que decorrem da exploração dos recursos. Esse tipo de abordagem é minoritário no *corpus* e foi observado em apenas dois textos.

Para discutir a leitura da realidade ambiental no *corpus*, consideramos que essas formas de tratamento dadas à sustentabilidade conduzem a duas perspectivas que permitem objetivar a dimensão energética inerente à relação entre sociedade e natureza. Em ambas as formas, a gestão dos recursos é o ponto central, no entanto elas se

diferenciam pela parte dessa relação que é focalizada: a primeira, tem seu foco dirigido à sociedade (produção de energia em larga escala e utilização em escala local), enquanto a segunda se volta para a natureza (degradação/disponibilização da energia). A dinâmica produção-consumo parece ser tratada como um possível elo entre essas partes. A Figura 15 ilustra os principais elementos da dimensão energética identificados no *corpus*.

Figura 15 – Representação da dimensão energética retratada no *corpus*



Fonte: Elaborada pelo autor.

A categoria **sustentabilidade em seu enfoque social** caracteriza processos localizados no meio e no topo da estrutura representada na Figura 15, enquanto a categoria **sustentabilidade em seu enfoque ambiental** caracteriza aspectos da base (biofísica). A dinâmica produção-consumo se associa ao ritmo com que os recursos são explorados e perpassa as três partes da estrutura e, portanto, foi representada como um possível elo entre elas. Tomamos a análise de características de cada parte dessa estrutura como forma de inferir sobre a leitura da realidade ambiental que elas podem orientar.

Partindo da noção de que a transição entre os estados “intransitivo → transitivo ingênuo → crítico” pode ser pensada como uma espécie de afastamento do objeto de conhecimento, em um sentido que favorece uma percepção mais ampla, podemos considerar que o tratamento da sustentabilidade oferecido pelo enfoque social remete a leituras transitivas da realidade ambiental. A forma como o conceito de energia foi apresentado e as relações estabelecidas conferem a ele uma perspectiva de prática social, o que significa que não se trata de um conceito definido apenas em termos científicos, mas que pode ser compreendido como parte indissociável das ações humanas no mundo contemporâneo. Os textos, portanto, remetem a leituras da realidade que identificam aspectos contraditórios dessa prática social, principalmente os impactos no meio socioambiental decorrentes da exploração e uso dos recursos energéticos.

As abordagens em torno da exploração de energia em larga escala estabelecem um conjunto de apontamentos sobre aspectos problemáticos dessa atividade, normalmente ocultos para o consumidor final. Esses apontamentos revelam os dilemas em torno de cada tipo de usina de geração. As abordagens sobre o uso de energia em escala local complementam a identificação desses aspectos problemáticos, na medida em que ilustram processos que podem ser energeticamente mais eficientes, o que é encarado como uma forma de amenizar os impactos da exploração de energia.

Desse modo, é possível assumir que esse tipo de enfoque social para a sustentabilidade denota leituras transitivas, uma vez que elas conduzem a interpretações que permitem avaliar a relação sociedade e natureza. Porém, nos parece ser coerente tratar essas leituras como transitivas ingênuas por oferecerem uma interpretação superficial para essa relação, o que procuramos descrever nos próximos parágrafos.

A ênfase na análise de situações que abordam a redução do consumo de energia e o papel da tecnologia nesse processo é um exemplo desse tipo de interpretação para a relação sociedade-natureza que acreditamos denotar leituras transitivas ingênuas. Apesar da relevância desse tipo de abordagem para a educação em Ciências no Brasil (BRASIL, 2015, 2018) e de seu potencial para aproximar os conceitos científicos do cotidiano das pessoas, os textos em que se verificam esse tipo de abordagem mobilizam o conhecimento científico como uma forma de atestar que é possível reduzir o consumo, no entanto a discussão sobre as razões desse tipo de posicionamento é pouco explorada. Predominam, nos textos, justificativas para esse tipo de abordagem pautadas no seu papel motivador no ensino de Ciências. Os efeitos benéficos ao meio ambiente são pouco discutidos e se limitam a apontamentos sobre a redução nas emissões de CO₂.

Além disso, essas abordagens são tratadas no *corpus* de um modo predominante isolado – quase restrito aos aspectos científicos e tecnológicos localizados no topo da estrutura representada na Figura 15. Desse modo, acreditamos que essas perspectivas podem, por um lado, conscientizar as pessoas sobre o uso racional de energia – o que é importante para reduzir os impactos ambientais da exploração desse recurso – e, por outro lado, podem reforçar posturas conformistas ou leituras reducionistas frente ao quadro de problemática ambiental. A ênfase na articulação entre Ciência e Tecnologia para lidar com a questão da ecoeficiência nos parece incentivar um senso de otimismo tecnológico e de salvação pela Ciência, o que pode reforçar esse tipo de postura conformista.

Desde a geração da energia até sua utilização final, as discussões analisadas parecem depositar esperança para mitigar os problemas socioambientais a partir do

desenvolvimento de tecnologias mais eficientes. De fato, Ciência e Tecnologia são áreas com mérito inegável em solucionar questões que degradam a vida humana e não humana e são fundamentais na proposição de alternativas para atender a demanda social por energia. No entanto, o que estamos indicando é o fato de que, nos textos, o potencial da Ciência e da Tecnologia para amenizar as questões ambientais que decorrem da exploração e do uso da energia é descrito sem nenhum tipo de contraponto que aprofunde a discussão sobre as limitações de eliminar os problemas inerentes à cadeia produtiva do setor energético. Por exemplo, o incentivo às tecnologias reconhecidas como “ecologicamente limpas” na geração de energia exige rever a matriz energética, o que, por sua vez, pode implicar em novas formas de degradação ambiental e conflitos sociais relacionados com a extração de matéria-prima – destinada à construção de placas fotovoltaicas e baterias, assim como impactos relacionados à tendência à monocultura para uso de biomassa.

Acreditamos que a ênfase no papel da Ciência e da Tecnologia na condução dessa problemática deve ser realizada com cautela, a fim de não reforçar leituras antropocêntricas para a realidade ambiental. A forma como isso é feito pode atribuir a esses campos do conhecimento um caráter de domínio e controle de questões ligadas à natureza; denotando uma forma de pensar a natureza como algo que pode sempre oferecer suporte à sociedade e que os percalços podem ser superados através da racionalidade científica.

É importante ressaltar que a relação entre melhoria na eficiência energética e redução na demanda por energia e nos impactos ambientais é um tema complexo debatido atualmente (SORRELL, 2015). Apesar das inovações tecnológicas, a demanda global por energia cresceu nos últimos 150 anos e as projeções futuras indicam a continuidade desse crescimento. O que parece estar implicado nessa relação é que o crescimento da demanda em função de políticas econômicas não consegue ser compensado pela redução no consumo (LABANCA; BERTOLDI, 2018; MENDES, 2014). Ao apontar esse tipo de limitação, não temos a intenção de desvalidar a importância de abordagens ao ensino de Física que discutam a sustentabilidade energética através de melhores condutas, escolhas mais eficientes e do papel da Tecnologia no sentido de oferecer formas de exploração menos agressivas ao meio. O que questionamos são os efeitos que o tipo de ênfase constatada no *corpus* pode oferecer para construir uma imagem muito simplificada da realidade, que negligência aspectos importantes dessa trama.

Foram observadas menções que buscam relacionar a elevada demanda de energia pela sociedade e a pauta do crescimento econômico. Esse tipo de relação complementa o debate sobre sustentabilidade energética. Afinal, ela aponta uma contradição fundamental em torno da temática, visto que o crescimento econômico é apontado como algo benéfico, apesar de fomentar um aumento na demanda geral por energia por todos os setores (REIS; SILVEIRA, 2000), o que intensifica os processos de degradação ambiental. Embora tenhamos observado essas menções, este tipo de discussão é muito pouco explorado nos textos. Acreditamos que essa reflexão é relevante para indicar a complexidade da questão energética e apontar que ela não se encerra em atitudes e comportamentos ligados à gestão dos recursos por parte do consumidor final ou a formas mais adequadas de exploração, mas mantém nexos com valores arraigados na nossa cultura.

Nesse contexto, as abordagens que levam em conta a análise da base biofísica oferecem potencial para discutir o impasse entre crescimento econômico e conflitos relacionados a exploração e uso de energia. Essa abordagem toma a entropia como um recurso para objetivar a noção de ritmo com que os recursos naturais são utilizados. Contudo, compreendemos ser inviável julgar a leitura oferecida por essa perspectiva em função dos poucos exemplos apresentados na amostra. O que nos parece é que a dinâmica dos fluxos de energia representada na Figura 15, aliada com a discussão sobre a relação produção e consumo, pode ser compreendida como complementar para construir uma perspectiva mais ampla para a sustentabilidade energética.

No próximo capítulo, conclusão, apresento as considerações finais e aponto possíveis implicações de nosso estudo para o campo de pesquisa e ensino de Física.

5 CONCLUSÃO

Apresentamos o relato de uma pesquisa centrada na análise de produções escritas que mantém diálogo com o campo da Educação em Ciências; literatura essa que se caracteriza por aproximar a temática ambiental e as ideias da Física. A pesquisa partiu do pressuposto de que esse tipo de produção integra um processo de ambientalização das práticas sociais e se configura como um espaço discursivo que (re)produz possibilidades de leituras para o universo do ambiental. Nesse contexto, as leituras para as problemáticas ambientais construídas com o auxílio das ideias da Física foram adotadas como objeto de interesse.

A partir do levantamento bibliográfico, um *corpus* de textos foi constituído. Ele se caracterizou pela presença de obras vinculadas a proposições pedagógicas reconhecidas no campo da Educação (como EA, ECTSA e a EDS). Recorremos à técnica de análise categorial para lidar com os textos e responder a quatro questões de pesquisa:

- a) Quais são as principais situações identificadas como problemáticas ambientais retratadas a partir das ideias da Física?
- b) Para as situações identificadas, quais motivações orientam a aproximação entre Física e o universo do ambiental?
- c) Como se caracterizam as leituras para a problemática do aquecimento global?
- d) Como a noção de sustentabilidade é significada no contexto investigado?

A concepção de Paulo Freire sobre os estados de consciência e os graus de abertura para apreender a realidade foi adaptada para nos orientar a caracterizar a leitura da realidade ambiental. Através dessa adaptação, a leitura das questões ambientais pelas autoras e autores no *corpus* pôde ser caracterizada de acordo com seu grau de abertura – das leituras mais fechadas, em que se privilegia o foco nos fenômenos naturais que constituem o meio, a formas de leitura mais abertas, que envolvem elementos de ordem natural e social, com a possibilidade de explicitar as inter-relações entre eles. Isso nos conduziu a adotar como parâmetro para a coleta dos dados não apenas os elementos do conhecimento científico, mas também as possíveis articulações que eles estabelecem como a instância socioambiental. Desse modo, a leitura dos textos foi orientada pela busca de ocorrências em que o conhecimento científico em Física participava da discussão de algum aspecto relacionado às questões do aquecimento global e da sustentabilidade. Além disso, também coletamos informações relacionadas à principal temática retratada nos textos e às razões dos autores para discutir as questões apresentadas. Esses parâmetros

nos auxiliaram na coleta dos dados. Uma vez coletados, eles foram submetidos à técnica de análise categorial.

No **mapeamento das interfaces entre a Física e a problemática ambiental**, constatamos uma baixa diversidade de temas socioambientais retratados no *corpus*, com o predomínio de abordagens voltadas para a questão da sustentabilidade e do aquecimento global. Abordagens a respeito de problemas relacionados a formas de poluição e reflexões sobre ética ambiental também foram constatadas, porém com frequência significativamente mais baixa.

Dentre os tópicos de Física mobilizados nessas abordagens, destacam-se conhecimentos tradicionais no currículo dessa disciplina para a educação básica, como noções de cosmologia e astronomia, eletromagnetismo, física térmica, trabalho e energia e entropia. Tópicos relacionados com estudos de sistemas complexos também foram constatados e se diferenciam dos demais pela falta de tradição no currículo escolar. Apesar de poucos trabalhos explorarem esse conteúdo, eles são indicados pelos autores como elementos com potencial para fomentar a construção de leituras mais amplas acerca dos problemas ambientais, visto que permitem representá-los de maneira dinâmica.

Um ponto que nos chamou a atenção durante o mapeamento das interfaces entre a Física e a problemática ambiental foi a presença de tópicos relacionados ao universo; o que observamos ser mais comum em reflexões sobre ética ambiental. Embora temas relacionados ao universo sejam comuns nos currículos e livros didáticos de Física, observamos que a forma como são explorados no *corpus* contrasta com o modo como são normalmente tratados no contexto da educação básica – principalmente em função do tipo de abordagem e da presença de elementos que normalmente não são contemplados nesse nível de ensino. No *corpus*, a mobilização de conhecimentos relativos ao universo é, algumas vezes, o caminho para situar a dimensão humana no panorama da evolução do universo e da Terra; e, assim, prezar pelo desenvolvimento de um senso de pertencimento, afetividade e responsabilidade com a natureza.

No contexto da educação básica, normalmente, esses assuntos são abordados através de enfoques que não estabelecem vínculos com a dimensão humana, privilegiando a apresentação de um conjunto de leis que descreve o movimento dos planetas e a interação gravitacional entre os astros. O vínculo entre conhecimentos sobre universo e aspectos ligados a moral e ética nos remeteu à noção que se tornou conhecida na obra de divulgação científica do cientista Carl Sagan (1996), que, em resumo, discorre sobre o papel da astronomia no estabelecimento de uma experiência capaz de ressignificar a visão

que as pessoas têm do mundo, uma vez que expõe a imagem de uma Terra frágil e infinitamente pequena na vastidão do universo. Essas características, de acordo com o autor, remetem à responsabilidade humana em preservar e proteger o planeta, o “pálido ponto azul, o único lar que conhecemos até hoje” (SAGAN, 1996, p. 10). Esse assunto não foi explorado com profundidade em nosso estudo, uma vez que integrou a etapa de mapeamento das interfaces entre Física e temas ambientais.

Sobre **as motivações que orientam a aproximação entre Física e temas ambientais**, verificamos o predomínio de razões vinculadas à dimensão do ensino, isto é, motivos que surgem de demandas diretamente relacionadas ao contexto da sala de aula. Esse tipo de motivação reflete, nos trabalhos analisados, a função de subsidiar a integração dos temas ambientais ao ensino de Física, o que é feito, principalmente, através da proposição de explicações para fenômenos envolvidos em questões ambientais úteis à prática docente.

As motivações vinculadas à dimensão do ensino também envolveram a caracterização de concepções de sujeitos, a avaliação de materiais didáticos e sequências de ensino, assim como sugestões de adequação dos currículos às orientações de documentos oficiais. As motivações vinculadas à dimensão socioambiental foram menos frequentes no *corpus*. Esse tipo de ocorrência trouxe reflexões sobre a ética ambiental, os impactos socioambientais decorrentes da exploração e do uso de recursos energéticos e temas vinculados à noção de sustentabilidade. Reiteramos que a divisão das motivações em dimensão de ensino e socioambiental justificou-se pelo tipo de análise que propusemos, no entanto elas possuem uma forte conexão e, na prática, parecem não operar de maneira isolada.

É importante destacar que a investigação em torno das motivações representou um ponto de frustração, em função de mudanças e adaptações que ocorreram ao longo da pesquisa. Nas fases iniciais do projeto, contávamos com a possibilidade de conduzir entrevistas com profissionais habituados a lidar com temas ambientais no contexto do ensino de Física. O objetivo dessa iniciativa seria analisar as motivações declaradas por esses profissionais e, a partir disso, analisar sua relação com, por exemplo, posturas mais intransitivas ou mais críticas perante o quadro de crise ambiental. Ao desconsiderar as entrevistas e optar pelo foco na produção escrita, percebemos que os dados eram limitados para um tipo de análise mais profunda. No entanto, mantivemos a estratégia como forma de captar pistas sobre a possível origem dessa aproximação. A distinção entre motivações e objetivos propostos não pôde ser realizada com tanta clareza, no entanto, consideramos

que, apesar dessa limitação, os resultados são válidos para complementar o mapeamento das interfaces entre Física e temas ambientais e revelar o tipo de pista que almejávamos.

As questões do **aquecimento global e da sustentabilidade** foram investigadas com mais profundidade. Conseguimos captar e discutir os principais elementos explorados no *corpus* e levantar um conjunto de implicações envolvidas. Para o caso do aquecimento global, a análise categorial permitiu constatar a presença de três aspectos associados a essa problemática: o reconhecimento de fatores que influenciam a temperatura planetária, o debate sobre a influência humana para o aquecimento global e apontamentos que remetem a conflitos e esperanças em torno dessa problemática.

O reconhecimento de fatores que compõem o sistema climático destacou-se no *corpus*, em função do elevado volume de iniciativas voltadas a explicar processos e fenômenos naturais que podem influenciar a temperatura do planeta. Foi possível inferir que, de modo geral, a leitura do aquecimento global oferecida pelo *corpus* privilegia um tipo de tratamento que reduz essa questão a um conjunto de fenômenos naturais os quais a Física é capaz de modelar. Compreendemos que essa perspectiva é essencial como um ponto de partida para lidar com o desafio de percepção do fenômeno. Conhecimentos específicos, relativamente simples, oferecem potencial para reificar processos abstratos e tornar acessível o entendimento de certos aspectos do aquecimento global para o público geral. A diversidade de abordagens encontradas na amostra indica a viabilidade de tratar esse assunto em diferentes níveis de aprofundamento, compatíveis com as especificidades e demandas de cada tipo de público.

A noção de conservação da energia destacou-se no tratamento do aquecimento global. Esse assunto aparece de maneira contextualizada nas abordagens, através do balanço de energia do planeta. Apesar das simplificações envolvidas, essa abordagem configura-se, na amostra, como principal eixo articulador entre a dimensão científica e a dimensão social, uma vez que permite explicitar a influência da atividade humana no balanço de energia – especialmente através de emissões de CO₂ e de alterações no albedo terrestre – e, conseqüentemente, a possibilidade de alterações na temperatura do planeta. Além disso, a análise do balanço de energia apresentou-se como fundamental para discutir o comportamento de fatores externos.

Também foi possível constatar ocorrências que estendem a análise do aquecimento global para contemplar discussões que extrapolam o recorte científico. Nesse sentido, o *corpus* pode ser entendido como um contexto que busca estabelecer elos entre o conhecimento científico e os elementos da dimensão social. Isso é observado em

trabalhos que retratam o debate sobre a influência humana para o aquecimento global e fazem apontamentos de aspectos culturais que contribuem para seu agravamento. Para esses casos, o conhecimento científico parece oferecer subsídios para integrar a dimensão humana nessa problemática e para lidar com argumentações simples que a consideram um fenômeno natural. Contudo, a análise indicou, primeiro, que iniciativas desse tipo são pouco enfatizadas nos textos e, segundo, que elas colocam os elos entre conhecimentos científicos e dimensões sociais em segundo plano.

A noção de esperança manifesta-se, no *corpus*, através da expectativa de transformação da realidade via mudanças de atitude e tomadas de decisão com qualidade, para mitigar o processo de aquecimento do planeta – o que também foi verificado na análise da questão da sustentabilidade. No entanto, os textos não mantêm laços com estudos relacionados com a participação do conhecimento científico na tomada de decisão dos sujeitos. Somente um dos 12 textos analisados propõe discutir com mais profundidade a relação entre atitudes e conhecimento científico em ambientes de ensino. Desse modo, o *corpus* deixa a impressão de esperança de que a aquisição de conhecimento científico relativo aos fenômenos envolvidos nos problemas ambientais pode conduzir mudanças de posturas dos sujeitos. Esse fato explicita uma implicação para o campo de pesquisa que se pauta no necessário diálogo entre as reflexões que buscam aproximar Ciências e temas ambientais e os estudos relacionados ao comportamento e à tomada de decisão das pessoas.

Ao final da análise para a questão sobre o aquecimento global, reconhecemos que a forma como a questão de pesquisa foi colocada – “Como se caracterizam as leituras para a problemática do aquecimento global?” – ofereceu risco e dificuldade à investigação, por ser muito ampla. O que também caracterizou a estratégia que adotamos de reconhecer nos textos os principais aspectos dessa problemática, sem definir *a priori* quais seriam esses possíveis aspectos. Foi preciso lidar com a exaustividade de realizar sucessivas leituras dos textos, as quais revelavam, gradualmente, as categorias apresentadas. Além disso, confiamos na análise preliminar dos textos, na etapa de qualificação, que indicou o potencial do material para revelar como as ideias da Física podem ser mobilizadas para lidar com diferentes aspectos dessa problemática. No entanto, esperávamos que o foco em explicações sobre fenômenos naturais fosse menor, o que poderia oferecer maior diversidade à amostra.

Foi possível caracterizar a **leitura da problemática do clima** no *corpus* como predominantemente intransitiva, no sentido de que o conhecimento científico é

mobilizado para identificação e explicação de fenômenos naturais. Em nosso entendimento, isso tende a fazer com que a complexidade do problema do aquecimento global seja simplificada, sendo reduzida à discussão sobre fatores que podem influenciar a temperatura terrestre. Reiteramos que esse tipo de discussão se mostra fundamental para construir uma representação do fenômeno, contudo essa representação dá pouca ênfase ao aspecto mais problemático do processo: a dimensão humana.

Articulações entre conhecimento científico e dimensão humana são bem menos recorrentes e, de modo geral, situam-se em segundo plano nos textos. Nesses casos, porém, há um afastamento dos fenômenos naturais, o que permite a ampliação da percepção da problemática e a identificação de contradições entre a maneira como a sociedade se organiza e o comportamento da natureza. Práticas como queimadas, deflorestação e emissões de gases estufa são reconhecidas como formas de alterar o balanço de energia do planeta e, assim, contribuir para alterações climáticas. No entanto, a principal forma de representar a dimensão humana consiste na apresentação de dados referentes ao histórico de concentração de CO₂ na atmosfera; há pouco vínculo com situações que contextualizam a problemática no cotidiano das pessoas. Consideramos que esse tipo de abordagem remete a leituras transitivas, por sua maior predisposição para favorecer o reconhecimento de contradições, bem como traçar apontamentos que estão na base da problemática do clima. No entanto, tais leituras podem ser consideradas ingênuas, tendo em conta a superficialidade com que isso é tratado nos textos e a forma genérica como a dimensão humana é representada.

Para a **questão da sustentabilidade**, verificamos que o *corpus* vincula a esse termo ao menos duas interpretações distintas, que correspondem, isoladamente, a um enfoque social e a um enfoque ambiental. Para o enfoque social, a sustentabilidade é tratada como uma espécie de uso racional da energia. Nesse contexto, ser sustentável significa compreender o “percurso” da energia, desde sua geração até sua utilização, e prezar por uma gestão (produção e uso) energeticamente mais eficiente, que produza menos impactos no meio. As iniciativas desse tipo de abordagem assumem um caráter de denúncia dos impactos relacionados à produção de energia – muitas vezes invisíveis ao consumidor final –, assim como de análise de quantidades de energias envolvidas em processos e dispositivos cotidianos. Essa categoria revelou-se predominante no *corpus*.

É interessante destacar que tópicos sobre o processo de desenvolvimento sustentável são encontrados em muitos textos com esse tipo de proposição. É possível que essa forma de abordar o tema sustentabilidade seja influenciada por propósitos do

movimento “Educação para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável”. Em especial, pelas diretrizes que propõem que a Educação deve fomentar o conhecimento sobre os diferentes recursos energéticos, suas respectivas vantagens e desvantagens, impactos ambientais; entendimento da necessidade de tecnologias novas e inovadoras e seu potencial para impulsionar o desenvolvimento sustentável; e a prática de aplicar e avaliar medidas a fim de aumentar a eficiência energética em esfera pessoal (UNESCO, 2017, p. 24).

Por outro lado, detectamos um contraponto a esse tipo de abordagem, que oferece como critério para pensar a noção sustentabilidade a análise de características biofísicas do meio natural – em especial, a partir do uso do conceito de entropia, utilizado para explorar a dinâmica entre uso e renovação da energia disponível para a realização de trabalho. Esse tipo de abordagem pauta-se na análise comparativa entre o modo como a sociedade se organiza, em termos energéticos e de produção de resíduos, e a forma como a natureza se comporta. A sustentabilidade, para essa segunda categoria, é significada a partir do equilíbrio entre o ritmo em que a energia é disponibilizada e degradada. Nesse sentido, prezar pela sustentabilidade significa adotar a forma como a energia se torna disponível no ambiente como critério fundamental para definir qualquer tipo de meta relacionada ao desenvolvimento econômico. A ausência desse tipo de critério no processo de desenvolvimento sustentável é ponto criticado. Essa segunda categoria é pouco significativa no *corpus*.

Embora essas categorias ofereçam perspectivas distintas, compreendemos que, do ponto de vista da leitura da realidade ambiental, elas podem conter elementos complementares, no sentido de auxiliarem para que a dimensão energética seja percebida em uma perspectiva mais ampla. Elementos apresentados por essas duas formas de interpretar a sustentabilidade podem ser úteis em abordagens que discutem a relação entre sociedade e energia, uma vez que explicitam três instâncias distintas da dimensão energética que mantêm inter-relações: a base biofísica, que compreende os recursos disponíveis e a dinâmica de sua utilização e renovação; a exploração da energia em larga escala e as características dos processos de geração, considerando os impactos e riscos envolvidos; e a utilização da energia pelo consumidor final.

De maneira geral, o *corpus* relaciona à sustentabilidade a dimensão energética; ele trata da sustentabilidade energética da sociedade. Nesse sentido, ser sustentável se associa a uma melhor gestão dos recursos energéticos. O conceito de energia não é tratado prioritariamente em termos científicos, mas inserido em uma perspectiva de prática

social, como uma entidade indissociável das ações humanas no mundo contemporâneo, que oferece benefícios à vida das pessoas, porém envolve uma série de impactos e contradições.

Compreendemos que o tratamento dado à temática no *corpus* remete a leituras transitivas da realidade ambiental, uma vez que parece predisposto a captar aspectos problemáticos e contradições inerentes às práticas sociais que envolvem o uso de energia. No entanto, essas leituras nos parecem ser ingênuas, visto que enfatizam o papel da Ciência e da Tecnologia no tratamento e gestão dos recursos, e minimizam reflexões sobre as razões da elevada demanda de energia pela sociedade. Essas características nos levam a questionar se a forma como a dimensão energética é apresentada no *corpus* pode reforçar concepções antropocêntricas e utilitaristas e, conseqüentemente, a noção de domínio humano da natureza, bem como focalizar a manutenção e a preservação como finalidades últimas para atender as necessidades humanas.

A análise das duas últimas questões de pesquisa, que buscam identificar **visões sobre o meio ambiente e desafios para educação**, indicou que o modo como o conhecimento científico em Física é mobilizado no *corpus* pode possibilitar reforço ou superação das visões caracterizadas como naturalista e antropocêntrica, o que parece depender do tipo de enfoque oferecido. Situações em que elementos desse conhecimento se restringem a explicitar aspectos físicos do meio e a caracterizar fenômenos e processos acabam por reforçar a perspectiva naturalista, uma vez que focalizam a descrição de elementos naturais que o compõe; realizando uma descrição da dimensão física da natureza. Nesse tipo de perspectiva, o meio ambiente parece ser tomado como uma forma de contextualizar o conhecimento científico em Física. O elo entre seres humanos e natureza é frágil e pouco explorado.

Da mesma forma, a ênfase em promover a melhor gestão dos recursos energéticos, sem o apontamento de discussões mais profundas a respeito dos motivos que levam à crescente demanda por energia em nossa sociedade, pode reforçar a visão utilitarista de mundo e a expectativa, própria do conhecimento moderno, de salvação pela ciência. Entendemos que esse tipo de abordagem opera como um reforço da concepção antropocêntrica.

A possibilidade de superação desse tipo de concepção parece ser compatível com perspectivas que, além de situar a dimensão humana no meio ambiente, propõem problematizar sua relação com a natureza, a partir de apontamentos sobre sua interferência. Apesar desse tipo de abordagem ter sido constatada em segundo plano no

corpus, ela sugere o potencial que as ideias da Física podem oferecer para desenvolver concepções de meio ambiente com menor fragmentação entre a dimensão humana e a natureza. Reflexões que buscam construir um senso de responsabilidade com o planeta, a partir de estudos sobre conhecimentos relacionados ao universo, também demonstram esse tipo de atuação, que parece levar à desconstrução de visões antropocêntricas, na medida em que inserem a vida do contexto da história do universo e do planeta e, com isso, tentam produzir um senso de pertencimento e conexão com a natureza.

O debate sobre a influência humana para a ocorrência do aquecimento global parece representar uma espécie de conflito entre visões de meio ambiente. A posição que defende a dúvida sobre a influência humana nesse processo atua no sentido de contribuir para a manutenção de uma visão que não compreende a dimensão humana como integrante do meio ambiente; as ações humanas, portanto, estão desconectadas dos processos que ocorrem na natureza. A posição que enfatiza a responsabilidade humana para o aquecimento global, por sua vez, parece operar como uma espécie de ruptura com esse tipo de visão, reconhecendo a dimensão humana como parte indissociável da natureza; de modo que ações humanas interferem nos processos e ciclos naturais.

As situações em que se verificam tentativas de articular o conhecimento científico a aspectos da dimensão humana revelam os limites da abordagem disciplinar para lidar com questões complexas – como as questões ambientais. Em vários momentos, percebemos que essas articulações levam a temas fundamentais para o desenvolvimento de uma leitura mais ampla e crítica das questões do aquecimento global e da sustentabilidade. No entanto, uma vez que esses temas extrapolam o conhecimento científico em Física, o que se observa é uma espécie de descontinuidade; as articulações terminam exatamente no ponto em que outro tipo de conhecimento se mostra necessário para dar continuidade ao tratamento da questão. Isso foi observado, por exemplo, em abordagens sobre o aquecimento global, em que a discussão sobre a atividade humana na interferência do balanço de energia esbarra em apontamentos sobre valores culturais da sociedade capitalista; em passagens que mencionam a elevada demanda por energia pela sociedade e a relacionam com a pauta econômica; nas críticas ao modelo de desenvolvimento sustentável e sua relação com modelos econômicos; e em discussões sobre as consequências impostas ao meio ambiente e social em função da exploração de formas de energia alternativas.

Esse tipo de constatação evidencia a dificuldade de favorecer o desenvolvimento de leituras críticas para a realidade ambiental a partir de uma organização curricular

disciplinar. Nossa investigação nos leva a pensar que parece ser improvável que esse tipo de leitura possa ser contemplada através da perspectiva de uma disciplina, como no caso da Física. Além disso, como implicação para pesquisa e ensino, nossa investigação aponta a necessidade de cautela ao tratar temas ambientais através da ótica disciplinar. O recorte oferecido por uma disciplina privilegia elementos de seu domínio de atuação, o que pode negligenciar ou minimizar aspectos fundamentais de uma dada questão ambiental. Isso pode ter relação com a ênfase que as ideias da Física atribuem à dimensão natural do aquecimento global ou do caráter utilitarista verificado no tratamento da sustentabilidade.

Nossa análise corrobora o pressuposto de que o contexto investigado opera como meio de (re)produção de visões para o universo do ambiental. Em certos casos, esses resultados podem ser interpretados como manifestações do processo de disputa entre essas visões, o que caracteriza o campo ambiental (CARVALHO, 2001), através da proposição de posições divergentes. Isso pôde ser constatado em situações como a interpretação da influência humana para o aquecimento global, bem como para certos aspectos da sustentabilidade. No *corpus*, há um predomínio da posição de defesa da tese de aquecimento global antropogênico, no entanto constatamos vestígios de posições que enfatizam a posição de dúvida sobre a influência humana nesse processo. Para a sustentabilidade, constatamos posições de defesa e de crítica ao processo desenvolvimento sustentável.

Esse fato nos chamou a atenção por indicar uma espécie de dualidade na participação das ideias da Física na interpretação do ambiental, no sentido de se constituir como um conhecimento capaz integrar posicionamentos localizados em diferentes extremos: da certeza à dúvida sobre a influência humana para o processo de aquecimento do planeta; da aceitação à crítica ao discurso do desenvolvimento sustentável.

Além disso, essa dualidade parece também existir para a condição de domínio humano da natureza, que pode ser reforçada ou atenuada conforme o tipo de enfoque oferecido. Por exemplo, o tratamento da sustentabilidade através do aprimoramento técnico-científico dos processos de transformação e utilização da energia pode contribuir para reforçar essa noção de domínio, ao transmitir a imagem de soberania humana sobre a natureza. Por outro lado, abordagens que exploram aspectos da complexidade podem propiciar o questionamento dessa noção, uma vez que reforçam as limitações da Ciência em lidar com precisão com previsões de longo prazo associadas à dimensão ambiental. A abordagem do meio ambiente mediada por conhecimentos sobre o universo, apesar de ter

sido pouco explorada em nosso estudo, também oferece um posicionamento que tende a atenuar essa visão de domínio da natureza.

Isso nos leva a inferir que, no contexto investigado, o conhecimento científico, por si só, parece não garantir uma leitura unívoca para a realidade ambiental. Ele pode ser mobilizado para oferecer perspectivas de rupturas com a condição humana de colonizadora da natureza ou, por outro lado, para reforçar a fragmentação entre natureza e humanidade, o que pode subsidiar a relação de domínio. Essa inferência é bastante provocadora e estabelece implicações para a necessidade de compreender como os discursos ambientais perpassam o campo de pesquisa e ensino em Educação em Ciências e, assim, esclarecer melhor a quais tipos de discurso e interesses o conhecimento científico escolar pode estar filiado.

Para o caso específico do aquecimento global, nossa análise sugere a importância de verificar como o debate sobre a influência da atividade humana pode perpassar o campo do ensino e da pesquisa em Ciências.

O desenvolvimento de abordagens capazes de representar a dimensão humana no contexto da problemática do aquecimento global, de modo menos genérico, também representou uma implicação tanto para pesquisa quanto para o ensino. De modo geral, essa dimensão aparece de forma implícita no *corpus*, sendo representada, principalmente, através de dados que buscam correlacionar, por exemplo, a intensificação das emissões de CO₂ ao aumento de anomalias de temperatura. Desse modo, torna-se desafiador para o contexto de pesquisa e ensino explorar o nexos entre o campo científico e a problemática do clima, abordando exemplos que envolvam as realidades locais e regionais. Ou seja, é importante conseguir explorar essa temática com exemplos compatíveis com a realidade compartilhada por cada pessoa e, assim, oferecer a noção de que se trata, antes de tudo, de um problema local e individual, explicável através das contribuições de diferentes práticas sociais compartilhadas pela sociedade contemporânea.

Reiteramos que, embora os exemplos apresentados no tratamento da questão do aquecimento global explorem pouco a dimensão humana e a apresente de maneira genérica, essa forma de abordagem pode ser relevante para a percepção do problema e para apontar sua conexão com a humanidade. O que consideramos é a necessidade de explorar a categoria “humanidade” a partir das realidades locais e individuais. Se tomarmos como referência os esquemas e figuras extraídas do *corpus*, que representam aspectos do aquecimento global, é possível constatar que eles são suficientes para apontar a humanidade como fator que influencia o sistema climático. Comprendemos que esse

fator pode ser ampliado para revelar os diferentes elementos que o compõe e as diferentes ações humanas que mantêm diálogo com a questão do aquecimento global. Ampliar a visão sobre esse fator significa encontrar exemplos de ações presentes no cenário local e regional – bem como aspectos culturais – que exercem influência com a problemática do clima. Podem ser exemplos desse tipo de ação as atividades que alteram a cobertura do solo, as questões associadas ao transporte e à mobilidade urbana, a redução no ciclo de vida dos dispositivos (obsolescência programada) e a geração de energia.

Isso pode, ainda, permitir articular a discussão do aquecimento global à questão da sustentabilidade, tratando-os como problemas que se inter-relacionam. Alguns apontamentos desse tipo foram constados nos dados, a partir da indicação de que uma gestão mais eficiente da energia contribui para a redução de emissões de CO₂, em virtude da redução da demanda de energia por usinas que operam com combustíveis fósseis. Esse exemplo pode ser extrapolado para contemplar não apenas a utilização de energia pelo consumidor final, mas por toda cadeia envolvida na produção de bens e explicitar o volume de gases de efeito estufa emitidos em função da produção, uso e disposição final de um dado produto, o que é conhecimento por “pegada de carbono”.

Uma implicação para o campo de pesquisa em ensino de ciências se refere à adaptação que fizemos para a noção de estados de consciência em Freire como caminho para caracterizar a leitura da realidade ambiental. Essa adaptação é uma construção teórico-metodológica sobre a qual não se tem notícia em outros trabalhos e se mostrou viável para a definição de parâmetros que nos auxiliaram na coleta de dados, bem como na fase de análise. No entanto, acreditamos que o caráter de ineditismo exige um debate junto à comunidade de pesquisa para que sua validade e alcance sejam mais bem compreendidos. Compreendemos que a principal contribuição dessa adaptação à nossa pesquisa foi a possibilidade de compreender um pouco melhor o processo de articulação entre conhecimento científico escolar e aspectos da temática ambiental que extrapolam a dimensão científica, o que nos permitiu inferir sobre as limitações e as potencialidades envolvidas. A partir dessa adaptação, foi possível observar que o tratamento da questão do aquecimento global e da sustentabilidade denota leituras intransitivas e transitivas ingênuas. Um resultado que nos permite afirmar que o tratamento dessas questões, no contexto investigado, prioriza a exposição de conceitos, processos e fenômenos de maneira mais restrita à dimensão científica. Esse resultado revela que, por um lado, as ideias da Física cumprem um papel fundamental para a interpretação de fenômenos naturais relacionados a essas questões, e assim, auxiliam a objetivar uma realidade que

não é facilmente acessível para as pessoas. Além disso, elas auxiliam a objetivar aspectos problemáticos e contraditórios dessa realidade, no entanto a interpretação acerca da dimensão humana e seu papel em relação a esses problemas e contradições é ainda pouco explorada.

Ao final da investigação que conduzimos, tornou-se perceptível que o trabalho com temas ambientais no contexto da Educação exige lidar com a delicada dicotomia que envolve cada pessoa na trama da crise ambiental, ocupando, ao mesmo tempo, a condição de oprimido e de opressor. De um lado, o sujeito é oprimido quando lhe é imposto um modo de ser no mundo que se mostra, cada vez mais, incompatível com o planeta e com a vida – em todas as suas instâncias. É oprimido quando lhe é imposto a ideia de que um modo de ser centrado no consumo, principal base de sustentação da sociedade, é sinônimo de bem-estar e qualidade de vida, considerando desde os padrões alimentares aos bens programados para se tornarem obsoletos em pouquíssimo tempo. É oprimido, ainda, quando reconhece que as camadas socialmente menos favorecidas são as mais atingidas pelos problemas ambientais (SCHONS, 2012; UNISDR & CRED, 2015). Por outro lado, na medida que os padrões de consumo e outros valores culturais que compartilhamos refletem uma série de problemas socioambientais, assumimos a condição de opressores. Cada produto que nos cerca tem em sua cadeia produtiva algum grau de contribuição para a problemática ambiental. Assim, assumimos a condição de opressores ao nos colocarmos como parte de uma sociedade cuja sobrevivência depende de um consumo voraz de todo tipo de recurso que a sustenta, o que explicita a fragilidade e a incoerência de sua sustentação. Problematizar essa realidade significa, antes de tudo, problematizar a nós mesmos.

Como desdobramento dessa pesquisa, temos a perspectiva de utilizá-la para orientar o desenvolvimento de abordagens que aproximam conhecimento científico e temas ambientais em cursos voltados para a formação docente, assim como para a educação básica. Além disso, temos a intenção de dar continuidade à pesquisa, explorando melhor a relação entre temas relacionados ao universo e temas ambientais, bem como promovendo reflexões que possam orientar o desenvolvimento de abordagens a partir da adaptação dos estados de consciência de Freire.

REFERÊNCIAS

- AIRES, B. F. DA C.; BASTOS, R. P. Representações sobre meio ambiente de alunos da Educação Básica de Palmas (TO). **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 17, n. 2, p. 353–364, 2011.
- ALBERTO, C.; MAGALHÃES, D. O.; TOMANIK, E. A. Representações sociais de meio ambiente: subsídios para a formação continuada de professores. **Ciência & Educação**, p. 181–199, 2013.
- ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? **Revista USP**, n. 103, p. 13, 2014.
- AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2001.
- AURELIO SOBRINHO, C. **A falácia do desenvolvimento sustentável: uma análise a partir da sociedade de consumo**. Tese de doutorado—Marília: Universidade Estadual Paulista, 2016.
- BALDOW, R. et al. Ensino de física e educação ambiental: percepções de sustentabilidade dos estudantes em uma atividade de robótica sustentável. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, p. 152–167, 2018.
- BALIM, A. P. C.; MOTA, L. R.; SILVA, M. B. O. DA. Complexidade ambiental: o repensar da relação homem-natureza e seus desafios na sociedade contemporânea. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 21, p. 163, 2014.
- BARBOSA, J. P. V. **Análise microgenética de processos de ensino - aprendizagem em aulas de Física conduzidas em ambientes de aprendizagem colaborativa**. Tese de doutorado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, 2018.
- BARBOSA, L. C. A.; MARQUES, C. A. Sustentabilidade ambiental e postulados termodinâmicos à luz da obra de Nicholas Georgescu-Roegen. **Revista eletrônica em gestão educação e tecnologia ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1124–1132, 2015.
- BARBOSA, L. G. D. C.; LIMA, M. E. C. C.; MACHADO, A. H. **Controvérsias sobre o aquecimento global e ato responsável: uma categoria bakhtiniana para ajudar a pensar questões sociocientíficas em aulas de ciências** Alexandria: **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, 2019.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BECK, U. **World at Risk**. Cambridge: Polity Press, 2009.
- BESSON, U.; DE AMBROSIS, A. Teaching energy concepts by working on themes of cultural and environmental Value. **Science and Education**, v. 23, n. 6, p. 1309–1338, 2014.
- BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é – o que não é**. Petrópolis: Vozes, 2012.
- BORGES, J. C.; PRESA, S. DE A. D. B.; COSTA, S. Geração de energia em larga escala por usinas termelétricas: uma questão sociocientífica no ensino de física. **Revista Práxis**, v. 11, n. 22, 2019.
- BOSTRÖM, M.; UGGLA, Y. A sociology of environmental representation. **Environmental Sociology**, v. 2, n. 4, p. 355–364, 2016.

- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil** Brasil, 1988.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: terceiro e quarto ciclos - apresentação dos temas transversais** Brasília Ministério da Educação, , 2000.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais** Brasília Ministério da Educação, , 2002.
- BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica** Brasília Ministério da Educação, , 2013.
- BRASIL. **Matriz de referência do Exame Nacional do Ensino Médio** INEP Brasília Ministério Da Educação, , 2015.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular** Brasília Ministério da Educação, , 2018.
- BRITES, A. D. S.; CABRAL, I. E. Educação Ambiental no contexto do ensino de ciências: um estudo de revisão. **Ensino, Saude e Ambiente**, v. 5, n. 2, p. 198–210, 2012.
- BRONZATO, K. et al. Educação ambiental planetária: por uma abordagem extraterrestre. **Educação ambiental em ação**, v. 13, n. 51, p. 1–11, 2015.
- BUCHAN, G. D. Viewpoint: Ode to planet Earth. **Journal of Environmental Education**, v. 26, n. 1, p. 5–8, 2010.
- BUIS. **Milankovitch (Orbital) Cycles and Their Role in Earth’s Climate**. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/>>. Acesso em: 28 dez. 2020.
- CARMONA, I. V.; PEREIRA, M. V. Ciência, Tecnologia e Sociedade e Educação Ambiental: uma revisão bibliográfica em anais de eventos científicos da área de ensino de Ciências. **Revista Ciências & Ideias**, v. 8, n. 3, p. 94, 2018.
- CARTER, R. L.; SIMMONS, B. **The History and Philosophy of Environmental Education**. Nova Iorque: Springer, 2010.
- CARVALHO, I. C. D. M. **Educação ambiental - a formação do sujeito ecológico**. 4ª Edição ed. São Paulo: Editora Cortez, 2008.
- CARVALHO, I. C. DE M. **A invenção do sujeito ecológico: sentidos e trajetórias em educação ambiental**. Tese de Doutorado—Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- CARVALHO, I. C. DE M. Paisagem, historicidade e ambiente: as várias naturezas da natureza. **Confluenze. Rivista di Studi**, v. 1, n. 1, p. 136–157, 2009.
- CARVALHO, I. C. M. A invenção do sujeito ecológico: identidades e subjetividade na formação dos educadores ambientais. In: SATO, M.; CARVALHO, I. C. DE M. (Eds.). **Educação Ambiental: pesquisa e desafios**. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 51–64.
- CARVALHO, I. C. M.; FARIAS, C. R.; PEREIRA, M. V. A missão “ecocivilizatória” e as novas moralidades ecológicas: a educação ambiental entre a norma e a antinormatividade. **Ambiente & Sociedade**, v. 14, n. 2, p. 35–49, 2011a.
- CARVALHO, I. C. M.; FARIAS, C. R.; PEREIRA, M. V. A missão “ecocivilizatória” e as novas moralidades ecológicas: a educação ambiental entre a norma e a antinormatividade. **Ambiente & Sociedade**, v. 14, n. 2, p. 35–49, 2011b.
- CASTELFRANCHI, Y. et al. As opiniões dos brasileiros sobre ciência e tecnologia: O “paradoxo” da relação entre informação e atitudes. **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**, v. 20, n. SUPPL.1, p. 1163–1183, 2013.

CASTELFRANCHI, Y.; FERNANDES, V. Teoria crítica da tecnologia e cidadania tecnocientífica: Resistência, “insistência” e hacking. **Revista de Filosofia: Aurora**, v. 27, n. 40, p. 167–196, 2015.

COAKLEY, J. A. Reflectance and Albedo, Surface. **Encyclopedia of Atmospheric Sciences**, p. 1914–1923, 2003.

COLE, S. **2018 fourth warmest year in continued warming trend, according to NASA, NOAA**. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/news/2841/2018-fourth-warmest-year-in-continued-warming-trend-according-to-nasa-noaa/>>. Acesso em: 31 dez. 2020.

COLLINS, H. **Mudando a ordem - Replicação e indução na prática Científica**. Belo Horizonte: FABREFACTUM, 2011.

COLLOMB, J.-D. The Ideology of Climate Change Denial in the United States. **European journal of American studies**, p. 1–21, 2014.

COOK, J. et al. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, p. 1–7, 2013.

COOK, J. et al. Consensus on consensus: A synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 4, p. 1–7, 2016.

COSTANZO, M. et al. Energy conservation behavior: The Difficult Path From Information to Action. **American Psychologist**, v. 41, n. 5, p. 521–528, 1986.

COVOLAN, S. C. T.; SILVA, D. DA. A entropia no Ensino Médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 11, n. 1, p. 97–117, 2005.

DE-CARVALHO, R.; MATEI, A. P. Transversalizando conteúdos de Física no ensino médio: o efeito estufa causado pela pecuária. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 25, n. 1, p. 255–266, 2019.

DIAS, D. B. **Concepções de meio ambiente e natureza: uma reflexão com alunos de 7º ano do ensino fundamental do Distrito Federal**. Dissertação de mestrado—Brasília: Instituto de Ciências Biológicas, Instituto de Física e Instituto de Química, Faculdade UnB Planaltina, 2013.

DIAS, G. F. **Educação Ambiental: Princípios e práticas**. 8ª ed. São Paulo: Editora Gaia, 2003.

DICTORO, V. P. et al. A relação ser humano e natureza a partir da visão de alguns pensadores históricos. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 14, n. 4, p. 159–169, 2019.

DINARDI, A. J. **Meio Ambiente e Educação Ambiental: Concepções dos graduandos de uma universidade pública**. XVI Encontro Paranaense de Educação Ambiental. **Anais...**Curitiba: 2017

DIXON, J. A.; FALLON, L. A. The concept of sustainability: Origins, extensions, and usefulness for policy. **Society and Natural Resources**, v. 2, n. 1, p. 73–84, 1989.

DOSCHER, J. C. et al. **Sustainability Topics in Physics Education, Science Agency Beliefs and Physics Identity**. Physics Education Research Conference. **Anais...**Washington DC: 2015

DUARTE, T. R. Aquecimento Global: Verdade inconveniente ou teoria falsa. In: GOMES,

- A. C. V.; CARVALHO, E. B. DE (Eds.). . **História da ciência no cinema 5**. Belo Horizonte: Editora Fino Traço, 2014.
- EGGERT, S. et al. Socioscientific Decision Making in the Science Classroom: The Effect of Embedded Metacognitive Instructions on Students' Learning Outcomes. **Education Research International**, v. 2013, p. 1–12, 2013.
- EILKS, I. Science education and education for sustainable development - justifications, models, practices and perspectives. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, v. 11, n. 1, p. 149–158, 2015.
- ENGSTRÖM, S.; GUSTAFSSON, P.; NIEDDERER, H. Content for teaching sustainable energy systems in physics at upper secondary school. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 9, n. 6, p. 1281–1304, 2011.
- ESCAP. **Eco-efficiency Indicators: Measuring Resource-use Efficiency and the Impact of Economic Activities on the Environment**. Thailand: United Nations, 2009.
- ESCOBAR, M. Ad-mirar. In: STRECK, D. R.; REDIN, E.; ZITKOSKI, J. J. (Eds.). . **Dicionário Paulo Freire**. 3. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2017. p. 439.
- FANG, S. C.; HSU, Y. S.; LIN, S. S. Conceptualizing Socioscientific Decision Making from a Review of Research in Science Education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 17, n. 3, p. 427–448, 2019.
- FARIA, A. F. **Investigação de experiências de pensamento científico de estudantes em tarefas de física em grupo**. Tese de doutorado—Belo Horizonte: Faculdade de Educação, 2016.
- FERRÃO, J. O antropoceno como narrativa: uma lente útil para entender o presente e imaginar o futuro? **BIBLOS: Revista da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra**, v. 3, p. 205–221, 2017.
- FERREIRA, F.; CRUZ BOMFIM, Z. Sustentabilidade ambiental: visão antropocêntrica ou biocêntrica? **AmbientalMente sustentable: Revista científica galego-lusófona de educación ambiental**, v. I, n. 9, p. 37–51, 2010.
- FLORIANI, D. A complexidade ambiental nos convida a dialogar com as incertezas da modernidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 4, p. 61–64, 2001.
- FLORIDES, G.; CHRISTODOULIDES, P.; MESSARITIS, V. Global Warming: CO2 vs Sun. **Global Warming**, 2010.
- FONSECA, J. J. . **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UECE, 2002.
- FREEDMAN, Y. E. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.
- FREIRE, P. **Conscientização: teoria e prática da libertação: uma introdução ao pensamento de Paulo Freire**. São Paulo: Cortez & Moraes, 1979.
- FREIRE, P. **Extensão ou Comunicação?** 1. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2013.
- FREIRE, P. **Educação como prática da liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2015.
- FREIRE, P. **Conscientização**. 4^a ed. São Paulo: Cortez, 2016a.
- FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 60. ed. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 2016b.
- FREITAS, N. M. DA S.; MARQUES, C. A. Abordagens sobre sustentabilidade no ensino CTS: educando para a consideração do amanhã. **Educar em Revista**, n. 65, p. 219–235,

2017.

GADOTTI, M. Realidade. In: STRECK, D. R.; REDIN, E.; ZITKOSKI, J. J. (Eds.). . **Dicionário Paulo Freire**. Belo Horizonte: Editora Autêntica, 2017. p. 439.

GERHARDT, C. H.; ALMEIDA, J. A dialética dos campos sociais na interpretação da problemática Ambiental: uma análise crítica a partir de diferentes leituras sobre os problemas ambientais. **Ambiente & Sociedade**, v. 8, p. 1–30, 2005.

GÓMEZ, J. M. R. et al. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, 2018.

GONCALVES, C. W. P. **Os (des)caminhos do Meio Ambiente**. 11. ed. São Paulo: Contexto, 2004.

GREGIO, N. DE O. **Termodinâmica, um tutorial para entendimento do conceito de entropia**. Dissertação de Mestrado—São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2016.

GUERRA, A. F. S.; FIGUEIREDO, M. L. Ambientalização curricular na Educação Superior: desafios e perspectivas. **Educar em Revista**, v. 3, p. 109–126, 2014.

HARRIS, C. Environmental Education in England and Wales: A Brief Review. **European Journal of Education**, v. 26, n. 4, p. 287–290, 1991.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOBSON, A. Teaching Relevant Science for Scientific Literacy: Adding Cultural Context to the Sciences. **Journal of College Science Teaching**, v. 30, n. 4, p. 238–243, 2001.

HOBSON, A. Physics literacy, energy and the environment. **Physics Education**, v. 38, n. 2, p. 109–114, 2003.

IPCC. **Aquecimento Global de 1,5°C: Sumário para Formuladores de Políticas**. Incheon: [s.n.].

JACOBSON, M. J. et al. Designs for learning about climate change as a complex system. **Learning and Instruction**, v. 52, p. 1–14, 2017.

JHO, H. A Literature Review of Studies on Decision-making in Socio-scientific Issues. **Journal of The Korean Association For Science Education**, v. 35, n. 5, p. 791–804, 2015.

JONES, P.; SELBY, D.; STEPHEN, S. **Sustainability Education**. New York: EarthScan, 2010.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N. T. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, p. 126–151, 2018.

KARAARSLAN, G.; TEKSÖZ, G. Integrating Sustainable Development Concept into Science Education Program Is Not Enough; We Need Competent Science Teachers for Education for Sustainable Development. **International Journal of Environmental and Science Education**, v. 11, n. 15, p. 8403–8425, 2016.

KARATZOGLOU, B. An in-depth literature review of the evolving roles and contributions of universities to Education for Sustainable Development. **Journal of Cleaner Production**, v. 49, p. 44–53, 2013.

- KAWASAKI, C. S.; CARVALHO, L. M. DE. Tendências da pesquisa em educação ambiental. **Educação em Revista**, v. 25, n. 3, p. 143–157, 2009.
- KELANI, R. Integration of environmental education in science curricula in secondary schools in Benin , West Africa : Teachers ' perceptions and challenges. **Electronic Journal of Science Education**, v. 19, n. 3, 2015.
- KRENAK, A. **Encontros: Ailton Krenak**. Rio de Janeiro: Azougue Editorial, 2015.
- KRONBAUER, L. G. Consciência. In: STRECK, D. R.; REDIN, E.; ZITKOSKI, J. J. (Eds.). **Dicionário Paulo Freire**. 3. ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2017. p. 439.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1962.
- LABANCA, N.; BERTOLDI, P. Beyond energy efficiency and individual behaviours: policy insights from social practice theories. **Energy Policy**, v. 115, n. July 2017, p. 494–502, 2018.
- LAURIE, R. et al. Contributions of Education for Sustainable Development (ESD) to Quality Education: A Synthesis of Research. **Journal of Education for Sustainable Development**, v. 10, n. 2, p. 226–242, 2016.
- LAVONEN, J. et al. **Science education research: Engaging learners for a sustainable future**. European Science Education Research Association. **Anais...**Helsinki: 2015
- LEE, H. **skepticalscience**. Disponível em: <<https://skepticalscience.com//argument.php>>.
- LEFF, E. A complexidade ambiental. **AmbientalMente sustentável**, v. 1, n. 3, p. 7–17, 2007.
- LEFF, E. Complexidade, Racionalidade Ambiental e Diálogo de Saberes. **Educação & Realidade**, v. 34, n. 3, p. 17–24, 2009.
- LEFF, E. **Discursos sustentáveis**. São Paulo: Cortez, 2010.
- LEFF, E. **Saber Ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. 11. ed. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 2015.
- LEITE, J. C. Controvérsias científicas ou negação da ciência? A agnotologia e a ciência do clima. **Scientiae Studia**, v. 12, n. 1, p. 179–189, 2014.
- LENOBLE, R. **História da ideia de natureza**. Lisboa: Edições 70, 1990.
- LIMA, T. C. S. DE; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálysis**, v. 10, n. especial, p. 37–45, 2007.
- LIMA JÚNIOR, C. et al. Energia solar: metodologia para avaliação do local de instalação de sistema fotovoltaico fomentando a Educação Ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 233–244, 2018.
- LIMA JÚNIOR, C. DE; SILVA, F. V. V.; LOUREIRO, E. C. DE M. PRÁTICA EXPERIMENTAL: EDUCAÇÃO AMBIENTAL, ENERGIA EÓLICA E O ENSINO DE FÍSICA. **Revista brasileira de educação ambiental**, v. 14, n. 3, p. 31–40, 2019.
- LINDSTROM, T.; MIDDLECAMP, C. Campus as a Living Laboratory for Sustainability: The Physics Connection. **The Physics Teacher**, v. 56, n. 4, p. 240–243, 2018.
- LLORENTE, J. A. A ERA DA PÓS-VERDADE : realidade versus percepção. **Uno**, v.

27, p. 1–60, 2017.

LOPES, J. S. L. Sobre processos de "ambientalização" dos conflitos e sobre dilemas da participação. **Horizontes Antropológicos**, v. 12, n. 25, p. 31–64, 2006.

LOUREIRO, C. F. B. **Sustentabilidade e Educação: um olhar da ecologia política**. São Paulo: Cortez, 2012.

LOUREIRO, C. F. B. Educação Ambiental e Epistemologia Crítica. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 32, n. 2, p. 159–176, 2015.

LUIZ, C. F.; AMARAL, A. Q.; PAGNO, S. F. **Representação social de meio ambiente e educação ambiental no ensino superior**. Seminário Internacional Experiências de agendas 21: os desafios do nosso tempo. **Anais...**Ponta Grossa: 2009

MACEDO, N. D. DE. **Iniciação a pesquisa bibliográfica: guia do estudante para a fundamentação do trabalho de pesquisa**. 2ª Edição ed. São Paulo: Edições Loyola, 1994.

MAGALHÃES, D. A. Aquecimento global: uma abordagem para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p. 01–09, 2014.

MARCATTO, C. **Educação ambiental: conceitos e princípios**. Belo Horizonte: FEAM, 2002.

MARQUES, L. **Capitalismo e colapso ambiental**. 3ª Edição ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2018.

MARTINHO, L. R.; TALAMONI, J. L. B. Representações sobre meio ambiente de alunos da quarta série do Ensino Fundamental. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 1–13, 2007.

MAZZOTTI, T. Representação Social de “Problema Ambiental”: uma contribuição à Educação Ambiental. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 78, n. 188-89–90, 1997.

MEIRA, P.; SATO, M. Só os peixes mortos não conseguem nadar contra a correnteza. **Revista de Educação Pública**, v. 14, n. 25, p. 1–19, 2005.

MENDES, C. A. N. **Consumo de energia e crescimento econômico: uma relação em estudo com foco nos países componentes do Brics**. Dissertação de Mestrado—Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

MONTALBANO, V. Sustainability and Physics Education. p. 1221–1229, 2006.

MORAES, F. A. DE. **As concepções de meio ambiente e natureza: implicações nas práticas de educação ambiental de professores da rede estadual de ensino no município de Aparecida de Goiânia**. Dissertação de Mestrado—Goiânia: Programa de Pós- Graduação em Educação em Ciências e Matemática, 2009.

MOSCOVICI, S. **A representação social da psicanálise**. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.

NASA. **Measuring Earth’s Albedo**. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/images/84499/measuring-earths-albedo>>. Acesso em: 1 fev. 2021.

NASCIMENTO, E. P. DO. Trajetória da sustentabilidade: Do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avancados**, v. 26, n. 74, p. 51–64, 2012.

NÓBREGA, M. L. DA S.; NASCIMENTO, E. P. DO. Ambientalização Acadêmica : a

- contribuição da pós-graduação para a sustentabilidade. **Revista Brasileira de Pós-graduação**, v. 14, p. 1–22, 2017.
- ORESQUES, N. The Scientific Consensus on Climate Change. **Science**, v. 306, n. January, p. 1686, 2004.
- ORESQUES, N.; CONWAY, E. **Merchants of doubt: how a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming**. Nova Iorque: Bloomsbury, 2011.
- PELLICCIONI, A. F. **Educação ambiental: limites e possibilidades de uma ação transformadora**. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, 2002.
- PENA-VEGA, A. **O despertar Ecológico: Edgar Morin e a ecologia complexa**. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.
- PENTEADO, C. L. DE C.; FORTUNATO, I. Crise ambiental e percepção: fragmentação ou complexidade? **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 24, p. 413–427, 2010.
- PÉREZ, L. F. M. **Questões sociocientíficas na prática docente ideologia, autonomia e formação de professores**. São Paulo: UNESP, 2012.
- PERKINS, J. H. et al. Energy education and the dilemma of mitigating climate change. **Journal of Environmental Studies and Sciences**, v. 4, n. 4, p. 354–359, 2014.
- PETERS, M. A.; HUNG, R. Solar ethics: A new paradigm for environmental ethics and education? **Policy Futures in Education**, v. 7, n. 3, p. 321–329, 2009.
- PETIT, J. R. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. **Nature**, v. 399, n. 6735, p. 429–436, 1999.
- PFEIFFER, C. R. C. As mudanças climáticas divulgadas – instrumentos políticos de circulação da ciência. In: **Planejamento da produção de cana-de-açúcar no contexto das mudanças climáticas globais**. Unicamp: Editora da Unicamp, 2016.
- PINA, A. P.; SILVA, L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, Z. T. Mudanças Climáticas: reflexões para subsidiar esta discussão em aulas de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 449–472, 2010.
- PINO, A. Semiótica e cognição na perspectiva histórico-cultural. **Temas em Psicologia**, v. 3, n. 2, p. 31–40, 1995.
- POWELL, J. Scientists Reach 100% Consensus on Anthropogenic Global Warming. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 37, n. 4, 2019.
- PURVIS, B.; MAO, Y.; ROBINSON, D. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. **Sustainability Science**, v. 14, n. 3, p. 681–695, 2019.
- REIGOTA, M. **Meio Ambiente representação social**. 7^a ed. São Paulo: Editora Cortez, 2007.
- REIS, D. A. DOS; SILVA, L. F.; FIGUEIREDO, N. As complexidades inerentes ao tema “mudanças climáticas”: desafios e perspectivas para o ensino de física. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 3, p. 535–554, 2015.
- REIS, L. B.; SILVEIRA, S. **Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável: introdução de uma visão multidisciplinar**. São Paulo: Editora USP, 2000.
- RIBEIRO, J. A. G.; CAVASSAN, O. **As Quatro Dimensões Da Relação Homem -Meio**

- Ambiente the Four Dimensions Man-Environment'S Relation. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 11–30, 2013a.
- RIBEIRO, J. A. G.; CAVASSAN, O. Os conceitos de ambiente, meio ambiente e natureza no contexto da temática ambiental: definindo significados. **GÓNDOLA, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 61–76, 2013b.
- RIBEIRO, W. C. et al. A concepção de natureza na civilização ocidental e a crise ambiental. **Revista da Casa da Geografia de Sobral - RCGS**, v. 14, n. 1, p. 7–16, 2012.
- ROGERS, M. et al. Incorporating Sustainability and 21st-Century Problem Solving into Physics Courses. **The Physics Teacher**, v. 51, n. 6, p. 372–374, 2013.
- ROSENAU, J. **The Pillars of Climate Change Denial**. Disponível em: <<https://ncse.com/library-resource/pillars-climate-change-denial>>. Acesso em: 2 out. 2020.
- ROTH, W. M.; LEE, S. Science Education as/for Participation in the Community. **Science Education**, v. 88, n. 2, p. 263–291, 2004.
- SADLER, T. D. Moral and Ethical Dimensions of Socioscientific Decision-Making as Integral Components of Scienti ... **Science Educator**, v. 13, p. 39–48, 2004.
- SAGAN, C. **Pálido Ponto Azul**. São Paulo: Cia das letras, 1996.
- SANTOS, C. A. DOS. Educação ambiental através da interdisciplinaridade nas aulas de Física. **Educação Ambiental em ação**, v. 10, n. 36, 2011.
- SANTOS, F. R. DOS. **Enem e os livros didáticos de física: uma abordagem de energia e suas transformações**. Dissertação de mestrado—Maceió: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, 2013.
- SANTOS, W. L. P. DOS. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, v. 12, n. 36, p. 474–492, 2007.
- SANTOS, W. L. P. DOS; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, n. 1, p. 95–111, 2001.
- SANTOS, W. L. P. DOS; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 110–132, 2002.
- SANTOS, Z. T. S. DOS. **Ensino de Entropia: um enfoque histórico e epistemológico**. Tese de doutorado—Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.
- SAUVÉ, L. Environmental Education and Sustainable Development: A Further Appraisal. **Canadian Journal of Environmental Education (CJEE)**, v. 1, n. Spring, p. 7–34, 1996.
- SAUVÉ, L. Educação Ambiental: possibilidades e limitações. **Educação e Pesquisa**, p. 317–322, 2005a.
- SAUVÉ, L. Uma cartografia das correntes em Educação Ambiental. In: SATO, M.; CARVALHO, I. C. DE M. (Eds.). **Educação Ambiental Pesquisa e Desafios**. Porto Alegre: Artmed, 2005b. p. 17 a 44.
- SAUVÉ, L.; BERRYMAN, T.; BRUNELLE, R. **International Proposals for Environmental Education: Analysing a Ruling Discourse**. International Conference in

Environmental Education in the Context of Education for the 21st Century – Prospects and Possibilities. **Anais...Larisa: 2000**

SCHONS, S. M. A questão ambiental e a condição da pobreza. **Revista Katálysis**, v. 15, n. 1, p. 70–78, 2012.

SHEPARDSON, D. P. et al. Conceptualizing climate change in the context of a climate system: Implications for climate and environmental education. **Environmental Education Research**, v. 18, n. 3, p. 323–352, 2012.

SILVA, L. F.; CARVALHO, L. M. DE. A Temática Ambiental e o Ensino de Física na Escola Média: Algumas Possibilidades de Desenvolver o Tema Produção de Energia Elétrica em Larga Escala em uma Situação de Ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 3, p. 342–352, 2002.

SILVA, L. F.; CARVALHO, L. M. DE. Educação em Ciências e temática ambiental: aproximações teórico-metodológicas com a perspectiva educacional Freireana. In: **Educação Científica Freireana na Escola Contemporânea**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2019. p. 172.

SOFFIATI, A. Fundamentos filosóficos e históricos para o exercício da ecocidadania e da ecoeducação. In: LOUREIRO, CARLOS FREDERICO BERNARDO; LAYRARGUES, P. P.; CASTRO, R. S. DE (Eds.). **Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania**. São Paulo: Cortez, 2002.

SOLANKI, S. K. et al. Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. **Nature**, v. 431, n. 7012, p. 1084–1087, 2004.

SORRELL, S. Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 74–82, 2015.

SOUSA, P. S. DE; GEHLEN, S. T. Questões Sociocientíficas no Ensino de Ciências: algumas características das pesquisas brasileiras. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 19, n. 0, p. 1–22, 2017.

STEIL, C. A.; CARVALHO, I. C. DE M. Epistemologias ecológicas: Delimitando um conceito. **Mana: Estudos de Antropologia Social**, v. 20, n. 1, p. 163–183, 2014.

STRIEDER, R. B. et al. A educação CTS possui respaldo em documentos oficiais brasileiros? **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 1, n. 1, p. 87, 2016.

TARSIA, R. D. O movimento de precessão da Terra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 4, 1999.

TORRES, J. R.; FERRARI, N.; MAESTRELLI, S. R. P. Educação Ambiental crítico - transformadora no contexto escolar: teoria e prática freireana. In: LOUREIRO, C. F. B.; TORRES, J. R. (Eds.). **Educação Ambiental dialogando com Paulo Freire**. 1. ed. São Paulo: Editora Cortez, 2014. p. 184.

TUAN, Y. **Espaço e Lugar: a perspectiva da experiência**. São Paulo: Difel, 1983.

UNESCO. **Review of Contexts and Structures for Education for Sustainable Development**. Paris: Section for DESD Coordination, 2009.

UNESCO. **Education for Sustainable Development**. Disponível em: <<https://en.unesco.org/themes/education-sustainable-development>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

UNESCO. **Educação para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília:

UNESCO, 2017.

UNGER, N. M. Introdução. In: **Fundamentos Filosóficos do pensamento ecológico**. São Paulo: Editora Loyola, 1992.

UNISDR & CRED. **The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995-2015**. Geneve: [s.n.].

USOSKIN, I. G. et al. Solar activity over the last 1150 years: Does it correlate with climate? **European Space Agency, (Special Publication) ESA SP**, n. 560 I, p. 19–22, 2005.

VASSILIOU, A. **Science Education in Europe: National Policies, Practices a and Research**. Bélgica: [s.n.].

VEISSID, N. **VARIABILIDADE CLIMÁTICA CARACTERIZADA PELO DESVIO PADRÃO DO ALBEDO PLANETÁRIO**. Disponível em: <<http://www.las.inpe.br/~veissid/articles/foziguacu/2142-1.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

VIEIRA, J. DE A. ASTRONOMIA E MEIO AMBIENTE: UMA VISÃO SEMI ÓTICA. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 15, 1992.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins, 2007.

WALL, G. **On Physics and Education for Sustainable Development**. 3rd International Conference on Higher Education on Sustainable Devevelopment. **Anais...Penang**: 2009

WALL, G. Exergy, life and sustainable development. **Problems of sustainable development**, v. 8, n. 1, p. 27–41, 2013.

WALSH, E. M.; TSURUSAKI, B. K. “Thank You for Being Republican”: Negotiating Science and Political Identities in Climate Change Learning. **Journal of the Learning Sciences**, v. 27, n. 1, p. 8–48, 2018.

WCED. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. OSLO: [s.n.].

WU, Y. C. J.; SHEN, J. P. Higher education for sustainable development: a systematic review. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 17, n. 5, p. 633–651, 2016.

ZAUTH, G.; OGATA, M. N.; HAYASHI, M. C. P. Um breve panorama sobre a Educação CTS no Brasil. In: HOFFMANN, W. A. M. (Ed.). . **Ciência, tecnologia e sociedade: desafios da construção do conhecimento**. São Carlos: Edufscar, 2011. p. 21–38.

ANEXOS

Anexo I – Detalhamento do *corpus**Corpus* geral

Ref.	Origem da publicação	Título	Autor	Ano
1	Artigo de periódico – Educação ambiental em ação	Educação Ambiental através da interdisciplinaridade nas aulas de Física	Cleber Assis dos Santos	2011
2	Artigo de periódico – <i>Disciplinarum Scientia</i>	Degradação Ambiental: uma abordagem por entropia	André Pedrozini Brandi Vania Elisabeth Barlette	2001
3	Artigo de periódico - Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	As complexidades inerentes ao tema mudanças climáticas: desafios e perspectivas para o ensino de física	Danielle Aparecida dos Reis Luciano Fernandes Silva Newton Figueiredo	2015
4	Artigo apresentado em conferência – Simpósio Nacional de Ensino de Física	Contextualização do ensino de física: utilização da questão ambiental	Fabrcio Mendes Damasceno Carlos Eduardo Novo Gatts	2005
5	Artigo apresentado em conferência – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências	Interfaces entre astronomia e educação ambiental em artigos científicos nacionais	Leonardo Gabriel Diniz Fabiana da Conceição Pereira Tiago Lais de Figueiredo Maia Vinicius Silva Soares	2017
6	Artigo de periódico - Revista Brasileira de Ensino de Física	Aquecimento global: uma abordagem para o ensino de Física	Diogo A. Magalhães	2014
7	Artigo de periódico - Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	Significados atribuídos ao tema “mudanças climáticas” em livros didáticos de ciências naturais do ensino	Nijima Novello Rumenos Luciano Fernandes Silva Rosa Maria Feiteiro Cavalari	2017
8	Artigo de periódico - Revista eletrônica em gestão,	Sustentabilidade ambiental e postulados termodinâmicos à luz da obra de Nicholas Georgescu-Roegen	Leila Cristina Aoyama Barbosa e Carlos Alberto Marques	2015

	educação e tecnologia ambiental			
9	Artigo apresentado em conferência – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências	A complexidade dos temas ambientais	Giselle Watanabe Caramello Maria Regina Dubeux Kawamura	2009
10	Artigo apresentado em conferência – Congreso Internacional Sobre Investigación En Didáctica De Las Ciencias	Articulações entre complexidade e meio ambiente: propostas para o ensino de física	Giselle Watanabe Caramello Maria Regina Dubeux Kawamura	2013
11	Artigo de periódico – Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	Elementos para desenvolver abordagens temáticas na perspectiva socioambiental complexa e reflexiva	Giselle Watanabe-Caramello Roseline Beatriz Strieder	2011
12	Artigo de periódico – Experiências em Ensino de Ciências	O aquecedor solar na sala de aula	Luiz Antonio de Quadros Dworakowski Guilherme Frederico Marranghello Pedro Fernando Teixeira Dorneles	2010
13	Artigo apresentado em conferência – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências	Integrando o céu noturno e o meio ambiente	Fabiana da Conceição Pereira Tiago Leonardo Gabriel Diniz Sidney Maia Araújo Carla Juliana Pereira dos Santos Lais de Figueiredo Maia Vinicius Silva Soares	2017

14	Artigo de periódico – Educação ambiental em ação	Educação ambiental planetária: por uma abordagem extraterrestre	Keylor Bronzato Lucyani Nascimento Kelly Alves de Souza Gizele Alves Carvalho	2015
15	Artigo de periódico – The Physics Teacher	Teaching introductory physics with an environmental focus	Mathew Martinuk Rachel F. Mol Andrzej Kotlicki	2010
16	Artigo de periódico – Science & Education	Teaching energy concepts by working on themes of cultural and environmental value	Ugo Besson	2014
17	Artigo de periódico - Policy Futures in Education	Solar ethics: a new paradigm for environmental ethics and education?	Michael Adrian Peters	2009
18	Artigo de periódico - International Journal of Science and Mathematics Education	Content for teaching sustainable energy systems in physics at upper secondary school	Susanne Engström Peter Gustafsson Hans Niedderer	2010
19	Artigo de periódico - Physics Education	Physics literacy, energy and the environment	Art Hobson	2003
20	Artigo de periódico – Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental	Ações pedagógicas no ensino de física com foco na educação ambiental	Rosangela Ines Matos Uhmman Lenir Basso Zanon	2012
21	Artigo de periódico – Revista Brasileira de Ensino de Física	A temática ambiental e o ensino de física na escola média: algumas possibilidades de desenvolver o tema produção de energia elétrica em larga escala em uma situação de ensino	Luciano Fernandes Silva e Luiz Marcelo de Carvalho	2002
22	Artigo de periódico – Anuário do Instituto de Geociências UFRJ	Astronomia e meio ambiente	Jorge de Albuquerque Vieira	1992

23	Artigo de periódico – Revista Brasileira de Ensino de Física	Análise de um texto paradidático sobre energia e meio ambiente	Alice Assis Benjamin Odete Pacubi Baier Teixeira	2001
24	Artigo de periódico – The Journal of Environmental Education	View point: ode to planet earth	Graeme D. Buchan	2010
25	Artigo de periódico – Journal of Environmental Studies and Sciences	The physics of love using humor and storytelling to open minds and hearts to green values	Jennifer Joy Pawlitschek	2013
26	Artigo de periódico – Journal of Environmental Studies and Sciences	Energy education and the dilemma of mitigating climate change	John H. Perkins Catherine Middlecamp David Blockstein Jennifer Rivers Cole Robert H. Knapp Kathleen M. Saul Shirley Vincent	2014
27	Artigo de periódico – Caderno Brasileiro de Ensino de Física	Mudanças climáticas: reflexões para subsidiar esta discussão em aulas de física	Agenor Pina Luciano Fernandes Silva Zolacir Trindade de Oliveira Junior	2010
28	Artigo de periódico – revista brasileira de educação ambiental	Energia solar: metodologia para avaliação do local de instalação de sistema fotovoltaico fomentando a EA	Claudemiro Lima Júnior Bruno Basílio Rodrigues Fabrício Villa Verde Silva Leudiane Rodrigues Luz Regina Lúcia Félix de Aguiar Lima	2018
29	Artigo de periódico – Ciência & Educação	Transversalizando conteúdos de Física no ensino médio: o efeito estufa causado pela pecuária	Robert De-Carvalho Ana Paula Matei	2019

30	Artigo de periódico – Experiências em Ensino de Ciências	Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica	Alexandre Luis Junges Vinícius Yuri Santos Neusa Teresinha Massoni	2018
31	Artigo de periódico – Learning and Instruction	Designs for learning about climate change as a complex system	Michael J. Jacobson Lina Markauskaite Alisha Portolese Manu Kapur Polly K. Lai Gareth Roberts	2017
32	Artigo de periódico – Journal of the Learning Sciences	“Thank You for Being Republican”: Negotiating Science and Political Identities in Climate Change Learning	Elizabeth M. Walsh Blakely K. Tsurusaki	2017
33	Artigo de periódico - Environmental Education Research	Conceptualizing climate change in the context of a climate system: implications for climate and environmental education	Daniel P. Shepardson Dev Niyogi Anita Roychoudhury Andrew Hirsch	2011
34	Artigo de periódico - Journal of College Science Teaching	Teaching Relevant Science for Scientific Literacy: Adding Cultural Context to the Sciences	Art Hobson	2001
35	Artigo de periódico - The Physics Teacher	Campus as a Living Laboratory for Sustainability: The Physics Connection	Timothy Lindstrom Catherine Middlecamp	2018
36	Artigo de periódico – Journal of The European Academy of Science and Arts	Exergy, Life and Sustainable Development	Göran Wall	2013
37	Artigo de periódico – Revista Práxis	Geração de energia em larga escala por usinas termelétricas: uma questão sociocientífica no ensino de física	João Carlos Borges Solange de Almeida Da Boit Presa Samuel Costa	2019

38	Artigo de periódico – Revista brasileira de educação Ambiental	Prática experimental: educação ambiental, energia eólica e o ensino de física	Claudemiro de Lima Júnior Fabricyo Villa Verde Silva Eduardo César de Miranda Loureiro	2019
39	Artigo de periódico – Education sciences	Sustainability and physics education	Vera Montalbano	2017
40	Artigo de periódico – The Physics Teacher	Incorporating Sustainability and 21st-Century Problem Solving into Physics Courses	Michael Rogers Tom Pfaff Jason Hamilton Ali Erkan	2013
41	Artigo de periódico – Experiências em Ensino de Ciências	Ensino de Física e educação ambiental: percepções de sustentabilidade dos estudantes em uma atividade de robótica sustentável	Rodrigo Baldow Everaldo Nunes de Farias Filho Bruno Silva Leite Carmen Roselaine de Oliveira Farias Marcelo Brito Carneiro Leão	2018

Corpus reduzido**Tema: Aquecimento Global**

Ref.	Origem da publicação	Título	Autor	Ano
1	Artigo de periódico – Educação ambiental em ação	Educação Ambiental através da interdisciplinaridade nas aulas de Física	Cleber Assis dos Santos	2011
3	Artigo de periódico - Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	As complexidades inerentes ao tema mudanças climáticas desafios e perspectivas para o ensino de física	Danielle Aparecida dos Reis Luciano Fernandes Silva Newton Figueiredo	2015
6	Artigo de periódico - Revista Brasileira de Ensino de Física	Aquecimento global: uma abordagem para o ensino de Física	Diogo A. Magalhães	2014
16	Artigo de periódico – Science & Education	Teaching energy concepts by working on themes of cultural and environmental value	Ugo Besson	2014
27	Artigo de periódico – Caderno Brasileiro de Ensino de Física	Mudanças climáticas: reflexões para subsidiar esta discussão em aulas de física	Agenor Pina Luciano Fernandes Silva Zolacir Trindade de Oliveira Junior	2010
29	Artigo de periódico – Ciência & Educação (Bauru)	Transversalizando conteúdos de Física no ensino médio: o efeito estufa causado pela pecuária	Roberth De-Carvalho Ana Paula Matei	2019
30	Artigo de periódico – Experiências em Ensino de Ciências	Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica	Alexandre Luis Junges Vinícius Yuri Santos Neusa Teresinha Massoni	2018
31	Artigo de periódico – Learning and Instruction	Designs for learning about climate change as a complex system	Michael J. Jacobson Lina Markauskaite Alisha Portolese Manu Kapur Polly K. Lai Gareth Roberts	2017

32	Artigo de periódico – Journal of the Learning Sciences	“Thank You for Being Republican”: Negotiating Science and Political Identities in Climate Change Learning	Elizabeth M. Walsh Blakely K. Tsurusaki	2017
33	Artigo de periódico - Environmental Education Research	Conceptualizing climate change in the context of a climate system: implications for climate and environmental education	Daniel P. Shepardson Dev Niyogi Anita Roychoudhury Andrew Hirsch	2011
34	Artigo de periódico - Journal of College Science Teaching	Teaching Relevant Science for Scientific Literacy: Adding Cultural Context to the Sciences	Art Hobson	2001
40	Artigo de periódico – The Physics Teacher	Incorporating Sustainability and 21st-Century Problem Solving into Physics Courses	Michael Rogers Tom Pfaff Jason Hamilton Ali Erkan	2013

Tema: Sustentabilidade

Ref.	Origem da publicação	Título	Autor	Ano
8	Artigo de periódico - Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental	Sustentabilidade ambiental e postulados termodinâmicos à luz da obra de Nicholas Georgescu-Roegen	Leila Cristina Aoyama Barbosa e Carlos Alberto Marques	2015
18	Artigo de periódico - International Journal of Science and Mathematics Education	Content for teaching sustainable energy systems in physics at upper secondary school	Susanne Engström Peter Gustafsson Hans Niedderer	2010
19	Artigo de periódico - Physics Education	Physics literacy, energy and the environment	Art Hobson	2003
21	Artigo de periódico – Revista Brasileira de Ensino de Física	A temática ambiental e o ensino de física na escola média: algumas possibilidades de desenvolver o tema produção	Luciano Fernandes Silva e Luiz Marcelo de Carvalho	2002

		de energia elétrica em larga escala em uma situação de ensino		
26	Artigo de periódico – Journal of Environmental Studies and Sciences	Energy education and the dilemma of mitigating climate change	John H. Perkins Catherine Middlecamp David Blockstein Jennifer Rivers Cole Robert H. Knapp Kathleen M. Saul Shirley Vincent	2014
28	Artigo de periódico – revista brasileira de educação ambiental	Energia solar: metodologia para avaliação do local de instalação de sistema fotovoltaico fomentando a EA	Claudemiro Lima Júnior Bruno Basílio Rodrigues Fabrício Villa Verde Silva Leudiane Rodrigues Luz Regina Lúcia Félix de Aguiar Lima	2018
35	Artigo de periódico - The Physics Teacher	Campus as a Living Laboratory for Sustainability: The Physics Connection	Timothy Lindstrom Catherine Middlecamp	2018
36	Artigo de periódico – Journal of The European Academy of Science and Arts	Exergy, Life and Sustainable Development	Göran Wall	2013
37	Artigo de periódico – Revista Práxis	Geração de energia em larga escala por usinas termelétricas: uma questão sociocientífica no ensino de física	João Carlos Borges Solange de Almeida Da Boit Presa Samuel Costa	2019
38	Artigo de periódico – Revista brasileira de educação ambiental	Prática experimental: educação ambiental, energia eólica e o ensino de física	Claudemiro de Lima Júnior Fabrício Villa Verde Silva Eduardo César de Miranda Loureiro	2019
39	Artigo de periódico – Education sciences	Sustainability and physics education	Vera Montalbano	2017

41	Artigo de periódico – Experiências em Ensino de Ciências	Ensino de Física e educação ambiental: percepções de sustentabilidade dos estudantes em uma atividade de robótica sustentável	Rodrigo Baldow Everaldo Nunes de Farias Filho Bruno Silva Leite Carmen Roselaine de Oliveira Farias Marcelo Brito Carneiro Leão	2018
----	--	---	---	------

Anexo II – Conceitos científicos e métodos para lidar com a temperatura planetária envolvidos no tratamento do aquecimento global

O albedo planetário

Quando avistada de um ponto bem distante, a Terra parece um pequeno ponto azul. Cerca de 70% de sua superfície é coberta por água. No entanto, quando observada de um ponto mais próximo, observa-se que a superfície contém diferentes nuances e que a cobertura de nuvens pode alterar significativamente o predomínio azul da paisagem.

Figura 16 - Terra vista da estação espacial internacional



Fonte: Alexander Gerst (NASA, 2021).

Cada tipo de material que reveste a superfície terrestre (areia, vegetação, rochas, água, neve etc) interage de modo diferente com a energia solar que chega até o planeta. Superfícies com cores mais escuras, como o oceano e as florestas, refletem pouca energia, enquanto partes mais claras, como a neve, o gelo e as nuvens, refletem praticamente toda a energia que chega até elas. Além disso, a inclinação entre a superfície e a radiação também determina a reflexividade, o que faz com que o tipo de relevo influencie nesse processo.

O conceito de *albedo* é utilizado para caracterizar o grau de reflexividade de cada tipo de superfície. Também conhecido como coeficiente de reflexão (ou, como derivado do latim, *brancura*) ele representa a fração de luz incidente em uma superfície que será refletida. Em termos quantitativos, o albedo (A) pode ser definido como a razão entre energia refletida (E_r) e energia incidente (E_i).

$$A = \frac{E_r}{E_i}$$

Através de montagens experimentais o albedo de algumas superfícies que caracterizam a cobertura terrestre pôde ser calculado. A tabela a seguir apresenta faixas aproximadas para o albedo de algumas superfícies.

Tabela 2 - Faixas para o albedo de coberturas terrestres

Superfície	Albedo
Vegetação	15% a 30%
Areia	30% a 40%
Neve e gelo	70% a 90%
Oceanos	2% a 10%
Concreto	40% a 60%

Fonte: (COAKLEY, 2003).

O albedo terrestre está fortemente relacionado com as temperaturas no planeta, uma vez que o clima é função do balanço energético entre a radiação solar incidente na Terra e as parcelas absorvidas/refletidas pela atmosfera e superfície, bem como da radiação refletida de volta ao espaço (VEISSID, 2013). Por exemplo, a radiação que não é refletida é, então, absorvida pela superfície e desencadeia processos térmicos, como a elevação da temperatura da superfície das camadas de ar mais baixas da atmosfera, evaporação da água, derretimento da neve e do gelo. Desse modo, variações no albedo acarretam mudanças no balanço de energia que, por sua vez, ocasionam as variações dos parâmetros atmosféricos e climáticos.

Em termos quantitativos, o albedo terrestre pode ser compreendido como o resultado da contribuição de cada tipo de superfície que cobre o planeta e da quantidade de nuvens presentes na atmosfera. Através de medidas realizadas ao longo das últimas cinco décadas, cientistas estimam que o valor médio para o albedo terrestre é de 0,30 (NASA, 2014).

Estimativa para a temperatura de equilíbrio planetária

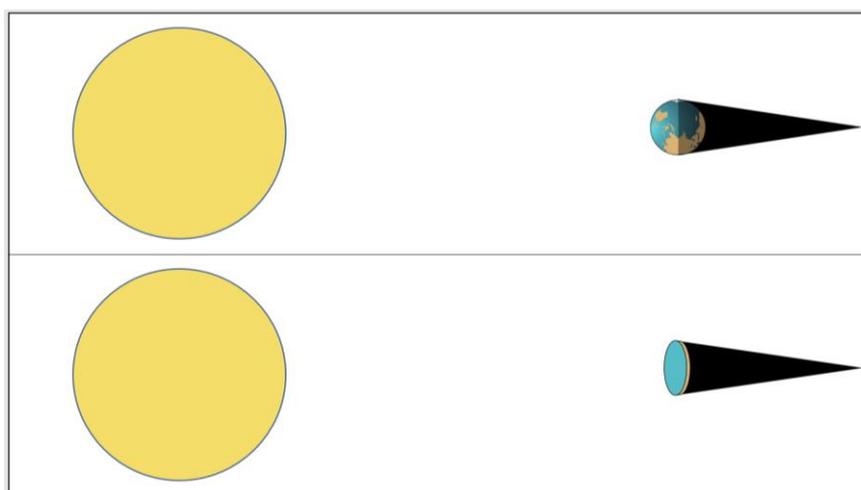
A temperatura de equilíbrio de um planeta refere-se a um valor esperado de temperatura para sua superfície, obtido através de cálculos que consideram o processo de balanço de energia. Esse processo diz respeito ao equilíbrio entre o fluxo de entrada e

saída de energia do planeta. Isto é, a radiação emitida pelo Sol é absorvida pelo planeta (entrada) que se aquece e, assim como qualquer outro corpo aquecido, irradia energia de volta para o espaço (saída). O planeta se aquece até que a energia por ele emitida se equilibre com a energia recebida. Esse equilíbrio é conhecido como **equilíbrio térmico**.

A temperatura de equilíbrio, portanto, se refere à temperatura a partir da qual o planeta atinge o estado de equilíbrio térmico. Trata-se de uma previsão teórica em que um corpo celeste é aproximado de um corpo negro, aquecido por sua estrela mãe. O modelo simplifica as condições que determinam a temperatura do planeta a partir da desconsideração de muitas de suas características próprias.

Através de medições realizadas por satélites, é conhecido que o valor médio da energia solar que alcança a Terra aproxima-se de 1360 W/m^2 (GÓMEZ *et al.*, 2018). Esse valor é conhecido como constante solar. Como a própria unidade informa, esse valor se refere à quantidade de energia que incide sobre 1 m^2 . Logo, para determinar a quantidade total de energia que alcança a Terra, é necessário conhecer a área total iluminada pelo Sol. A quantidade de luz interceptada por um planeta esférico (como a Terra) é exatamente a mesma que seria bloqueada por um disco plano com o mesmo diâmetro da Terra, como ilustrado na Figura 17. A representação não está em escala.

Figura 17 - Quantidade de luz interceptada pela Terra e por um disco esférico de mesmo diâmetro



Fonte: Elaborada pelo autor.

A energia total (E) que alcança a Terra será dada pelo produto entre a constante solar e a área do disco.

$$E = 1360 \frac{W}{m^2} \times \pi R^2$$

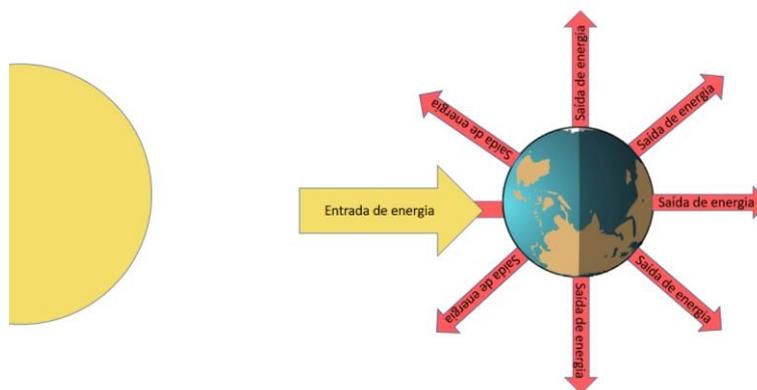
O raio (R) aproximado para a Terra vale 6371 km. Utilizando esse raio na equação acima, obtém-se o total de 174×10^{15} J para a energia total que alcança a Terra. Neste ponto, é importante recapitular que o albedo terrestre tem valor médio de 0,30 e, logo, 30% da energia total será refletida pelo planeta. Logo, aproximadamente 122×10^{15} J serão absorvidos pelo planeta. Por sua vez, a superfície se aquece e devolve essa energia para o espaço na forma de radiação infravermelha.

Os cientistas Joseph Stefan e Ludwig Boltzmann verificaram que a quantidade de energia emitida por um corpo depende de sua temperatura. A equação que relaciona essas duas grandezas ficou conhecida como lei de Stefan-Boltzmann e é apresentada a seguir. “J” representa a potência (W) irradiada por unidade de área (m^2), “T” representa a temperatura (em Kelvin) do corpo emissor e σ representa a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$ watts/ m^2 K⁴)

$$J = \sigma \cdot T^4$$

O artifício de utilizar um disco para determinar a quantidade de energia total interceptada pela Terra não pode ser utilizado para encontrar a potência irradiada pelo planeta, em função de sua rotação, toda a sua superfície é aquecida pela luz solar e, portanto, toda a superfície esférica emite radiação infravermelha. Desse modo, para o caso da Terra, “J” pode ser obtido pela razão entre a energia total emitida pelo planeta (122×10^{15} J) e a área total da superfície que pode ser obtida através da expressão para área de uma esfera ($4\pi R^2$).

Figura 18 - Entrada e saída de energia no planeta



Fonte: Elaborada pelo autor.

Portanto, a temperatura de equilíbrio estimada para o planeta será dada por:

$$T = \sqrt[4]{\frac{J}{\sigma}}$$

A partir da substituição dos valores, obtém-se a temperatura aproximada de 254,8 K, o equivalente a -18 °C.

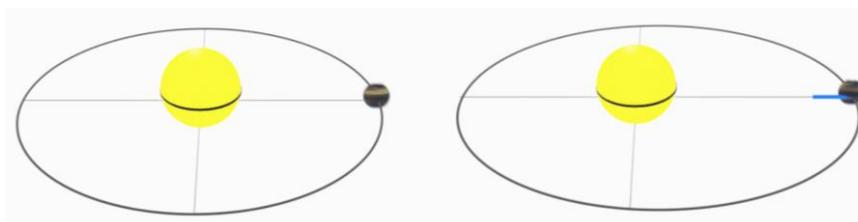
Ciclos orbitais para o planeta Terra

Os movimentos descritos pelo planeta Terra possuem uma forte relação com os fenômenos climáticos. Dentre esses movimentos, a rotação e a translação são bem conhecidos. A rotação se refere ao movimento do planeta em torno de seu próprio eixo, o que leva à alternância entre os dias e noites e à consequente variação nas temperaturas em horários diferentes do dia. A translação é o movimento da Terra em torno do Sol. A combinação da translação com a inclinação do eixo de rotação faz com que a distribuição da energia solar sofra variações ao longo do ano, o que leva à formação das estações do ano.

Além da rotação e da translação, outros três ciclos relacionados à órbita terrestre também fazem variar a insolação e, com isso, podem alterar os padrões climáticos do planeta. Esses movimentos cíclicos – também conhecidos como ciclos de Milankovitch – correspondem a variações na excentricidade da órbita de translação ou na obliquidade e precessão da inclinação do eixo de rotação. A combinação desses efeitos pode afetar a quantidade de radiação solar que incide sob nosso planeta em até 25% (BUIS, 2020).

Mudanças na excentricidade da órbita dizem respeito a variações na distância média entre a Terra e o Sol, em função de variações na forma elíptica de sua trajetória. Essa elipse pode ficar um pouco mais aberta ou fechada (mais próxima de um círculo) em função da interação gravitacional entre a Terra com os planetas Júpiter e Saturno.

Figura 19 - Variação na excentricidade da órbita terrestre

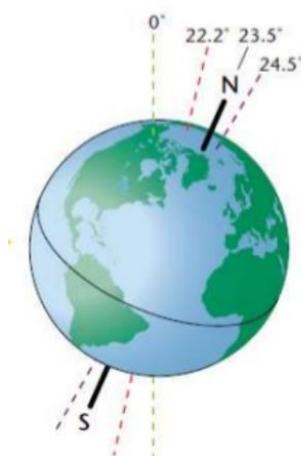


Fonte: (BUIS, 2020).

A quantidade de energia solar que intercepta a Terra quando sua órbita está em forma mais elíptica (representado a direita pela Figura 19) é menor quando comparado ao trajetória mais circular (representado a esquerda pela Figura 19). O ciclo ligado à excentricidade se repete a cada aproximadamente 100.000 anos.

Variações na obliquidade e na precessão estão relacionados a mudanças na inclinação do eixo de rotação da Terra devido a sua interação com a Lua e o Sol (TARSIA, 1999). O ciclo relacionado à **obliquidade** corresponde a pequenas oscilações (aproximadamente 2°) na inclinação do eixo de rotação da Terra em um ciclo que dura cerca de 41.000 anos.

Figura 20 - Variações na obliquidade



Fonte: ossfoundation.us

Temperatura média global e anomalias de temperatura

No contexto do aquecimento global, associar uma temperatura ao planeta é uma noção que por vezes é veiculada pela mídia por meio de sentenças como a “década de 2010 foi a mais quente da história” ou “2020 começou com o janeiro mais quente já registrado no planeta”. Sentenças desse tipo também são recorrentes nos textos do *corpus* analisado nesta tese, como em Junges, Santos e Massoni (2018, p. 147), que informam que “dados de estações meteorológicas e dados de satélites têm indicado que de fato está ocorrendo um aumento da temperatura média global” ou em Pina (2010, p. 466) que ressalta que “a temperatura média da superfície terrestre aumentou desde o fim do século XIX”.

Apesar do protagonismo desse termo no *corpus* e no contexto climático em geral, sua explicação representa uma lacuna, que se limita à apresentação de gráficos que apontam anomalias de temperatura. Ou seja, informações relacionadas ao processo de

como associar uma temperatura ao globo são pouco exploradas – nenhum dos textos da amostra se dedica a isso –, atribuindo maior ênfase aos resultados do que ao processo. A exceção é a utilização do conceito de temperatura de equilíbrio para o planeta – apresentado na seção 3.3.1. No entanto, a intenção nesse caso se volta para a identificação de fatores que influenciam essa temperatura, e não para a constatação de um fenômeno climático no planeta.

Desse modo, julgamos ser conveniente apresentar uma breve discussão sobre como a temperatura média é obtida, uma vez que ela cumpre um papel importante nos estudos que evidenciam o aquecimento global, bem como nas comunicações para o público geral. Além disso, a discussão sobre esse processo é importante, uma vez que o desconhecimento sobre aspectos científicos relacionados ao aquecimento global podem corroborar posicionamentos ideológicos que negam sua existência (WALSH; TSURUSAKI, 2018), bem como deslegitimar o conjunto de evidências que indicam sua ocorrência (ROSENAU, 2012).

Os mecanismos que levam a negar/deslegitimar o aquecimento global são muito mais complexos do que o simples desconhecimento de aspectos científicos (COLLOMB, 2014; LEITE, 2014; ORESKES; CONWAY, 2011). Contudo, o que propomos é que o empreendimento promovido nos estudos que buscam integrar a dimensão ambiental à formação científica ofereça oportunidades para enfrentar o desafio de percepção do aquecimento global e a problematização da atividade humana. Nesse sentido, entendemos que a discussão do processo de atribuir uma temperatura ao globo, ainda que feita de modo qualitativo, pode subsidiar esse empreendimento.

O raciocínio por trás da tarefa de associar uma temperatura ao planeta envolve a noção de temperatura média global obtida através de medidas locais – no entanto o procedimento é bem mais complexo do que extrair a média aritmética entre dois pontos – máximos e mínimos de temperaturas para regiões muito quentes ou muito frias. Milhares de medidas para a temperatura do ar próximo à superfície da terra e dos oceanos são coletadas por estações de observação que estabelecem um amplo conjunto de dados. Quatro principais centros de estudos climáticos (NASA, NOAA, MOHOC e JMA) são responsáveis por obter esses dados e suas estações cobrem cerca de 90% do globo terrestre.

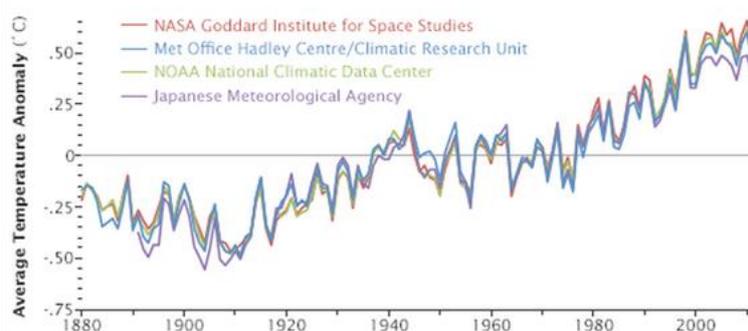
A partir desses dados, a superfície do planeta é dividida em pequenas áreas (grades) que têm sua temperatura média mensal calculada combinando os dados de todas as estações disponíveis nessa área. Cada uma dessas pequenas áreas tem suas

características climáticas bem conhecidas, uma vez que já foram coletadas informações sobre sua temperatura ao longo do dia para um período de mais de 30 anos, o que permite estabelecer sua temperatura média a longo prazo. Ou seja, o modelo utilizado pelos especialistas permite conceber a temperatura média de longo prazo para cada uma dessas pequenas áreas do planeta e compará-la com médias para intervalos menores de tempo.

É desse ponto que emerge o conceito de anomalia de temperatura. A temperatura média de cada estação, para uma determinada faixa temporal (o mês de janeiro, por exemplo), é comparada à temperatura média de longo prazo para essa mesma faixa (por exemplo, os meses de janeiro ao longo várias décadas). As diferenças observadas são chamadas de anomalias e orientam a avaliação de como a temperatura está mudando ao longo do tempo. Uma anomalia positiva indica que a temperatura para a faixa temporal está acima da média de longo prazo, enquanto uma anomalia negativa significa que a temperatura média para essa faixa está abaixo da média de longo prazo. Desse modo, os especialistas calculam as anomalias para cada dia ao longo do mês e estabelecem parâmetros de comparação de uma estação para outra e de um ano para outro, conseguindo, assim, determinar anomalias em escalas globais.

A análise das anomalias é de extrema importância, uma vez que constitui uma das principais bases de evidências para que os especialistas detectem alterações climáticas que evidenciam a ocorrência de um aquecimento global. A Figura 21 ilustra as médias de anomalias para temperatura ao longo de décadas para os conjuntos de dados dos principais centros de estudos climáticos.

Figura 21 - Média para anomalias de temperaturas obtidas por diferentes centros de



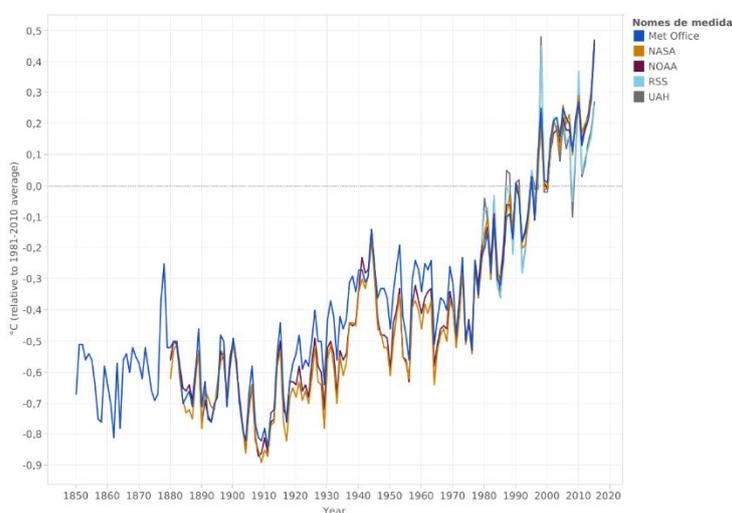
Fonte: NASA Earth Observatory.

Essa análise indica que, nas últimas décadas, as anomalias de temperatura tendem a valores positivos, o que indica que a temperatura média para um dado ano tende a superar a série histórica de temperaturas, o que representa que a temperatura do planeta

está aumentando. As diferenças observadas entre os quatro centros de estudos climáticos refletem particularidades ligadas ao conjunto de dados, como a metodologia aplicada ao tratamento dos dados, as diferenças na área de cobertura, mudanças na instrumentação ao longo do tempo e outros fatores que podem dificultar a medição da temperatura. Portanto, os resultados são ligeiramente diferentes, mas convergem para a tendência de aquecimento nas últimas décadas.

Além da metodologia descrita, a temperatura média global também é avaliada por medições diretas, realizadas por satélites. Os dados assim coletados para as últimas quatro décadas são compatíveis com as medidas realizadas na superfície.

Figura 22 - Média para anomalias de temperaturas globais obtidas por satélites



Fonte: Climatecentral.org

Desse modo, a temperatura média global sintetiza a ideia de que, dentre as milhares de localidades que possuem o monitoramento de temperatura, encontram-se anomalias, positivas e negativas, que oscilam em até mais ou menos 5°C ao longo das últimas décadas. Ou seja, certas partes do planeta ficaram mais quentes que outras, enquanto outras tiveram suas temperaturas reduzidas. Quando todas essas localidades são consideradas, observa-se que a temperatura global nos últimos anos é maior em 1,5 °C, quando comparada à média histórica (entre 1951 e 1990) (COLE, 2019).