



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA (PPGECM)

ÂNGELO ANTÔNIO SANTOS DE OLIVEIRA

Simulações Computacionais no Ensino de Física:
Contribuições da Filosofia da Tecnologia à Alfabetização
Científica e Tecnológica

Goiânia
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

ÂNGELO ANTÔNIO SANTOS DE OLIVEIRA

3. Título do trabalho

Simulações Computacionais no Ensino de Física: Contribuições da Filosofia da Tecnologia à Alfabetização Científica e Tecnológica

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.

Documento assinado eletronicamente por **Luiz Gonzaga Roversi Genovese, Professor do Magistério**



Superior, em 27/09/2022, às 16:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANGELO ANTONIO SANTOS DE OLIVEIRA, Discente**, em 30/09/2022, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3222584** e o código CRC **83B9180E**.

ÂNGELO ANTÔNIO SANTOS DE OLIVEIRA

**Simulações Computacionais no Ensino de Física:
Contribuições da Filosofia da Tecnologia à Alfabetização
Científica e Tecnológica**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Educação em Ciências e Matemática da
Universidade Federal de Goiás
(PPGCM-UFG) - Área de Concentração
em Qualificação de Professores de
Ciências e Matemática, como requisito
para obtenção do Título de Mestre em
Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Gonzaga
Roversi Genovese

Goiânia, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, Ângelo Antônio Santos de
Simulações Computacionais no Ensino de Física [manuscrito] :
Contribuições da Filosofia da Tecnologia à Alfabetização Científica e
Tecnológica / Ângelo Antônio Santos de Oliveira. - 2022.
130 f.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Gonzaga Roversi Genovese.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró
reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em
Educação em Ciências e Matemática, Goiânia, 2022.

Apêndice.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Simulações por computador. 2. Ensino de Ciências. 3. Teoria
Crítica da Tecnologia. 4. Análise Textual. 5. Iramuteq. I. Genovese,
Luiz Gonzaga Roversi, orient. II. Título.

CDU 51:37



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata da sessão de Defesa de Dissertação de ÂNGELO ANTÔNIO SANTOS DE OLIVEIRA, que confere o título de Mestre(a) em EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA, na área de concentração em **Qualificação de Professores de Ciências e Matemática**.

Ao/s **01 dia(s) do mês de setembro de 2022**, a partir da(s) **09:00**, por VIDEOCONFERÊNCIA, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “Simulações Computacionais no Ensino de Física: Contribuições da Filosofia da Tecnologia à Alfabetização Científica e Tecnológica”. Os trabalhos foram instalados pelo(a) Orientador(a), Professor(a) Doutor(a) LUIZ GONZAGA ROVERSI GENOVESE - UFG com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor(a) Doutor(a) ADDA DANIELA LIMA FIGUEIREDO ECHALAR - UFG, membro titular interno; Professor(a) Doutor(a) CINTHIA LETICIA DE CARVALHO ROVERSI GENOVESE - UFG, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido(a) o(a) candidato(a) **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo(a) Professor(a) Doutor(a) LUIZ GONZAGA ROVERSI GENOVESE, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Gonzaga Roversi Genovese, Professor do Magistério Superior**, em 19/09/2022, às 22:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cinthia Letícia De Carvalho Roversi Genovese, Professor do Magistério Superior**, em 20/09/2022, às 09:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adda Daniela Lima Figueiredo Echalar, Professora do Magistério Superior**, em 20/09/2022, às 14:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3120429** e o código CRC **AA5F7BB2**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer minha família pelo apoio incondicional, mesmo durante as férias. Pela paciência e compreensão nos meus momentos de abstenção. Um agradecimento especial aos meus irmãos Geo e JP, pela companhia e companheirismo todo o tempo. Obrigado à Fabiana pelo otimismo e disposição em mostrar o seu amor pela educação.

Obrigado ao Antônio Afonso de Oliveira, pelo apoio e pelos ensinamentos, essenciais na construção da minha caminhada. Te amo, pai.

Agradeço a todos os amigos que diretamente ou indiretamente fizeram parte desse trabalho. Obrigado especial à Gabriella Damas, minha parceira e companheira em todos os momentos.

Obrigado ao Professor Dr. Luiz Gonzaga Roversi Genovese pela (des)orientação e pelas ótimas ideias. Sem o senhor essa construção não seria possível.

Também gostaria de agradecer a todos os professores do PPGEEM-UFG pelos ensinamentos, momentos de discussão e pela oportunidade de fazer parte de algo maior do que eu mesmo, especialmente às professoras Dr. Adda Daniela Lima Figueiredo Echalar e Dr. Cinthia Letícia De Carvalho Roversi Genovese.

Os últimos agradecimentos ficam para a Universidade Federal de Goiás, pela dedicação e empenho de toda administração e colegiado na promoção de um espaço qualificado para o aprendizado e construção do conhecimento pautado, fundamentalmente, na Educação e Ciência.

Bem, Stephen, se eu estiver certa, isso significa que a Máquina está conduzindo o nosso futuro por nós não apenas por meio de simples respostas diretas às nossas perguntas diretas, mas por meio de uma resposta geral à situação do mundo e à psicologia dos humanos como um todo. [...] Stephen, como vamos saber o que o bem maior da humanidade implicará? Nós não temos à *nossa* disposição os fatores infinitos que a Máquina tem a *sua* disposição! Talvez toda a nossa civilização técnica tenha criado mais tristeza e miséria do que eliminado. Talvez uma civilização agrária ou pastoril, com menos cultura e menos pessoas, fosse melhor. Se for esse o caso, as Máquinas devem seguir nessa direção, preferencialmente sem nos contar, uma vez que, envoltos em nossos preconceitos ignorantes, só sabemos que aquilo a que estamos acostumados é bom... e então nós lutaríamos contra a mudança.

(Dra. Susan Calvin em *Eu, robô*. ASIMOV, 2014, p. 301).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modos de manifestação da tecnologia.....	09
Figura 2 - Representação das abordagens determinista e instrumental das tecnologias na educação.....	29
Figura 3 - Representação da abordagem sociotécnica na educação.....	31
Figura 4 - Visão geral conceitual da AC.....	37
Figura 5 - Modos de simulação no Ensino de Ciências.....	52
Figura 6 - Distribuição dos trabalhos em função do nível de ensino das atividades.....	62
Figura 7 - Distribuição dos trabalhos de acordo com o ano de publicação.....	63
Figura 8 - Dendograma gerado pelo iramuteq a partir da CHD.....	68
Figura 9 - Dendograma com as palavras mais importantes de cada classe.....	70
Figura 10 - Segmentos de texto característicos da classe Instrumental.....	72
Figura 11 - Segmentos de Texto característicos da classe Operacional.....	73
Figura 12 - AFC mostrando o nível de correspondência entre as palavras de cada classe.....	75
Figura 13 - Nível de associação das palavras ciência, tecnologia e simulação com as classes.....	77
Figura 14 - Nível de associação das palavras aluno, professor e aula com as classes.....	78
Figura 15 - Dendograma gerado pelo iramuteq a partir da CHD dos resultados.....	80
Figura 16 - Dendograma com as palavras mais importantes de cada classe na análise textual dos resultados.....	81
Figura 17 - Segmentos de texto característicos da classe da <i>Metodologia</i>	83
Figura 18 - Segmentos de texto característicos da classe <i>Tecnologia</i>	85
Figura 19 - Segmentos de Texto característicos da classe <i>Ciência</i>	86
Figura 20 - AFC mostrando o nível de correspondência entre as palavras de cada classe.....	87
Figura 21 - trando o nível de correspondência entre as palavras de cada classe.....	88
Figura 22 - AFC mostrando o nível de correspondência entre as palavras de cada classe.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Intenções da produção tecnológica.....	12
Quadro 2 - Perspectivas contemporâneas de Tecnologia.....	13
Quadro 3 - Momentos do processo de instrumentalização primária.....	22
Quadro 4 - Momentos do processo de instrumentalização secundária.....	23
Quadro 5 - Posição de diferentes autores sobre o conceito de AC.....	38
Quadro 6 - Indicadores da Alfabetização Científica.....	44
Quadro 7 - Sugestões de abordagens investigativas para a AC.....	98
Quadro 8 - Exemplo de organização da abordagem temática.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Periódicos e Artigos levantados (período 2000-2020).....	57
Tabela 2 - Simuladores.....	64
Tabela 3 - Conceitos Físicos.....	67

RESUMO

Na Educação em Ciências, existe uma tendência em assumir que as qualidades de diferentes tecnologias são transferíveis para os contextos educacionais. Nesse sentido, a pesquisa busca compreender as relações entre os fundamentos e os usos das simulações e o Ensino de Física. O estudo foi embasado nas discussões teóricas da Filosofia da Tecnologia, nos trabalhos de diversos autores (MITCHAM, 1994; FEENBERG, 2010; 2015; 2017; PEIXOTO, 2012; 2015; FREITAS; SEGATTO, 2014; CUPANI, 2016), e especificamente na Teoria Crítica da Tecnologia de Feenberg (2010; 2015; 2017). A pesquisa, com caráter exploratório, foi baseada em uma Revisão Bibliográfica em periódicos nacionais sobre o uso das simulações computacionais na Pesquisa em Ensino de Física. Utilizando os estudos levantados, buscou-se relacionar as concepções destacadas pela Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) à fundamentação teórica e aos resultados obtidos pelos pesquisadores das análises. Partindo da leitura sistemática dos trabalhos, os textos foram selecionados de modo que fossem categorizados em dois *corpus* de análise. O primeiro documento foi construído a partir dos trechos relativos às referências teóricas que embasam os estudos, enquanto o segundo foi montado com os resultados e discussões apresentadas pelos autores. Nesse sentido, as simulações computacionais foram utilizadas a partir de uma perspectiva instrumental, onde as suas qualidades, associadas à modelagem matemática e ao desenho gráfico, são vistas como ferramentas para alcançar a Aprendizagem Significativa. Essa percepção também revela uma dimensão antropocêntrica das atividades mediadas por simulação computacional, sendo os alunos o elemento central na relação com a tecnologia. Na aproximação das simulações com as abordagens da AC e ACT, foi percebido a falta de caracterizações teóricas da tecnologia, percebida na concepção linear, em que primeiro é feita ciência, para depois se produzir tecnologia. Nesse sentido, a abordagem definida por Auler (2003), configura uma excelente abertura para tratar as tecnologias como temas. Desta maneira, as simulações computacionais podem ser trabalhadas na relação entre a escolha social e a especificação técnica. Essas duas qualidades são utilizadas para conceituar, o que Feenberg (2015), entende como o código técnico de uma tecnologia.

Palavras-chave: Simulações por computador; Ensino de Ciências; Teoria Crítica da Tecnologia; Análise Textual; Iramuteq.

ABSTRACT

In Science Education, there is a tendency to assume that the qualities of different technologies are transferable to educational contexts. In this sense, the research seeks to understand the relationships between the foundations and uses of simulations and Physics Teaching. The study based on theoretical discussions of the Philosophy of Technology, on the works of several authors (MITCHAM, 1994; FEENBERG, 2010; 2015; 2017; PEIXOTO, 2012; 2015; FREITAS; SEGATTO, 2014; CUPANI, 2016), and specifically on the Feenberg's Critical Theory of Technology (2010; 2015; 2017). The research, with an exploratory character, was based on a Bibliographic Review in national journals on the use of computer simulations in Research in Physics Teaching. Using the studies surveyed, we sought to relate the concepts highlighted by Scientific and Technological Literacy (ACT) to the theoretical foundation and the results obtained by the researchers of the analyses. Starting on the systematic reading of the works, the texts were selected so that they were categorized into two corpora of analysis. The first document was built from the excerpts related to the theoretical references that support the studies, while the second one assembled with the results and discussions presented by the authors. In this sense, computer simulations were used from an instrumental perspective, where their qualities, associated with mathematical modeling and graphic design, are seen as tools to achieve Meaningful Learning. This perception also reveals an anthropocentric dimension of activities mediated by computer simulation, with students being the central element in the relationship with technology. In the approximation of the simulations with the AC and ACT approaches, the lack of theoretical characterizations of the technology was noticed, perceived in the linear conception, first science is done, then technology is produced. In this sense, the approach defined by Auler (2003), configures an excellent opening to treat technologies as themes. This way, computer simulations worked in the relationship between social choice and technical specification. These two qualities are used to conceptualize what Feenberg (2015) understands as the technical code of technology.

Key-words: Computer simulations; Science teaching; Critical Theory of Technology; Textual Analysis; Iramuteq.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO - Interesses e Trajetória.....	01
CAPÍTULO I - Teoria Crítica da Tecnologia e Alfabetização Científica:	
Perspectivas de Tecnologia no Ensino de Ciências.....	05
1. Filosofia da Tecnologia.....	05
2. Teorias Modernas de Tecnologia.....	09
3. A Teoria Crítica da Tecnologia de Andrew Feenberg.....	16
4. Tecnologia e Educação: Teoria Crítica e Perspectiva Sociotécnica.....	33
5. Relações históricas e conceituais da Alfabetização Científica.....	35
6. Alfabetização Científica e Determinismo tecnológico.....	45
CAPÍTULO II - SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA ALIADA A ANÁLISE TEXTUAL.....	48
1. Simulação no Ensino de Física.....	48
2. Simulações computacionais no Ensino de Física: revisão sistemática.....	56
3. Caracterização das simulações computacionais.....	61
4. Análise Textual <i>corpus 1</i> : Concepções Teóricas.....	68
5. Análise Textual <i>corpus 2</i> : Resultados e Discussões.....	80
6. Considerações e Discussões: ou a instrumentalização das simulações computacionais para a Aprendizagem Significativa.....	90
CAPÍTULO III - Controvérsias científicas e controvérsias tecnológicas: aproximação das simulações computacionais com a ACT.....	94
1. Alfabetização Científica e Tecnológica.....	94
2. Ensino Investigativo e Abordagem Temática.....	97
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
REFERÊNCIAS.....	106
APÊNDICE I.....	112
APÊNDICE II.....	116

INTRODUÇÃO - Interesses e Trajetória

Como não poderia deixar de ser, esta pesquisa é construída a partir de uma perspectiva particular. Desta maneira, ela reflete os anseios e angústias do pesquisador. Gosto de pensar que meu ingresso na carreira docente se deu em dois momentos distintos da minha vida acadêmica. O primeiro foi no início, a decisão de cursar Licenciatura em Física que, primeiramente, acreditava ter sido motivada unicamente pelo meu gosto pessoal pela disciplina, mas mais tarde descobri que também fui influenciado por professores que admirava durante o meu Ensino Médio.

O segundo momento foi mais significativo para o trajeto deste trabalho e ocorreu nos anos finais da minha graduação. Fiz parte do Programa para Incentivo de Bolsas para a Iniciação Docente (PIBID) no Instituto de Física da UFG. Durante esse período, o contato com a pesquisa e com os outros bolsistas, propiciou a descoberta de uma nova dimensão para a carreira de professor. No curso de Licenciatura em Física, o PIBID manteve fortes relações com os estágios por meio do Grande Grupo de Pesquisa (GGP), composto por diferentes atores da universidade e das escolas. O GGP é estruturado em torno de pequenos grupos de pesquisa (PGP), compostos por Professores das escolas e da universidade, estudantes do curso de licenciatura e alunos do ensino básico, estagiários, bolsistas, pesquisadores etc. Estar envolvido nesse ambiente, permitiu que fossem elaboradas reflexões sobre questões pessoais relacionadas a minha formação como professor.

Uma que me acompanha há algum tempo refere-se ao objetivo de um Ensino de Ciências, pois com a crescente desvalorização e perda de espaço das disciplinas científicas, o ensino de Física parecia sem propósito. Durante a graduação e enquanto bolsista, essas observações me levaram a um buscar aprofundamento teórico sobre quais os horizontes possíveis de uma educação científica. Nessa perspectiva, realizei uma pesquisa que me aproximou das concepções da Alfabetização Científica (AC), possibilitando delinear alguns caminhos teóricos e metodológicos que indicavam respostas para as minhas inquietações.

Nesse período do PIBID, estudei as concepções de Alfabetização Científica de autores como Chassot (2014) e Sasseron (2010; 2014), que apresentam as proposições interligadas através de eixos estruturantes. Baseados nos pressupostos que norteiam a AC, pude relacionar os aspectos teóricos com metodologias

diferentes objetivando alguma evidência dessa alfabetização. Essas questões se refletem nas minhas aulas, assim que iniciei em uma escola, no uso de diferentes ferramentas tecnológicas para propor novas abordagens dos conceitos físicos.

Neste contexto reflexivo proporcionado pelo GGP, me interessei em continuar estudando, e me atentei para um programa de pós-graduação em Educação em Ciências. Inicialmente, pensei em analisar uma tecnologia que me interessava e percebia grande potencial como instrumento didático, as simulações computacionais. A ideia era utilizá-la no contexto escolar as vistas de obter algum indicativo de uma alfabetização científica. Entretanto, com o aprofundamento proporcionado pelo mestrado, em especial na área de Filosofia da Tecnologia, foi percebido que as concepções compreendidas dentro da AC, relacionavam o uso de tecnologia somente a partir de uma compreensão de ciência aplicada, ou consideravam apenas as características malélicas que afetam a sociedade.

Conforme me aprofundava na investigação sobre as tecnologias a partir de uma concepção filosófica, as minhas impressões sobre o uso das simulações se alteravam. Buscando relacionar esses novos horizontes teóricos com os conceitos da AC, encontrei um caminho investigativo: Se a simulação computacional é compreendida como uma tecnologia, os aspectos teóricos da AC não se relacionam com o seu uso, portanto só as enxerga a partir do seu valor prático, ou as conceituações teóricas estão *desatualizadas*, e precisa-se construir uma nova percepção de tecnologia nas bases teóricas da Alfabetização Científica.

Desta maneira, a pergunta que guiou os estudos foi: *Na Alfabetização Científica, qual a nova percepção de tecnologia que pode ser construída com base na Filosofia da Tecnologia?*

Sabemos que esta é uma pergunta complexa, e dificilmente uma resposta pode ser construída em termos de uma dissertação. Portanto, buscou-se uma simplificação através do uso de uma tecnologia específica, para posteriormente relacionar os resultados com as características teóricas da AC. Com isso em mente, e correlacionando com o contexto do pesquisador, a pesquisa busca estabelecer as relações entre o uso das simulações na prática de ensino com os eixos estruturantes da Alfabetização Científica. Assim, chegou-se à seguinte questão: *como a visão de simulação computacional em trabalhos acadêmicos da área de Ensino de Física, se relacionam com as concepções teórico-metodológicas da Alfabetização Científica ?*

Entende-se que a questão de pesquisa pode ser abordada através de diferentes dimensões que compõem uma simulação de computador, logo a trajetória delineada neste estudo busca contemplar as simulações, enquanto construções tecnológicas, tendo como ponto de vista a Filosofia da Tecnologia, em específico na Teoria Crítica da Tecnologia. Essa posição, para além das análises, foi estendida às ferramentas empregadas no desenvolvimento da pesquisa, de modo que fossem compreendidas em seu contexto e nas condicionantes que estas implicam na coleta e análise dos dados.

Assim, a investigação consiste em uma revisão bibliográfica sobre as simulações computacionais no Ensino de Física. Para tanto, a pesquisa inicia-se com uma descrição da teoria que embasa o estudo, passando por um momento que busca uma aproximação entre a Teoria Crítica da Tecnologia com as demais temáticas. Em um segundo momento, levantou-se a percepção das simulações computacionais aplicadas no Ensino de Física, apresentadas em 42 artigos de periódicos da área de Educação em Ciências. Por fim, utilizou-se a caracterização proporcionada pela revisão bibliográfica para qualificar a tecnologia quanto à Alfabetização Científica e Tecnológica.

De maneira geral, o trabalho busca qualificar a tecnologia, dentro das perspectivas teóricas da AC, a partir de uma análise baseada na Teoria Crítica da Tecnologia. Como forma de construir essa reflexão, de maneira específica, a pesquisa objetivou contextualizar a simulação computacional enquanto tecnologia a partir de uma Revisão Bibliográfica, baseado em um levantamento da produção acadêmica do uso de simuladores no Ensino de Física.

Percebendo a dificuldade em relacionar esses objetivos, a pesquisa é apresentada por meio de uma trajetória sintetizada em três capítulos. Situando-se entre as ciências humanas e sociais, inevitavelmente os fenômenos educacionais estudados são influenciados pelas possibilidades analíticas dessas ciências. Neste trabalho, o estudo tem como tema *simulações computacionais no Ensino de Física*, que foi abordado através de uma revisão bibliográfica exploratória. Portanto, a investigação apresenta-se como uma pesquisa qualitativa, de modo que o pesquisador, através da produção do trabalho, é o condutor ativo entre esse conhecimento construído na área e de novas evidências que serão elaboradas a partir da pesquisa.

O estudo construído a partir da Revisão Bibliográfica, busca produzir, através de uma narrativa, as características gerais da pesquisa qualitativa, que se superpõem de modo que intenciona-se explorar o tema de maneira aberta, atendo-se a novos elementos com ênfase nos discursos e no contexto em que a investigação se desenrola (LUDKE, 2018). Desta maneira, o texto está estruturado em três partes, que constituem os capítulos da dissertação.

No primeiro capítulo, foi descrita e caracterizada as bases teóricas que vão guiar o estudo. Partindo da filosofia da tecnologia, é construída uma reflexão que busca uma definição dos aspectos que compõem a interpretação da tecnologia. Deste modo, é apresentada a Teoria Crítica da Tecnologia de Feenberg (2010; 2015; 2017), que traz uma nova perspectiva sobre os objetos técnicos na nossa sociedade moderna. A segunda parte deste capítulo, contextualiza essas perspectivas de tecnologia à aspectos teóricos da AC.

O segundo capítulo apresenta a revisão sistemática de literatura dos 42 artigos acadêmicos que usaram a simulação por computador em atividades de Física. Partindo da ideia de determinar seu código técnico, primeiramente as simulações computacionais foram contextualizadas enquanto instrumento de ensino. Após, são apresentadas as características dos estudos avaliados, como simuladores utilizados, conceitos de física abordados etc. Por fim, percebendo a dimensão comunicativa da ciência, realizou-se uma análise textual dos artigos com auxílio do software Iramuteq, onde foram analisadas as bases teóricas e os resultados obtidos.

Por fim, no terceiro e último capítulo, sistematiza as discussões apresentadas nos dois anteriores. Nele busca-se aproximar a visão de simulações computacionais, construída a partir da perspectiva da pesquisa científica em Ensino de Física, ao contexto de Ensino de Ciência, nas contribuições teóricas da AC e embasadas pelas Teoria Crítica da Tecnologia.

CAPÍTULO I - Teoria Crítica da Tecnologia e Alfabetização Científica: Perspectivas de Tecnologia no Ensino de Ciências

1. Filosofia da Tecnologia

No geral, atribuímos a origem da filosofia ocidental à civilização grega, estes preocupavam-se com questões fundamentais sobre a existência, conhecimento, linguagem, razão e mente. Por vezes, essas questões são colocadas como problemas fundamentais, que devem ser resolvidos ou abordados como campo de estudos. Uma dessas questões era o problema relacionado a técnica. Os gregos dividiam o entendimento do mundo na relação entre a *physis*, que é a manifestação do mundo natural e a *poiesis*, que é a atividade prática do fazer, quando os seres humanos se envolvem na produção de algo. O que, de certa forma, abrange as formas antigas e modernas de técnica e tecnologia, visto que é a conjuntura que representa a capacidade humana de fazer coisas (CUPANI, 2016).

Deste modo, toda produção técnica ou tecnológica parte da manifestação de um saber, ou seja, a aptidão humana de produzir conforme uma *arte*, que implica regras de procedimentos para a produção dos *artefatos* ou processos *artificiais*. Diferente do natural, o artificial é identificado como aquilo que é resultado de determinada arte. Para a antiga filosofia grega, esse conceito é compreendido como *techné*, a disciplina e conhecimento associado a determinada *poiesis*. Assim, os artefatos se manifestam através de uma variedade de produtos técnicos, artísticos e culturais (FEENBERG, 2015).

Uma das questões importantes introduzidas pelos filósofos gregos, que se relacionam com a técnica, foram trazidas até os tempos atuais, é a dicotomia entre essência e existência. Mesmo que as definições tenham se alterado ao longo dos anos, a relação entre os dois conceitos permanece atual. Na filosofia grega, embora os objetos dependam da atividade humana, a *techné* carrega em si uma objetividade que independe de opinião e outras questões subjetivas. Nessa visão, as técnicas pressupõem um essencialismo que independe do mundo natural, ou seja, os artefatos são trazidos à realidade através de uma perspectiva essencialista que pré-determina a sua existência.

A distinção entre essência e existência forma uma dimensão base do pensamento filosófico ocidental, mas a relação entre os dois conceitos é mais

complexa e importante para a compreensão de técnica e, para o nosso caso, de tecnologia. Embora os filósofos gregos antigos não tivessem as tecnologias que temos hoje, tinham atividades ligadas à técnica que eram equivalentes ao que hoje é tecnologia. Suas reflexões já traziam as compreensões de que a utilização dos objetos e processos técnicos demandam um comportamento específico, seguindo regras determinadas. Assim, a *techné* consiste na essência da coisa a se fazer antes do ato de fazer. É uma realidade independente do próprio objeto e do sujeito que o cria. Os humanos criam os artefatos a partir de códigos e técnicas bem definidas de tal modo que o fazem de acordo com um planejamento, buscando suprimir uma finalidade objetiva do mundo (FEENBERG, 2015).

Em oposição a isso, a questão sobre essência e existência nas coisas naturais torna-se mais complexa. Ao contrário da *techné*, onde o conhecimento essencial para os próprios objetos que a define, o conhecimento da natureza é uma atividade puramente humana, sendo essas questões indiferentes para o mundo natural que se tenta definir. A essência das coisas naturais torna-se irrelevante para as questões existenciais, onde a praticidade não é questão central, mas sim uma compreensão mais profunda da realidade habitada.

Platão, um dos filósofos gregos mais importantes da antiguidade, apresenta em suas reflexões o entendimento de um mundo ideal, ligado à essência, anterior à realidade concreta onde o mundo está manifesto. Apesar das semelhanças com o que foi apresentado sobre a *techné*, Platão não limitava sua teoria aos artefatos, estendendo a oposição essência-existência a todos os seres, incluindo o mundo natural. Nesse ponto de vista, não existe uma descontinuidade entre o fazer técnico e a produção natural, pois ambos compartilham a mesma estrutura. A essência das coisas naturais inclui um propósito, assim como a essência dos objetos técnicos (FEENBERG, 2015). Essa percepção implica uma compreensão correspondente do ser humano, que trabalha com o potencial da natureza, onde o conhecimento não é aleatório, mas complementar com o que está oculto no mundo natural. Nessa perspectiva, a produção e utilização de artefatos conta com a aquisição de habilidades específicas, ademais, viver e produzir tecnicamente revela-se como uma capacidade natural do ser humano (CUPANI, 2016).

Mesmo que a técnica seja presente na história humana desde os primórdios, a participação da ciência na produção de artefatos é percebida como um ponto de inflexão que diferencia a técnica tradicional, baseada no conhecimento empírico, da

tecnologia moderna, fruto do saber teórico sistematizado. A partir da primeira revolução industrial, no final do século XVIII e início do século XIX, a integração das compreensões teóricas das estruturas e processos do mundo natural e social, possibilitou a produção sistemática de artefatos de forma massiva. É justamente no contexto europeu que surge a concepção de tecnologia moderna, que é a produção técnica embasada na ciência e na racionalidade científica aplicada, diferente da técnica tradicional (CUPANI, 2016). Essa impressão europeia, produto da soma de fatores políticos, culturais e religiosos, enfatiza a adaptação racional dos meios aos fins, atribuindo aos objetos naturais o papel de sujeito passivo frente à dominação humana (ROSENBERG, 2006).

Ainda que a produção técnica possa ser atribuída aos sujeitos individualmente, na sociedade moderna ela existe como materialização tanto do aspecto natural quanto do aspecto social dos seres humanos. A produção e utilização dos artefatos é manifesta na vida social, ou seja, os modos de produção e uso dependem diretamente do tipo de sociedade em que as atividades se desenvolvem. Uma sociedade em que os artefatos têm seu uso limitado é diferente de uma em que a sua utilização e influência sejam quase compulsivas e universais, uma diferença que leva a caracterização de uma tecnologia moderna diferente da antiguidade (CUPANI, 2016).

A compreensão de tecnologia moderna distingue-se da realidade dos antigos filósofos, entretanto, Feenberg (2015), defende que a Filosofia da Tecnologia se inicia com as reflexões dos gregos. O autor justifica essa afirmativa ao considerar que a tecnologia possui um “[...] estatuto inferior na cultura superior das sociedades modernas, mas na realidade está aí a origem dessa mesma cultura que, ao acreditarmos nos gregos, continham a chave da compreensão do ser como um todo” (FEENBERG, 2015, p. 122). A partir da segunda metade do século XX os estudos sobre a tecnologia ganharam aprofundamento com novas abordagens filosóficas, caracterizando o surgimento de um novo campo de estudos. Atualmente, a Filosofia da Tecnologia se manifesta mundialmente em diversos estudos e trabalhos de pesquisa, demonstrando a pertinência da reflexão sobre as nossas relações com as tecnologias.

Neste sentido, a visão moderna da tecnologia carrega a promessa de dominação da natureza através do pensamento racional, entretanto, diferente dos gregos, atualmente a compreensão contemporânea da essência é convencional,

mais do que real. “O significado e o propósito das coisas é algo que nós criamos, não algo que nós descobrimos, o que aumenta a distância entre os humanos e o mundo” (FEENBERG, 2015, p. 123). Nós não estamos no mundo, o conquistamos através da razão. As questões fundamentais dirigidas aos seres são relativas ao seu funcionamento antes de sua ontologia. Assim, a ciência moderna busca mais uma caracterização utilitária, classificatória e não uma busca pela explicação da essência no sentido atribuído pelos gregos.

Ainda nessa concepção moderna, a tecnologia é a manifestação desse pensamento racionalizado. Nesse contexto, a tecnologia não realiza essências objetivas inscritas na natureza do universo, como a *techné*, ela aparece como puramente instrumental, livre de valores e compreendida como produto de um conhecimento sistematizado. A percepção instrumentalista da tecnologia se mostra como um produto espontâneo da civilização moderna, assumida automaticamente sem reflexões mais profundas (FEENBERG, 2010; 2015).

Sob forte influência do pensamento científico dos séculos XVII e XVIII, em especial nas teorias de Galileu e Newton, a sociedade moderna busca uma explicação mecanicista do universo, portanto o mundo está aí para ser controlado sem que tenha qualquer propósito interno, a serviço do ser humano (CUPANI, 2016). Nesse sentido, Feenberg (2015), argumenta que

O iluminismo europeu do século XVIII pretendia que todos os costumes e instituições justificassem a sua própria utilidade para a humanidade. Sob o impacto desta reivindicação, a ciência e a tecnologia tornaram-se a nova base para convicções. Reformularam gradualmente a cultura para ser aquilo que pensamos como sendo *racional*. Eventualmente a tecnologia torna-se onnipresente na vida quotidiana e os modos técnicos de pensamento predominam sobre todos os outros (FEENBERG, 2015. p.118).

A tecnologia passa a ser considerada garantida, tanto quanto os mitos e costumes de uma sociedade tradicional anterior. Assim, a racionalidade técnica e científica torna-se a nova cultura. Portanto, nada poderia limitar a exploração do mundo, tudo está sujeito a análise criteriosa desta racionalidade que, em última instância, objetiva a compreensão completa e controle das partes que compõem o mundo natural (FEENBERG, 2010; 2015; 2017).

Já no século XIX, se consolidou a visão de progresso técnico infindável atribuído à satisfação das necessidades humanas através das tecnologias. Feenberg (2015), pontua que os objetivos na nossa sociedade capitalista não podem ser especificados em uma *techné* ou *episteme*, como era com os gregos.

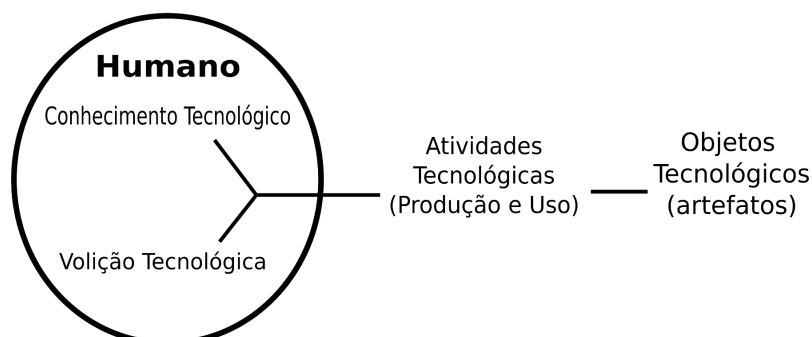
Atualmente, a técnica e tecnologia são guiados por escolhas puramente subjetivas, baseadas em uma essência fundamentalmente técnica, guiada por conceitos de eficácia, produtividade e lucro.

Com o avanço do século XX, surgiram as primeiras dúvidas sobre a relação da sociedade com a tecnologia, tendo em vista os malefícios e as múltiplas crises que acompanharam o desenvolvimento tecnológico atual, tornou-se mais proeminente uma teoria crítica que levantasse essas questões dentro do campo da filosofia, buscando superar entraves teóricos e práticos para caracterizar uma essência da tecnologia que levem em consideração os aspectos sociais que permeiam o pensamento técnico e científico até então ignorados (FEENBERG, 2015).

2. Teorias Modernas de Tecnologia

Com a crescente influência de diferentes tecnologias no cotidiano, é seguro dizer que a cultura, arte e relações sociais vêm se alterando através de uma nova interação que configura a sociedade contemporânea. Desta maneira, diferentes estudos objetivam compreender como essa interação molda os significados de tecnologia, proporcionando diferentes reflexões sobre o papel da técnica e da tecnologia no contexto atual. Mitcham (1994), em seu livro, *Refletindo por meio da Tecnologia: o caminho entre engenharia e filosofia* (tradução livre), entende a tecnologia como fundamentalmente articulada com o ser humano. O autor, apoiado por outros estudiosos, apresenta quatro modos de manifestação da tecnologia, sintetizados na Figura 1.

Figura 1 - Modos de manifestação da tecnologia.



Fonte: adaptado de Mitcham (1994).

Ainda que esses modos constituam um excelente ponto de partida para a compreensão da tecnologia, é importante ressaltar que essa estrutura proposta não

intenciona esgotar a discussão. Na realidade, os modos pretendem fazer uma apresentação que busca uma compreensão que seja adaptativa para posições alternativas dentro da Filosofia da Tecnologia, caracterizando um espaço de debate para o aprofundamento no campo tecnológico enquanto empreendimento humano. Assim, Mitcham (1994), evidencia que essa estrutura

[...] deve ser definida o suficiente para fornecer alguma orientação e aberta o bastante para permitir alguns ajustes e a possibilidade de abranger novas idéias [...] portanto, é relevante observar que esse quadro em questão pode suportar um determinismo tecnológico [...], ou uma teoria da liberdade humana, na qual a vontade individual ou o conhecimento criativo desempenham um papel decisivo (MITCHAM, 1994, p. 160. Tradução livre).

O primeiro modo apresentado neste quadro por Mitcham (1994), é a manifestação mais simples da tecnologia, mostrando-a como *objetos*. De fato, os objetos materiais como ferramentas, máquinas e outros produtos, são a reação imediata que vem à mente quando nos referimos à tecnologia. Isso inclui todos os artefatos fabricados pelos humanos que, de alguma maneira, têm a sua materialidade especificada através de uma variedade de formatações: como roupas, utensílios, utilidades, estruturas, aparatos, ferramentas, máquinas e autômatos. O autor também acrescenta os artefatos executáveis, como as letras, os números e os instrumentos musicais, os artefatos a serem contemplados, como obras de arte ou objetos religiosos e, por fim, os brinquedos. Cada um desses artefatos destina-se, de alguma maneira, a serem “[...] habitados, usados, operados ou colocados em movimento” (MITCHAM, 1994, p.162).

A segunda manifestação interpreta a tecnologia como uma forma de *conhecimento*, sendo esta a categoria tecnológica que vem recebendo o maior escrutínio analítico. De acordo com Mitcham (1994), isso reflete a inclinação epistemológica da filosofia moderna, que se baseia na busca pelo conhecimento descritivo do objeto em detrimento da compreensão contemplativa das coisas. Ele também sinaliza que o conhecimento tecnológico pode ser contrastado com o conhecimento natural, uma vez que a produção e uso dos artefatos envolvem meios específicos de conhecer o mundo, que incorporam o conhecimento científico, mas que possuem características próprias (CUPANI, 2016).

Deste modo, o conhecimento tecnológico é categorizado em quatro formas, variando da menos para a mais conceitual, a saber: habilidades sensório-motoras; axiomas técnicos; leis descritivas; e teorias tecnológicas.

O caráter inerentemente epistemológico dessas distinções pode ser sugerido da seguinte maneira. Conforme uma definição analítica amplamente aceita (que pode se fazer remontar a Platão), o conhecimento é crença verdadeira justificada. As crenças relativas à produção e ao uso de artefatos podem ser justificadas apelando a habilidades, máximas, leis, regras ou teorias, produzindo assim diferentes classes de tecnologia como conhecimento. Diferentes epistemologias da tecnologia e epistemologias de diferentes tecnologias debatem sobre a interação e o peso relativo desses vários tipos de tecnologia como conhecimento (MITCHAM, 1994, *apud* CUPANI, 2016, p. 18).

Após a apresentação dos tipos de tecnologia expressas como *objetos* e *conhecimento*, sendo estas as formas mais analisadas filosoficamente, outro modo de manifestação tecnológica, é a assimilação da tecnologia como *atividade*. Nessa percepção, ela incorpora mais do que a materialização em objetos ou no conhecimento. A tecnologia como atividade é, fundamentalmente, o evento no qual o conhecimento e a vontade se unem para trazer os artefatos para a existência ou para usá-los. Também é o momento em que os artefatos se encontram em posição de influenciar os sujeitos (MITCHAM, 1994).

A atividade tecnológica pode ser associada a diversas atitudes humanas, seja de maneira individual ou coletiva, entretanto a diferenciação nem sempre é clara como nos objetos e no conhecimento. Entre os diferentes comportamentos empreendidos através da tecnologia como atividade, pode-se prontamente ressaltar: a construção; a invenção; o design; a manufatura; o trabalho; a operação; e a manutenção. Uma análise superficial da sobreposição desses comportamentos sugere que existem dois temas principais sobre a participação tecnológica no mundo: a produção e o uso (MITCHAM, 1994). Partindo desta observação, Mitcham (1994), diferencia o uso em três circunstâncias que, frequentemente, se interceptam, sendo o emprego da tecnologia como sua função técnica, o seu propósito ou a sua utilização efetiva (CUPANI, 2016).

A quarta e última manifestação tecnológica apresentada por Mitcham (1994), é a compreensão da tecnologia como *volição*, isto é, como determinada atitude ou propósito do ser humano na sua relação com a realidade (CUPANI, 2016). O autor justifica que o caráter múltiplo da volição está implícito em diferentes propostas de Filosofia da Tecnologia, de modo que a tecnologia é associada a diversos tipos de motivação, intenção, escolha etc. Apoiado por diferentes autores, essa percepção pode ser exemplificada nas considerações apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Intenções da produção tecnológica.

Sobrevivência ou satisfação de necessidades biológicas básicas	Spengler (1981); Ferré (1988)
Controle ou poder	Mumford (1967)
Liberdade	Grant (1969); Walker (1831) ; Zschimmer (1914)
Busca pela eficiência	Skolimowski (1968)
Autorrealização	Junger (1932); Ortega (1939)

Fonte: adaptado de Mitcham (1994).

O aspecto volitivo é o modo de manifestação da tecnologia mais subjetivo e individual, a única forma que a motivação do sujeito se liga com a produção, com o uso e o conhecimento dos artefatos. Por outro lado, convém perguntar-se qual a “[...] correspondência entre a intenção subjetiva e o que podemos denominar ‘intenção objetiva’ de uma tecnologia” (CUPANI, 2016, p. 22).

Dispondo dessas representações sobre as manifestações tecnológicas, são pertinentes as reflexões dentro da Filosofia da Tecnologia que buscam um aprofundamento teórico, objetivando elucidar pontos cruciais para adequar a relação entre ciência, tecnologia e sociedade no contexto contemporâneo. A sobreposição destas manifestações apresentadas por Mitcham (1994), permitem estender a definição da tecnologia para novos contextos que englobam suas características sociais.

Enquanto a ênfase na representação da tecnologia como objetos tecnológicos enfatiza o aspecto instrumental dos artefatos, a manifestação como volição possibilita uma análise que contempla os aspectos subjetivos do contexto social, levantando dúvidas sobre a possível autonomia da tecnologia. A percepção da tecnologia como conhecimento expõe como características epistemológicas se relacionam com a realidade dos objetos técnicos, na medida em que a categorização tecnológica como atividade compreende que os estudos sobre tecnologia carregam particularidades que não podem ser resumidas à ciência aplicada. Também é na percepção da tecnologia como atividade que o uso se manifesta na sua relação com o sujeito, proporcionando objeções sobre a instável neutralidade da tecnologia.

Essas reflexões que permeiam a Filosofia da Tecnologia permitem uma compreensão desta além das caracterizações de cada um dos modos, sendo uma

sobreposição dessas manifestações, relacionando questões éticas, políticas e culturais com a produção tecnológica e social. Neste sentido, Feenberg (2015), argumenta que, na tradição contemporânea da Filosofia da Tecnologia, existem quatro abordagens que determinam a relação entre valores e poderes humanos, apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Perspectivas contemporâneas de Tecnologia

A Tecnologia é:	Autônoma	Controlada Humanamente
Neutra (separação completa dos meios e fins)	Determinismo (teoria da modernização)	Instrumentalismo (fé liberal no progresso)
Valorativa (os meios formam um modo de vida que inclui os fins)	Substantivismo (meios e fins ligados em sistemas)	Teoria Crítica (escolha de sistemas alternativos de meios e fins)

Fonte: adaptado de Feenberg (2015).

As abordagens são apresentadas conforme dois eixos que dizem respeito aos valores e controles humanos. O eixo vertical refere-se à relação da tecnologia com os valores: por um lado compreendida como neutra, onde não existe uma ligação entre os meios e os fins, e por outro lado, ela seria valorativa, ou seja, os meios e os fins são intrínsecos. Essa percepção não é trivial, visto que os objetos técnicos são construções compostas por vários elementos causais, não tendo qualquer aspecto que caracterize algum propósito que possa ser verificado cientificamente. Entretanto, como Feenberg (2015) afirma, “Nem tudo é uma propriedade física ou química da matéria. Talvez as tecnologias [...] tenham um modo especial de conter o valor em si mesmas como entidades sociais” (FEENBERG, 2015, p. 126).

O segundo eixo, na horizontal, indica uma diferenciação da tecnologia quanto ao controle, sendo ela controlada humanamente ou autônoma. O autor deixa claro que dizer que a tecnologia é autônoma não é o mesmo que dizer que ela se desenvolve sozinha, o ser humano sempre estará envolvido no processo. A questão é se os sujeitos teriam, de fato, liberdade para decidir como a tecnologia se desenvolve. Se o próximo estágio *evolutivo* independe da vontade dos indivíduos, a produção tecnológica seguiria regras internas próprias. Por outro lado, “a tecnologia será humanamente controlável se podemos determinar a fase seguinte da sua evolução de acordo com as nossas próprias intenções” (FEENBERG, 2015, p. 126).

Na interceção desses eixos, temos as quatro percepções modernas de tecnologia, assim compreendidas por Feenberg (2015). O **Instrumentalismo** une o entendimento de que a tecnologia é neutra de valores com a interpretação que ela

seria controlável humanamente. Essa é a visão padrão moderna que corrobora com a visão liberal de progresso, onde os artefatos são resumidos ao seu uso como ferramentas da espécie humana para satisfazer necessidades (biológicas ou artificiais), através da busca por eficiência e lucro.

No **Determinismo**, acredita-se que a tecnologia não é controlada humanamente, mas pelo contrário, controla os humanos por meio da configuração da sociedade, conforme as exigências de eficiência e progresso, de forma neutra. O autor diz que essa visão é geralmente assumida nas ciências sociais, vista como a força que guia a história. Nessa concepção, os deterministas argumentam que a tecnologia utiliza dos conhecimentos do mundo natural para servir aspectos da natureza humana, como necessidades e capacidades básicas. Logo, a tecnologia visa responder alguma demanda biológica ou estender as capacidades humanas. O computador serviria para ampliar o nosso cérebro, assim como os automóveis ampliaram nossa capacidade de locomoção (FEENBERG, 2015)..

Neste modelo, a tecnologia está enraizada, por um lado, no conhecimento da natureza, e por outro lado, nas características biológicas da natureza humana. Assim, não adaptamos a tecnologia aos nossos desejos, pelo contrário, “[...] devemos adaptar-nos à tecnologia como a expressão mais significativa da nossa humanidade” (FEENBERG, 2015, p. 127). O determinismo baseia-se na aceção de que as tecnologias possuem uma lógica formal autônoma, que pode ser explicada sem qualquer referência à sociedade. O destino da sociedade perante a tecnologia é, em partes, dependente de um fator não social que atua no meio social sem que sinta uma influência recíproca (FEENBERG, 2017).

A visão determinística da tecnologia é comumente percebida nos negócios e nos governos, onde é assumido que o desenvolvimento técnico é uma força externa que influi na sociedade, desconsiderando-o na expressão de mudanças na cultura e nos valores. Feenberg (2017), também frisa duas teses do determinismo tecnológico:

1. Segundo o determinismo, o progresso técnico parece seguir um curso unilinear e fixo, desde as configurações menos avançadas até às configurações mais avançadas, [...] tal conclusão baseia-se em duas asserções de plausibilidade desigual: primeiro, que o progresso técnico procede a partir dos níveis mais baixos de desenvolvimento para os mais altos; segundo, que esse desenvolvimento segue uma sucessão única de etapas necessárias [...].
2. O determinismo também afirma que as instituições sociais têm que se adaptar aos ‘imperativos’ da base tecnológica (FEENBERG, 2017, p. 80).

Essas noções implicam que, no determinismo, a tecnologia e as suas estruturas institucionais são universais. O autor ainda acrescenta que nessa percepção, pode até existir outras formas de organização social, mas há só uma modernidade que é exemplificada na nossa sociedade.

No cruzamento da autonomia tecnológica com a percepção valorativa da tecnologia, encontra-se o **Substantivismo**, termo que foi escolhido para descrever uma situação que atribui valores substantivos à tecnologia. Em oposição ao determinismo, que vê na tecnologia uma promessa otimista e progressiva, os substantivistas argumentam que a tese da neutralidade concede um valor unicamente formal à tecnologia: a eficiência (FEENBERG, 2015). Um valor substantivo envolveria um compromisso com uma ideia específica de vida. Ao incorporar uma qualidade substantiva, as tecnologias deixam de carregar características simplesmente instrumentais, ao serem utilizadas para diferentes propósitos, carregam por si só escolhas específicas para além da eficiência.

Deste modo, a preferência por determinada tecnologia carrega consigo outros valores, de modo que implica no contexto social que segue o caminho do desenvolvimento tecnológico uma transformação, inevitavelmente, para uma sociedade tecnológica, que seria um tipo específico de sociedade baseada nos valores de eficiência e poder (FEENBERG, 2015). Em oposição aos deterministas que enxergavam a tecnologia à serviço das vontades humanas, os teóricos substantivistas são mais pessimistas e associam a neutralidade da tecnologia à uma ameaça com potencial controlador. Feenberg (2015), utiliza-se da posição de Heidegger para exemplificar a percepção de uma tecnologia substantivista. Nela, a tecnologia é definida como o triunfo da modernidade sobre os outros valores. Onde, na filosofia grega a *techné* é o modelo do ser em teoria, na modernidade o ser é transformado tecnicamente. A metafísica moderna está na própria conquista técnica do mundo. “Esta conquista transforma tudo em matérias primas para processos técnicos, incluindo os próprios seres humanos” (FEENBERG, 2015, p. 130).

Por fim, a última percepção tecnológica é a da **Teoria Crítica**, onde o Feenberg se coloca, e aqui nos juntamos a ele. Essa interpretação reconhece os efeitos desastrosos do desenvolvimento tecnológico apontados pelo substantivismo, contudo vislumbra a possibilidade de maior liberdade na tecnologia, submetendo projeto e desenvolvimento a processos mais democráticos. Nosso autor salienta que o problema não está na tecnologia em si, mas no fracasso em propor instituições

apropriadas que efetivamente exerçam o controle humano. Ele também acredita que é possível conter a tecnologia submetendo-a a um processo de produção mais democrático. Obviamente, o autor entende que as pessoas não estão em posição e nem possuem o conhecimento adequado para praticar esse controle democrático. Entretanto, aponta que assim como a economia, que se acreditava não ser possível controlá-la e hoje é influenciada por instituições democráticas, o progresso tecnológico também pode se beneficiar desse controle promovido pela democracia sem ignorar as ameaças que esse desenvolvimento carrega.

A teoria crítica da tecnologia proposta por Feenberg (2010; 2015; 2017), reconhece, assim como no instrumentalismo, que a tecnologia pode ser controlada em algum sentido, mas também entende que ela está carregada de valores. Entretanto, onde o substantivismo percebe os valores contidos na tecnologia exclusivos dela, a teoria crítica os entende como socialmente especificados, incorporados. Controle e eficiência são adequações abstratas que não representam o único sentido que pode ser atribuído à tecnologia, mas essa posição não significa que ela deve ser percebida como neutra, apesar da eficiência ser objetivo em todos os domínios em que se aplicam a tecnologia, este não deve ser o único valor significativo para guiar a produção técnica nas sociedades modernas, “[...] a eficiência molda todas as possibilidades da tecnologia, mas não determina os valores percebidos dentro daquela moldura” (FEENBERG, 2010, p. 62).

3. A Teoria Crítica da Tecnologia de Andrew Feenberg

Tomando como referência o estudo de Marx, a Teoria Crítica aparece pela primeira vez nos escritos de Horkheimer (1983), em oposição ao que o autor considera como Teoria Tradicional, esta última caracterizada por proposições interligadas, das quais derivam outras teorias, cuja validação deve ser confirmada através dos fatos e leis de causa e efeito. Por exemplo, em um experimento, se houver contradição entre a teoria e o que foi observado, será preciso reformular a teoria ou o experimento. Deste modo, a perspectiva tradicional, objetivando uma falsa neutralidade, divide teoria e prática, desconsiderando aspectos culturais e históricos que condicionam determinadas estruturas sociais.

Muito utilizada na visão positivista das ciências exatas, a Teoria Tradicional também teve forte influência no método das ciências sociais. A concepção crítica, por sua vez, pretende mostrar que a produção científica tradicional é parcial,

refletindo as condições impostas pela lógica do capital. Portanto, a Teoria Crítica deve ser renovada e exercitada a todo momento, a fim de evidenciar as estruturas capitalistas que moldam nossa sociedade. O sentido de teoria no campo crítico se altera por inteiro, não se limitando a explicar como as coisas funcionam, mas sim analisar seu funcionamento concreto à luz de uma emancipação concretamente possível e bloqueada pela situação social presente (NOBRE, 2004). A Teoria Crítica não se volta apenas para o conhecimento, “[...] mas para a própria realidade das condições sociais capitalistas” (NOBRE, 2004, p. 41).

Esta tradição de pensamento crítico influenciou uma leva de pensadores, mais tarde reconhecidos como parte da tradição da escola de Frankfurt. Entre eles, destacamos Herbert Marcuse (1898-1979), que teve forte influência na análise da tecnologia proposta por Feenberg (2010; 2015; 2017). A teoria crítica da tecnologia de Feenberg (2015), também foi motivada a partir de estudos de Martin Heidegger (1889-1976), teórico substantivista, que não percebe a conquista da natureza como um evento espontâneo, mas como característica de uma dominação social, uma vez que tal conquista é indissociável do controle sobre outros seres humanos. Nesse sentido, o autor alega que a tecnologia não é um instrumento neutro, pois ela representa valores antidemocráticos resultantes da sua associação com o capitalismo.

Entretanto, a atitude de Heidegger o coloca em uma posição essencialista sobre a tecnologia, pois apesar de rejeitar explicações causais da realidade técnica, ele descreve o encontro com o mundo em termos passivos, como uma revelação e não como uma construção (FEENBERG, 2010; 2015).

Em contrapartida, Feenberg (2010; 2015; 2017), busca caracterizar o *construtivismo* da tecnologia, termo usado em um sentido amplo “para se referir às teorias de grandes sistemas técnicos e a teoria dos atores em rede” (FEENBERG, 2017, p. 81). Usando essa conceituação, ele procura aproximar a crítica substantivista da tecnologia com o construtivismo, para isso, defende uma posição não-determinística e nega a neutralidade do desenvolvimento tecnológico.

O construtivismo desafia a nossa tendência para dispensar as teorias científicas do tipo de exame sociológico a que submetemos as crenças não-científicas. Afirma o “princípio da simetria”, segundo o qual todas as crenças em disputa estão sujeitas ao mesmo tipo de explicação social, independentemente de serem verdadeiras ou falsas. Um tratamento semelhante para a tecnologia rejeita a suposição habitual de que o sucesso das tecnologias resulta de bases puramente funcionais (FEENBERG, 2017, p. 81-82).

No construtivismo, o autor argumenta que as tecnologias e teorias são subdeterminadas por critérios científicos e técnicos. Isso implica que existem muitas soluções possíveis para um certo problema e os sujeitos sociais fazem a escolha entre as diferentes opções viáveis. O autor compreende essa variedade associada aos artefatos técnicos como flexibilidade interpretativa. Nela, a tecnologia se encontra disputada entre o que ela é em decorrência do que ela *vai servir*, ou seja, o sistema técnico não é rígido, mas pode-se adaptar a uma variedade de exigências sociais (FREITAS; SEGATTO, 2014; FEENBERG, 2017).

Nesse caminho o processo de construção é recíproco, as instituições sociais se adaptam ao desenvolvimento tecnológico na mesma medida em que as tecnologias mudam em resposta ao contexto em que se encontra. A evolução do sistema técnico não é unilinear como percebido nas posições deterministas, mas subdivide-se em muitas direções, podendo alcançar níveis globais por diferentes vias. Nessa perspectiva, deixa de ser determinante e passa a ser determinado tanto por fatores técnicos quanto por fatores sociais (FEENBERG, 2015).

Aliado a esse pensamento, o autor se apropria e aprofunda a crítica da tecnologia de Marcuse. Nela, os objetos técnicos são socialmente determinados, a neutralidade entre o desenvolvimento potencial da tecnologia e sua finalidade não é verdadeiramente neutra. Assim, a racionalidade está a serviço de quem tem o poder para determinar seus fins. Neste sentido a aparente neutralidade é tendenciosa para beneficiar formas de domínio e controle. A proposta de Marcuse é a reunificação de elementos culturais objetivando uma racionalidade reformada, “[...] que o foco e o desenvolvimento do conhecimento científico e técnico existente pode ser alterado num contexto social novo” (FEENBERG, 2015, p. 152).

Feenberg (2015), enxerga na crítica desses autores o estímulo a novas reflexões, mesmo sem encontrar soluções satisfatórias em seus trabalhos. O autor utiliza dos exemplos presentes na medicina e na ecologia para pensar posições otimistas sobre novas formas de exercer controle e de conceber a racionalidade técnica.

Se a tecnologia moderna estivesse comprometida “a priori” com uma visão da vida baseada no desenvolvimento harmonioso dos seres humanos e da natureza, a gama de escolhas no projeto e para finalidades seria mais restrita. Não seria mais livre de valores. Uma tecnologia afirmativa da vida, deste tipo, estaria ligada a uma missão do tipo da medicina e da ecologia. E, tal como nesses domínios, trabalharia com as potencialidades dos seus objetos, mais do que dominando-os para a persecução de fins extrínsecos restritos, como o lucro e o poder (FEENBERG, 2015, p. 155).

Nas explicações tradicionais sobre tecnologia, a eficiência serve como medida de distinção entre modelos técnicos bem ou mal-sucedidos. Essa visão é associada a certa racionalidade científica, que entende a natureza das coisas em termos de virtudes que podem ser sistematicamente quantificadas. Para a teoria crítica da tecnologia, os diferentes interesses dos atores envolvidos no projeto refletem-se em diferenças sutis na função e efeitos de um mesmo artefato. A eficiência não é um critério decisivo para explicar o sucesso ou fracasso de projetos semelhantes, pois diferentes configurações de recursos podem resultar em versões alternativas de um mesmo dispositivo técnico (FEENBERG, 2017). Neste sentido, a definição de tecnologia

Não pode mais ser considerada como uma coleção de dispositivos e nem como a soma de meios racionais [...]. Estas são definições tendenciosas, que fazem a tecnologia parecer mais funcional e menos social do que realmente é. [...] Enquanto objeto social, a tecnologia deveria estar sujeita a uma interpretação como qualquer outro artefato cultural (FEENBERG, 2010, p. 76).

Para fazer essa interpretação, o autor utiliza-se de duas dimensões hermenêuticas, que ele chama: significado social e horizonte cultural. A primeira é caracterizada a partir da relação entre os conceitos de meta e significado. Na nossa atual cultura profissional funcionalista, a meta separa as tecnologias de seus respectivos contextos sociais, sendo atribuição única dos engenheiros e gerentes aquilo que eles precisam saber para fazer o seu trabalho. Contudo, ao se estudar a conjectura completa em que o aspecto social influi no objeto técnico, a meta é percebida dentro do seu contexto tecnológico sem se ocultar atrás do funcionalismo vazio (FEENBERG, 2010; FREITAS; SEGATTO, 2014).

Diante disso, o autor alega que a tecnologia não pode ser explicada por simples mecanismos extrínsecos, que se adequa a um único propósito social pré-definido, ela é um ambiente no qual é construído um modo de vida. Os produtos da técnica, portanto, são entendidos a partir da análise das circunstâncias sociopolíticas dos grupos envolvidos no processo de desenvolvimento tecnológico.

O horizonte cultural, segunda dimensão hermenêutica apresentada por Feenberg (2010; 2017), é a base da hegemonia social moderna. Para nosso autor, a hegemonia é definida como a configuração de poder que tem sua base na cultura, “[...] uma forma de dominação tão profundamente arraigada na vida social, que parece natural para aqueles a quem domina” (FEENBERG, 2010, p. 79). Logo, essa dimensão refere-se aos pressupostos arbitrários e culturais que moldam

determinado estilo de vida. Nessa percepção, as formas dos artefatos são restringidas por normas culturais presentes no contexto econômico, político, religioso etc. O que, para o capitalismo, significa incorporar no desenho das máquinas uma racionalidade tecnológica, orientada para eficiência e lucro.

Deste modo, o projeto tecnológico reflete os fatores sociais que operam na racionalidade predominante, mas Feenberg (2010; 2017), acredita ser possível redefinir marcas das relações de classe no desenho da própria tecnologia de produção, enxergando na mediação técnica uma fonte de poder e disputa nas sociedades modernas. Para sustentar esse ponto, ele compreende a essência da tecnologia a partir de um aspecto duplo, que representa um entrelaçamento entre as dimensões funcionais e sociais da tecnologia.

A racionalidade funcional está relacionada com aspectos objetivos dos artefatos. Ela isola os objetos do seu contexto original, a fim de incorporá-los em sistemas teóricos. Em busca de uma *pureza* na racionalidade, a descontextualização não é compreendida como uma atividade social que reflete interesses sociais que selecionam as tecnologias entre múltiplas configurações (FEENBERG, 2017). Uma vez reintroduzida, a produção técnica oferece uma materialização da ordem social que ela representa, orientada por códigos sociais “[...] estabelecidos pelas lutas culturais e políticas que definem o horizonte cultural sob o qual a tecnologia vai atuar” (FEENBERG, 2017, p. 93).

Para nosso autor, é possível estabelecer uma crítica recontextualizadora, que adequa os códigos para uma nova perspectiva de horizonte cultural. A dimensão do significado social, permite uma lógica diferente da que orienta a racionalidade funcional da tecnologia. Quando estes dois contextos estão desalinhados, surgem tensões que são resolvidas através de ajustes em um dos campos ou em ambos. Através do significado social, a experiência cotidiana com as tecnologias influencia a especificação racional dos dispositivos.

A configuração técnica de estruturas e objetos é construída a partir de disputas políticas que determinam como as tecnologias são incorporadas socialmente. A nível do desenho técnico, Feenberg (2010; 2017), chama de código técnico o que faz a mediação do processo tecnológico e fornece uma resposta ao horizonte cultural. O código técnico incorpora as diversas demandas do contexto da tecnologia, e ignora outras dimensões além da busca por lucro, o limita a refletir somente sobre os valores que se adequam à lógica dominante.

Feenberg (2010), afirma que questões não-econômicas também influenciam no código. Parâmetros técnicos e padrões legais de segurança têm impacto direto no estilo de vida dos trabalhadores, portanto os desenhos técnicos definem partes fundamentais do ambiente social. O autor frisa que

O estreito foco da tecnologia moderna satisfaz às necessidades de uma hegemonia particular; não é uma condição metafísica. Sob essa hegemonia, o desenho técnico é, de forma não-usual, descontextualizado e destrutivo. Tal hegemonia é o que deve ser considerado, não a tecnologia per se, quando apontamos que hoje os meios técnicos formam uma crescente ameaça ao meio ambiente em que vivemos. A hegemonia que se encarnou na própria tecnologia deve ser questionada na luta pela reforma tecnológica (FEENBERG, 2010, p. 88).

Nessa perspectiva, a tecnologia é um fenômeno tipicamente moderno e a sua definição está intimamente relacionada com o seu contexto social, constituindo a própria estrutura material da modernidade. Nosso autor conclui que, sendo a nossa sociedade dominada por um modelo de racionalidade técnica, que compreende a tecnologia em termos de lucro e poder, uma racionalização subversiva propõe avanços tecnológicos que só podem ocorrer em oposição à hegemonia dominante. Portanto, uma definição que busque a essência da tecnologia só pode ser descrita na relação intrínseca do significado social com a racionalidade funcional. Para constituir um conceito de essência da tecnologia que dialogue com essa visão, Feenberg (2017), apresenta os conceitos de Instrumentalização Primária e Secundária.

Apesar de analisar a tecnologia a partir de aspectos sociais, essa abordagem reconhece a importância da funcionalidade simples,

Assim, a teoria crítica da tecnologia distingue analiticamente entre os aspectos da tecnologia que decorre da relação funcional com a realidade, a que eu chamo de 'instrumentalização primária', e os aspectos decorrentes dos seus envolvimentos sociais e de sua implementação, a que eu chamo 'instrumentalização secundária' (FEENBERG, 2017, p. 164).

A instrumentalização primária é caracterizada por quatro momentos da reificação da prática técnica, ligada à compreensão grega clássica da essência da tecnologia. Entretanto, ela sozinha não esgota o significado da técnica. A tecnologia é influenciada na medida em que é integrada socialmente através dos sistemas e códigos técnicos. De certa forma, a integração compensa alguns dos efeitos da reificação por meio da instrumentalização secundária.

Na instrumentalização primária, os objetos técnicos são descontextualizados para servir a determinado fim. Feenberg (2010), chama de *desmundialização* o

processo em que os artefatos são postos fora de seu contexto original e são expostos para análise a manipulação, enquanto os sujeitos mantêm um controle a distância. Com isso, busca-se revelar potencialidades que cumpram aspectos funcionais em novos sistemas que servem determinado propósito. Nessa instrumentalização, o ato de descontextualização pode ser feito reiteradamente com os mesmos elementos, adequando-os a diferentes configurações técnicas. Os momentos da instrumentalização primária são resumidos no Quadro 3.

Quadro 3 - Momentos do processo de instrumentalização primária.

Descontextualização	os objetos são isolados do seu contexto, divididos em várias partes para serem analisados conforme a sua utilidade em diferentes sistemas técnicos; a tecnologia é construída a partir de fragmentos descontextualizados da natureza, que aparecem na forma técnica.
Reduccionismo	divisão do objeto entre as suas qualidades primárias, aquelas características que são úteis para o sistema técnico, e as qualidades secundárias, vestígios da matéria original, ligados à sua concepção pré-técnica, percebidos como tecnicamente não-úteis.
Autonomização	o sujeito deixa de ser afetado pelo objeto que utiliza; a ação técnica afasta o indivíduo dos efeitos da tecnologia sobre ele.
Posicionamento	o sujeito técnico, incapaz de modificar a lei básica do objeto técnico, se posiciona frente a ela de modo a extrair o melhor resultado para a sua configuração.

Fonte: adaptado de Feenberg (2010).

Essa relação expõe a tecnologia somente a partir dos seus aspectos técnicos básicos, descrevendo qualidades funcionais. Como a crítica substantivista indica, diferentes interesses concorrem pelo projeto técnico, de forma que, a integração dos elementos descontextualizados permite que diferentes valores e interesses intervenham no processo de desenvolvimento, determinando funções e escolhas que asseguram a concordância entre tecnologia e sociedade. Nessa concepção de integração, a técnica é fundamentalmente social. Partindo disto, uma instrumentalização secundária busca incluir na essência da tecnologia a realidade abstraída durante a primária (FEENBERG, 2010).

Na instrumentalização secundária, atitudes sociais contribuem para determinar as especificações do projeto técnico. A tecnologia é reconfigurada na medida em que se adapta nas relações contextuais da sua integração, ou seja, elas se transformam para se adequar às demandas sociais e políticas. No nível secundário, os artefatos configuram a base de um modo de vida. Esse processo é sistematizado no Quadro 4.

Quadro 4 - Momentos do processo de instrumentalização secundária.

Sistematização	recombinação de objetos técnicos para formar novos recursos; objetos descontextualizados precisam se ligar em sistemas para serem reinseridos no ambiente natural e social
Mediação	a escolha dos objetos é mediada por qualidades éticas e estéticas; separação entre características técnicas e estéticas; superações éticas e estéticas através de movimentos sociais
Vocação	é a resposta à autonomização; o sujeito se transforma na interação com a produção técnica; impacto da tecnologia no usuário
Iniciativa	posição de controle estratégico do trabalhador e consumidor; concepção dominada pela lógica do capital

Fonte: adaptado de Feenberg (2010).

Na dimensão secundária, a instrumentalização serve à reintrodução do objeto técnico no contexto, como resultado da disputa de interesses dos diversos agentes envolvidos na sua produção e uso. Para o atual contexto histórico, isso significa que, apesar das contingências sociais, a tecnologia está sujeita às demandas do capitalismo, que estende o controle técnico à força e organização do trabalho (FEENBERG, 2010). Deste modo, a segunda instrumentalização encontra-se em meio a obstáculos quando a busca por mudanças técnicas integradoras ameaça a exploração máxima dos recursos naturais, “São obstáculos não apenas ideológicos, mas incorporados a projetos tecnológicos” (FEENBERG, 2010, p. 230). O autor compreende que somente uma crítica aos projetos dominantes pode contribuir para revelar os potenciais de determinada tecnologia, de modo que os desenhos técnicos privilegiados sejam revistos em contextos amplos, que destaquem os aspectos sociais associados à estilos de vida incorporados nos próprios projetos tecnológicos.

Feenberg (2010), vai argumentar que os teóricos essencialistas falharam ao estabelecer as influências sociais das tecnologias como extrínsecas. Todas as dimensões da tecnologia seriam tratadas como meras contingências externas à própria tecnologia. Para nosso autor, essa percepção se mantém devido a estruturação de uma sociedade capitalista moderna e tecnologicamente desenvolvida

Tal estrutura modela tanto as relações práticas quanto as teóricas com a tecnologia. Nos assuntos práticos do dia-a-dia, a tecnologia se apresenta para nós primeiro e acima de tudo por sua função. Nós a encontramos como essencialmente orientadas a usos específicos. Naturalmente, estamos conscientes dos recursos como objetos físicos que possuem muitas qualidades, que nada tem a ver com sua função, como por exemplo beleza

ou feiúra, mas tendemos a vê-las como secundárias (FEENBERG, 2010, p. 233).

As tecnologias vão se diferenciar de outros objetos por possuírem qualidades primárias e secundárias, e ao serem analisadas de um ponto de vista teórico, descobre-se que as tecnologias possuem estruturas, que evidenciam a sua função prática. No ponto de vista essencialista, a tecnologia é social somente quando usada para algo, deixando a estrutura técnica como um resíduo não-social. Contudo, sempre que aspectos sociais são descartados, resta somente a instrumentalização primária, ou seja, a tecnologia se limita a suas características reificantes. Assim, a estrutura técnica é constituída por partes que possibilitam a abstração da tecnologia do seu contexto social, como um exemplo de conhecimentos científicos. O autor defende que a tecnologia é a própria estrutura da modernidade, de modo que a função técnica é uma engrenagem entre a realidade lógico-causal e as intenções subjetivas dos usuários. Nesse espaço de disputa é possível construir uma nova racionalidade técnica, baseada em processos de tomada de decisão democráticos (FEENBERG, 2015).

A teoria da instrumentalização é estendida para o conceito de mudança técnica, onde a instrumentalização se apresenta como uma via de mão dupla, os constrangimentos sociais e técnicos são incorporados na tecnologia. Valores éticos e estéticos são vistos como complementares, entretanto, como instrumentalização secundária, são espaços importantes para a manifestação dos sujeitos frente ao uso de tecnologias (FEENBERG, 2010).

Feenberg (2010), usa o conceito de *concretização*, emprestado do filósofo francês Gilbert Simondon, para caracterizar esse processo de adaptação da tecnologia ao seu contexto social. Nos projetos iniciais de uma tecnologia, cada função é atribuída a uma estrutura separada, mas à medida que ela evolui, novas combinações entre as funções configuram números menores de estruturas, conseqüentemente melhorando sua eficiência. Neste sentido, as instrumentalizações só se distinguem em nível analítico, uma vez que as variadas funções de uma tecnologia se concretizaram em uma estrutura única (FEENBERG, 2015).

Na concretização as tecnologias são adaptadas a diferentes conjunturas específicas do meio em que ela se desenvolve. Condições que, normalmente vistas apenas como relações externas, são intencionalmente combinadas para atingir o

propósito desejado. Justamente neste momento é que “[...] a instrumentalização do objeto se reconcilia com considerações contextuais mais amplas por um tipo especial de desenvolvimento técnico” (FEENBERG, 2010, p. 243). Durante esse processo, os constrangimentos sociais, na medida em que são internalizados no desenho técnico, passam a ser desconsiderados como fatores relevantes para o desenvolvimento de uma tecnologia, sendo vistos como contingências externas que foram superadas na materialização de um modelo mais eficiente. Nessa perspectiva, o processo de concretização é como um inconsciente tecnológico, presente apenas na forma sedimentada do código técnico, que são interpretados como puramente racionais e inevitáveis (FEENBERG, 2010; FREITAS; SEGATTO, 2014).

Feenberg (2010), defende uma forma especificamente social de concretização, onde existe a reorganização da estrutura interna de um recurso, orientada para otimizar seu funcionamento, mesmo enquanto ele exerce uma exigência social. Para além de um simples critério desenvolvimentista como a produtividade, a concretização é envolvida na adaptação reflexiva da tecnologia a seu ambiente social e natural. A trajetória do progresso é mais complexa e mais rica que o simples crescimento.

Na teoria de Simondon, as formas mais avançadas de progresso consistem na criação de sinergias complexas das forças naturais e técnicas por avanços que incorporam os contextos mais amplos das necessidades ambientais e humanas na estrutura de sistemas técnicos. [...] as estratégias de concretização poderiam abarcar esses contextos, pois abarcam outros no decorrer do desenvolvimento técnico (FEENBERG, 2010, p. 244).

Para o autor, esse processo oferece um relato melhor do que o proposto pelo substantivismo, visto que essa tendência não é limitada pela instrumentalização essencializada e primária, mas apresenta uma dimensão social complexa. A tecnologia pode oprimir, alienar e colonizar, mas também pode liberar potencialidades do mundo da vida que de outra maneira estariam reprimidas. A crítica da tecnologia busca revelar as conexões e implicações mascaradas pela hegemonia capitalista que, de uma maneira ou de outra, interferem no desenvolvimento de um projeto técnico. Por fim, o autor conclui que se faz necessário uma análise desta ambivalência da tecnologia como estratégia para introduzir formas alternativas de racionalidade técnica, que integrem de maneira ampla as instrumentalizações secundárias através de novas concretizações (FEENBERG, 2010).

4. Tecnologia e Educação: Teoria Crítica e perspectiva Sociotécnica

O processo de concretização, não raro, é construído através de disputas que se desenrolam nos diversos contextos em que a tecnologia é aplicada. Frente a hegemonia atual, essa disputa valoriza ações que priorizam o lucro e controle em detrimento de outras demandas, como preservação do meio-ambiente e dos direitos humanos, vistas como exigências secundárias (FEENBERG, 2015; 2017).

Por muitos anos o computador foi o foco de debates sobre a transformação social advinda das tecnologias. Com o amadurecimento teórico e social a respeito do papel dos computadores como meios de comunicação e o desenvolvimento da internet, passou-se a destacar a função e importância da *informação*. Nesta percepção, quando a internet chegou nas escolas junto com os computadores em rede, *e-mail*, diários virtuais etc. Esses artefatos passaram a ser reconhecidos como TIC - Tecnologias da Informação e Comunicação - agrupando ferramentas e funções, reais e virtuais, “[...] que permitem criar, capturar, interpretar, armazenar, receber e transmitir informações” (SOARES-LEITE; NASCIMENTO-RIBEIRO, 2011, p. 175).

Existem diversas motivações que justificam a presença das TIC nas escolas, justificativas que vão da possibilidade de superação do uso de *tecnologias antiquadas*, materializadas na forma do quadro, giz e materiais impressos, à idealização da solução dos mais diferentes problemas educacionais (BARRETO, 2004). Para além disso, a introdução das TIC no ambiente educacional ocorre em consonância com a reconfiguração do trabalho imposta pelo atual contexto tecnológico e econômico. Nessa circunstância, a própria técnica desempenha uma tarefa central, pois a presença da tecnologia é vista, a partir do discurso pedagógico, como definidora da prática e da linguagem em situações concretas de ensino, ou seja, as TIC são entendidas como elemento determinante dos atuais discursos do ensino e sobre o ensino (BARRETO, 2004).

Como consequência dessa influência, Feenberg (2010), defende que estamos no auge de uma transformação fundamental das nossas suposições sobre educação. Ele observa que sob o amparo da hegemonia dominante, a educação *online* ganha força na medida que a demanda por trabalho exige mais formação continuada e

[...] líderes empresariais começam a ficar alarmados com o alto custo da Educação que é atualmente o maior orçamento em praticamente todo país capitalista desenvolvido. Nos Estados Unidos, a promessa da internet

inspirou uma ofensiva ideológica em favor da educação automatizada e não-qualificada. (FEENBERG, 2010, p. 156).

Esse tipo de educação é visto como aquele que agrega diferentes virtudes pós-industriais¹, como flexibilidade de tempo e espaço, oferta personalizada e individualizada, contudo, em última instância, a razão principal é a redução de custos (FEENBERG, 2017). Por esse lado, as TIC oferecem uma via para a automação de uma educação virtual, com cursos *enlatados* e introduzidos no mercado como produtos dispostos em uma prateleira, gerando um fluxo contínuo sem investimentos adicionais. Na esteira da globalização, a *informação* aparece como elemento central no que, para alguns autores, é o próprio paradigma do nosso tempo, configurando uma *sociedade da informação* (BARRETO, 2004).

Entretanto, essa tendência assimila a informação como termo proveniente da estatística, condicionando a sua existência como produtos de artefatos técnicos, criando-se um conceito puramente instrumental de sociedade da informação. Nessa sociedade, os discursos pedagógicos dominantes que guiam os usos das TIC, assumem o suposto determinismo tecnológico como certo e qualquer tentativa de resistência a esse idealismo, são rotuladas como tecnofóbicas e anti-modernas (BARRETO, 2004).

Nessa lógica, o uso das TIC de maneira superficial, sem a reflexão teórica, contribui para a manutenção da lógica instrumental dos usos da tecnologia na escola. Peixoto (2015), responde que

A integração das tecnologias de informação e de comunicação (TIC) aos processos educativos não acontece naturalmente. As pesquisas testemunham a complexidade dos processos de apropriação nos quais se confrontam as políticas institucionais com as formas individuais e coletivas de uso. Além disso, o rápido crescimento dos usos da internet e o desenvolvimento de aplicações e serviços dela decorrentes atropelam os sujeitos da educação e interpelam os pesquisadores (PEIXOTO, 2015, p. 319).

Como uma das consequências, o trabalho docente é transformado em uma atividade puramente operacional, onde a categoria *trabalho* é substituída pelas categorias da *prática* ou *prática reflexiva*, que por sua vez sustentam expressões como *atividades* ou *tarefas docentes*, esvaziando o trabalho do professor, restringindo sua atuação à escolha de materiais didáticos e controle do tempo que os alunos terão com tal material (BARRETO, 2004).

¹ Interpretação da era atual em que vivemos, influenciada pelas transformações dos processos de produção e comunicação.

Essas posições são reforçadas em estudos sobre as TIC em que as teses do determinismo tecnológico e da neutralidade da tecnologia são assumidas como pressupostos. No trabalho de revisão apresentado por Klein *et al* (2020), os autores buscam sistematizar aspectos históricos da tecnologia na educação, evidenciando o idealismo que envolve os mais diversos usos das TIC. No levantamento, são notórios dois discursos que orientam a maioria dos trabalhos analisados: o primeiro diz respeito à aprendizagem, posto que os artefatos são percebidos a partir somente de características técnicas. Assim, são comuns as conclusões que a qualidade da educação seria diretamente proporcional a utilização das tecnologias, ou seja, problemas, falhas e obstáculos encontrados no âmbito educacional se dão pela falta ou uso inadequado das TIC.

O segundo ponto evidenciado pelo trabalho de Klein *et al* (2020), é o grau de responsabilidade atribuído ao professor no emprego das tecnologias em suas aulas. Nesse sentido, é comum atribuir à tecnologia a capacidade de funcionar como instrumento que potencializa e dá *suporte* à prática docente. O estudo mostra que, na maioria dos casos, os autores atribuem a falta de sucesso das atividades com TIC à formação dos professores, que estariam defasadas. Os professores devem ter a capacidade de se reinventar, criar e improvisar com as tecnologias, assumindo o papel de mediador do conhecimento. Assim, “[...] as tecnologias devem ser utilizadas de forma a estimular a curiosidade dos alunos, visando sempre o incentivo e busca pelo conhecimento” (KLEIN *et al*, 2020, p. 283).

Contudo, essas posições enfatizam o posicionamento periférico do professor frente à aula. A tecnologia assume a posição de protagonismo, e esta lógica, marcada pelo determinismo tecnológico, tende a enxergar um novo paradigma pedagógico fundamentado nas TIC (PEIXOTO, 2012). Entretanto, segundo Barreto (2004), esse *paradigma* indica uma realidade diferente, baseada nos termos da eficiência e lucro:

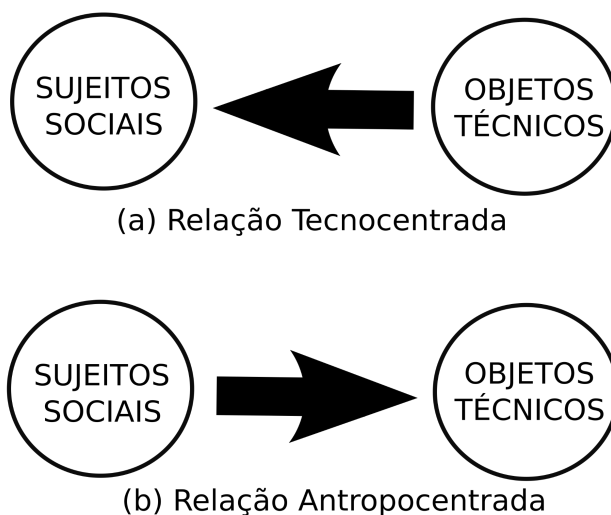
Nesse movimento, tem sido anunciado um novo paradigma educacional. O anúncio é recorrente no site do MEC, cuja formulação, vale insistir, levou o discurso dos organismos internacionais às últimas consequências, posicionando as tecnologias no lugar dos sujeitos. [...] Em outras palavras, prevê cada vez menos professores e mais alunos, sob a alegação de que o desempenho dos últimos depende menos da formação dos primeiros e mais dos materiais utilizados (BARRETO, 2004, p. 1189).

Em concordância, Feenberg (2010; 2015), argumenta que o determinismo tecnológico favorece o assentamento da lógica centrada na solução técnica, sendo

ela a única responsável pelo sucesso ou fracasso das atividades realizadas com as TIC. Nesse sentido, Peixoto (2012; 2015), entende que a relação das tecnologias com a educação é uma questão de ordem epistemológica e não técnica ou instrumental, ou seja, essa relação não pode ser compreendida somente a partir dos procedimentos técnicos, “[...] mas remete aos pressupostos que fundamentam as teorias do conhecimento e os mecanismos produtores do saber” (PEIXOTO, 2015, p. 320).

A autora parte das perspectivas instrumental e determinista para elaborar uma base teórica que aproxime as reflexões recentes da Filosofia da Tecnologia com questões atuais da educação. Peixoto (2012; 2015) relaciona os diferentes discursos sobre tecnologia e educação a partir da relação entre os *sujeitos sociais*² e os *objetos técnicos*³. A Figura 2 facilita a visualização dessas relações.

Figura 2 - Representação das abordagens determinista e instrumental das tecnologias na educação.



Fonte: adaptado de Peixoto (2012).

A perspectiva tecnocêntrica, representada na Figura 2(a), assume como central o papel da tecnologia na relação com a educação, ou seja, os professores que não se adequam aos imperativos dos artefatos para *transformar* o seu trabalho docente, são considerados como obstáculos, que ameaçam a eficiência do sistema técnico adotado. Peixoto (2012), inclusive, aponta a recorrência de programas em que

² Segundo Peixoto (2015), O conceito de sujeito social adotado, toma como base o materialismo histórico-dialético, o sujeito social é o foco no qual entrecruzam as relações entre o individual e o social, entre as condições materiais objetivas e as subjetivas.

³ A autora usa o termo apoiando-se na obra de Simondon (1989), *O modo de existência dos objetos técnicos*. A expressão é utilizada para afirmar a vinculação da técnica à cultura, fazendo referência aos objetos produzidos por sujeitos sociais em sua relação com o meio natural e social, transformando-os e transformando-se.

primeiro se obtém os equipamentos e plataformas tecnológicas, para em seguida pensar modelos de formação de professores. Assim, pesquisas educacionais guiadas pela visão tecnocentrada, tendem a enfatizar as características técnicas das TIC, e essa posição se manifesta em abordagens pontuais que não questionam aspectos estruturais, o que reforça a tese determinista, onde as instituições sociais devem se ajustar às exigências da base tecnológica (FEENBERG, 2015; PEIXOTO, 2015).

Por outro lado, a relação antropocêntrica apresentada na Figura 2(b), é baseada na neutralidade e caracterizada pela visão instrumental das tecnologias. Peixoto (2015), justifica que nessa percepção, as TIC são ferramentas facilitadoras do trabalho docente, na qual professores e alunos são situados como os elementos centrais das atividades mediadas por tecnologias, portanto os artefatos são flexíveis e adaptáveis ao uso em sala de aula. Novamente cabe ao professor fazer o uso apropriado das TIC, onde qualquer problema é visto como falta de preparo pedagógico ou os recursos estão sendo utilizados inadequadamente (PEIXOTO, 2015).

Em relação às pesquisas em educação fundamentadas no instrumentalismo, a autora compreende que, assim como na abordagem determinista, verifica-se pouca cobertura de fatores estruturais da relação tecnologia-sociedade. Por exemplo, as pesquisas sobre Educação à Distância (EaD), fundamentadas na lógica instrumental, tendem a considerar os espaços virtuais de aprendizagem (Moodle, fóruns etc.), como ferramentas neutras, onde os efeitos são condicionados aos usos. Orientadas para o ensino transmissivo, reforçarão a aprendizagem baseada na memorização, se utilizadas em atividades colaborativas e interativas, serviriam à educação em rede, em sintonia com as demandas da sociedade tecnológica (FEENBERG, 2017; PEIXOTO, 2015).

É certo que não é possível descartar a possibilidade da tecnologia ser empregada como instrumentos ou ferramentas para determinados fins. Contudo, o que o instrumentalismo ignora é a dimensão ativa dos sujeitos frente aos artefatos tecnológicos, pois “[...] a apropriação social e cognitiva de objetos técnicos varia segundo a cultura, a localização geográfica ou as condições econômicas dos sujeitos sociais” (PEIXOTO, 2015, p. 324).

Para Feenberg (2010), somos confrontados por ao menos dois sentidos diferentes para o desenvolvimento técnico. No primeiro, a cidadania será definida

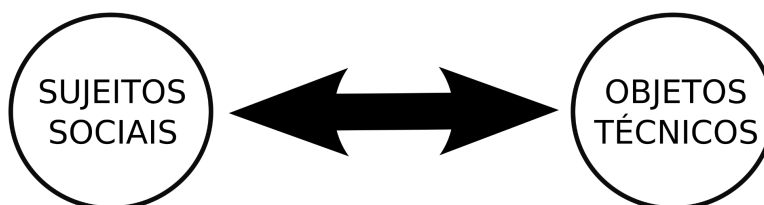
pelas funções que os indivíduos exercem em sistemas técnicos. Nesse sentido, a educação deve ser rigorosamente controlada e estritamente especializada em termos de custos e conteúdos. Esse projeto se valeria de um sistema automatizado, onde a comunicação se limita a entrega de dados.

O segundo sentido, concebe os indivíduos com potencialidades que não se limitam à realização profissional. Essa visão prevê uma educação aberta à cidadania, que busca incentivar a realização das potencialidades dos indivíduos, tanto em habilidades técnicas quanto no desenvolvimento pessoal.

A tecnologia educacional não determinará qual desses trajetos será seguido. Ao contrário, a política da comunidade educacional, que interage com as tendências políticas nacionais, dirigirá o desenvolvimento futuro da tecnologia, o que é muito importante para uma grande escala de atores que precisam ser incluídos no projeto tecnológico (FEENBERG, 2010, p. 171).

Peixoto (2012), propõe uma análise a partir da perspectiva dialética, de modo que os limites impostos pelo determinismo e instrumentalismo sejam superados. Como resultado, ela interpreta essa análise como *sociotécnica*, que considera os artefatos como construtos sociais. “Dessa forma, as relações entre as tecnologias e os sujeitos sociais se dão em uma perspectiva de reciprocidade” (PEIXOTO, 2012, p. 6). Essa relação está representada na Figura 3:

Figura 3 - Representação da abordagem sociotécnica na educação.



Fonte: adaptado de Peixoto (2012).

A autora constrói essa abordagem fundamentada nas discussões teóricas da *sociologia dos usos*. Os estudos iniciais sobre os usos, buscavam investigar as TIC para compreender como o público reagiria aos novos sistemas de informação. Esses estudos criticavam aspectos tecnicistas e enfatizavam a importância do usuário no uso das tecnologias (PEIXOTO, 2015). Como resultado, autores apontavam para a diferença entre as aplicações pensadas pelos técnicos/criadores e as que de fato eram empregadas pelos usuários. O sujeito detém uma parte de liberdade na escolha que faz para se apropriar de um artefato, independentemente do manual de instruções.

Contudo, Peixoto (2015), assinala que essa visão tem suas limitações. É dada ênfase excessiva nos aspectos técnicos dos usos, o domínio do dispositivo surge como pré-requisito para qualquer aplicação que dele derivar. Na educação, essa posição é manifestada em pesquisas em que as atividades são mediadas por TIC, primeiro os alunos são instruídos no uso da ferramenta para em seguida lidar com o conteúdo. Esse raciocínio também ampara a ideia que a formação de professores se dá em duas dimensões: uma técnica e outra pedagógica, como se fosse possível dissociar o conhecimento técnico sobre as TIC das formas pedagógicas de uso (PEIXOTO, 2012; 2015).

Outra limitação apontada pela autora é o otimismo carregado, que pressupõe que os indivíduos sempre fazem usos interessantes dos artefatos sob qualquer circunstância e as técnicas empregadas pelos usuários são limitadas somente pelas potencialidades de utilização dos objetos. Entretanto, como Peixoto (2012; 2015), diz, usuários, tecnologias e sistemas, fazem parte de um todo que é configurado por um dado contexto social, econômico e cultural. Os usos não são ligados somente aos artefatos, mas também aos contextos dos quais ele faz parte.

A abordagem sociotécnica aparece como maneira de superar a dicotomia entre sujeito e tecnologia, e tratar os usos a partir de uma relação dialética constante entre técnica e lógica social. Feenberg (2015), afirma que a separação entre a função técnica e o significado social de um artefato é um autêntico produto da cultura técnica. A ideia de *função* abandona o contexto social de uma tecnologia, no qual os engenheiros e técnicos só se concentram naquilo que precisam saber para realizar seu trabalho. Entretanto, o autor defende que obtém-se um cenário mais completo, quando é incluído na análise o papel social dos objetos técnicos e os estilos de vida que estes tornam possíveis. Na análise sociotécnica, os limites de uma tecnologia não estão contidos em si mesma, o seu desenvolvimento só existe e se manifesta através dos usos atribuídos pelos sujeitos sociais. Peixoto, (2015) completa, indicando que quando aplicada na formação

[...] os objetos técnicos são formatados pelo jogo da interação que se desenvolve entre os diversos grupos sociais. O conceito de configuração sociotécnica, ao relativizar o determinismo e afirmar os sistemas técnicos como construtos sociais, permite o aprofundamento da compreensão dos efeitos condicionantes e das relações recíprocas entre a técnica e as relações sociais (PEIXOTO, 2015. p. 329).

A autora complementa que essa percepção permite direcionar as análises para a relação entre os sujeitos e as tecnologias, compreendendo a instrumentação das

atividades como produção complexa, em que interagem os dados da técnica e os processos de apropriação simultaneamente. Nas pesquisas que investigam a relação entre educação e tecnologia, a abordagem sociotécnica permite deslocar o foco da análise para o vínculo entre os sujeitos sociais e os objetos técnicos (PEIXOTO, 2012).

Essa abordagem também possibilita uma aproximação com a teoria crítica da tecnologia defendida por Feenberg (2010; 2015; 2017), e proporciona um aprofundamento das análises amparadas pela teoria da dupla instrumentalização, na qual a relação sociotécnica manifesta-se na conexão entre os momentos de cada uma das instrumentalizações. Nesse sentido, Peixoto (2012), completa: os usos estão ligados aos contextos tanto quanto aos objetos, por isso observar somente os usos não é suficiente, demandando análises que “[...] permitam captar a instrumentalidade técnica além de ‘ver e escutar’ os sujeitos sociais” (PEIXOTO, 2012, p. 7).

5. Relações históricas e conceituais da Alfabetização Científica

Existe a compreensão de que os métodos tradicionais de ensino não estão sendo eficazes no processo de educação no geral, mas em especial nas disciplinas das áreas das ciências da natureza. Já há algum tempo que pesquisadores vêm criticando o modelo vertical, baseado no saber do professor, que é depositado na cabeça do aluno, este último entendido como um receptáculo vazio. Paulo Freire (1974), caracteriza esta *transferência* do conhecimento como *educação bancária*, que adquire moldes mais agressivos quando pensamos as aulas de ciências, pois há uma sobrevalorização da memorização de fórmulas, nomes e uma tendência à reprodução de exercícios matemáticos pré-prontos (CHASSOT, 2014).

Chassot (2014), também coloca que afigura-se uma mistificação da ciência e de tudo que cerca a sua prática, criando na mentalidade coletiva a falsa asserção de que é algo inalcançável ou destinado para poucos (os mais inteligentes). Para o autor o próprio sistema de ensino tem sua parcela de culpa na criação desta visão distorcida, pois ainda é na sala de aula que perpetuam-se práticas que reforçam os preconceitos sobre a ciência, entre eles a visão eurocêntrica, branca, masculina e elitista.

Parece razoável que nas escolas, não só nas aulas de ciências, exista um esforço pedagógico que busque romper as barreiras impostas pelo ensino tradicional

e também pelo senso comum. No geral, estudos enfatizam o potencial das TIC como instrumento para que os professores construam meios que superem obstáculos do processo de ensino de ciências (HECKLER, SARAIVA, OLIVEIRA, 2007; VIEIRA, AGUIAR, 2009; PIETROCOLA, BROCKINGTON, 2012; SOUZA, GONÇALVES, 2019).

Como horizonte teórico, as tecnologias se relacionam com o Ensino de Ciências nas proposições apresentadas da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT), em especial nos estudos que tomam como base os vínculos entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Contudo, é importante que essas relações sejam tratadas tendo como ponto de vista a Teoria Crítica da Tecnologia e da abordagem sociotécnica, uma vez que buscamos superar as concepções instrumentalistas e deterministas dos artefatos utilizados no contexto educacional.

A expressão *scientific literacy* surge no contexto estadunidense no final da década de 1950, quando as discussões sobre o entendimento público de ciência levaram ao trabalho de Paul Hurd em 1958, intitulado *Science Literacy: Its Meaning for American Schools*, onde o termo aparece pela primeira vez. Em outros contextos de pesquisa em educação em ciência, existe uma variação para a expressão que refere-se a formação em ciências voltada para a participação cidadã em questões relevantes sobre a relação ciência-tecnologia com a sociedade (SANTOS; MORTIMER, 2002; SANTOS, 2007; TEIXEIRA, 2013; COSTA; RIBEIRO; ZOMPERO, 2015). Sasseron & Carvalho (2011), expõem que na língua espanhola é possível encontrar *Alfabetización Científica*, enquanto no francês o termo é referido como *Alphabétisation Scientifique* ou ainda *la culture scientifique*.

Para o contexto nacional, existe certa divergência no que diz respeito a tradução de *scientific literacy*, por vezes interpretado simplesmente como *Alfabetização científica*, seguindo o padrão de outras línguas latinas. Em outros casos, autores usam *Letramento Científico*, tomando emprestado o termo de estudos da linguística. Nessa compreensão, o letramento é definido como uma soma de práticas sociais que “[...] usam a escrita enquanto sistema simbólico e enquanto tecnologia, em contextos específicos, com objetivos específicos” (KLEIMAN, 1995 *apud* CUNHA, 2017, p. 172).

Apesar da pluralidade de termos, os pesquisadores amparados por essas concepções teóricas, buscam

[...] a formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de sua vida. Podemos perceber que no cerne das discussões [...] que usam um termo ou outro estão as mesmas preocupações com o ensino de Ciências, ou seja, motivos que guiam o planejamento desse ensino para a construção de benefícios práticos para as pessoas, a sociedade e o meio-ambiente (SASSERON, CARVALHO, 2011, p. 60).

Sasseron & Carvalho (2011), se apoiam na concepção defendida por Paulo Freire (1974), para caracterizar a *Alfabetização Científica* (AC). A alfabetização deve proporcionar a capacidade de organizar o pensamento de forma lógica, além de possibilitar a construção de uma visão crítica em relação ao seu contexto. Assim, o processo propicia a formação de conexões entre o mundo em que o indivíduo vive e a palavra escrita, e dessas conexões nascem os significados e a construção do conhecimento.

Retornando para os aspectos históricos, o contexto estadunidense pós segunda guerra mundial foi um cenário de efervescência do debate político-científico sobre o papel da ciência (SHAMOS, 1995; AULER; BAZZO, 2001; SANTOS; MORTIMER, 2002; SANTOS, 2007; COSTA; RIBEIRO; ZOMPERO, 2015). Cientistas, contemporâneos dos horrores da guerra, sabendo os potenciais do conhecimento científico (materializado na bomba atômica), passaram a defender que a educação da população sobre ciências seria fundamental para evitar que o conhecimento fosse usado de maneira catastrófica no futuro (SHAMOS, 1995). Para além do controle civil da energia nuclear, a comunidade científica estadunidense também enxergava na alfabetização científica uma maneira de obter apoio público à sua empreitada, em resposta à investida soviética com o lançamento do satélite Sputnik (LAUGKSCH, 2000).

Segundo Shamos (1995), a agência federal independente *National Science Foundation*⁴ (NSF), teve seu programa intensificado nas décadas de 1960 e 1970 com o avanço da guerra fria, sendo que no discurso a preocupação era com a formação cidadã para lidar com os avanços científicos e tecnológicos da época. Entretanto, Hurd (1998), destaca que o programa da NSF visava a alfabetização científica a partir da compreensão da estrutura das disciplinas e o seu modo de investigação. Os cursos eram orientados, com base conteudista, para a formação técnica e não estavam necessariamente preocupados com a utilização do conhecimento científico para o benefício público.

⁴ <<https://www.nsf.gov/>>

Com o crescimento dos estudos, educadores e professores passaram a se esforçar para estabelecer uma base que fornecesse a todos os estudantes, e para o público em geral, uma compreensão mais ampla sobre ciência e tecnologia. Programas foram criados em busca de estabelecer como obrigatório as disciplinas científicas no ensino básico (SHAMOS, 1995; LAUGKSCH, 2000), mas foi com a exigência de um conhecimento mínimo sobre ciências para ingresso nas universidades que as disciplinas científicas se tornaram a característica principal dos currículos pré-universitários nos Estados Unidos (SHAMOS, 1995).

No final de 1970 e início dos anos 1980, o ritmo das reformas do ensino de ciências perderam força, esse período também foi caracterizado por múltiplas definições e interpretações de AC, esvaziando seu significado e criando divergências sobre a sua utilidade (SHAMOS, 1995; LAUGKSCH, 2000). Inicialmente, o termo era compreendido como política científica, sendo este o principal ponto de intersecção entre ciência e sociedade. Apesar da comunidade educacional ampliar o termo para abranger objetivos coletivos do ensino de ciências, a interface ciência-sociedade aparece apenas como um propósito subdeterminado (SHAMOS, 1995).

Contudo, Shamos (1995), também diz que estudiosos, em especial cientistas sociais, insistiram na ideia da AC fundamentalmente como a habilidade de lidar com consequências sociais das ciências, “[...] desde *entender* o que a ciência faz, até exercer controle sobre ela” (SHAMOS, 1995, p. 85). Ele utiliza como exemplo estudos de pesquisadores da área de ensino de ciências, que destacam a dimensão social como fundamental para uma formação cidadã, criando consciência sobre a ciência e controvérsias relacionadas a ela.

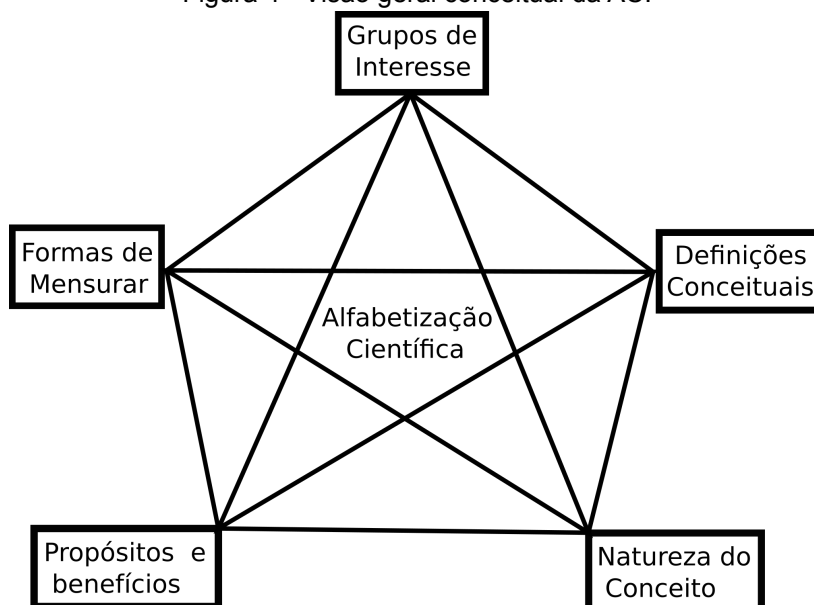
Essa pluralidade de definições, desde o domínio de um conhecimento básico até a superioridade tecnológica do país, da ciência vista como construção cultural à *atitude científica*, levaram aos questionamentos sobre o real propósito de uma alfabetização científica (SHAMOS, 1995).

Todas as definições formais de alfabetização científica estão vinculadas à visão convencional que, no mínimo, a alfabetização científica significa ter alguma compreensão de ciência, sendo a principal diferença o nível de conhecimento científico que deve ser exigido para tal rótulo. (SHAMOS, 1995, p. 86. Tradução livre).

Nesse sentido, estudos buscam sua conceituação com base em dimensões que podem ser atribuídas ao conhecimento de ciência e tecnologia. No seu trabalho

de revisão, Laugksch (2000), busca obter uma melhor compreensão da visão geral das relações que cercam a AC, visto que vários fatores influenciam sua interpretação. Estes fatores incluem os diferentes *grupos de interesse*, as diferentes *definições conceituais*, a relativa *natureza do conceito*, os diversos *propósitos* para qual servirá e as variadas *formas de mensurar* uma efetiva Alfabetização Científica (Figura 4).

Figura 4 - Visão geral conceitual da AC.



Fonte: adaptado de Laugksch (2000).

O autor aponta que existem ao menos quatro *grupos de interesse*: o primeiro grupo é a comunidade de ensino de ciências, preocupada principalmente com a relação entre a educação formal e a AC. O segundo grupo são os cientistas sociais preocupados com políticas públicas voltadas para a ciência e tecnologia. O terceiro inclui sociólogos da ciência e educadores em ciência, que empregam uma abordagem social da Alfabetização Científica. Por fim, o quarto grupo de interesse é a comunidade de Ensino de Ciências, formal e informal, envolvidos com divulgação científica.

Sobre as *definições conceituais*, Laugksch (2000), articula diferentes autores para sintetizar o debate em torno das principais compreensões levantadas pelos estudos revisados. Os autores e suas respectivas posições teóricas são resumidas no Quadro 5.

Quadro 5 - Posição de diferentes autores sobre o conceito de AC.

Autor	Conceito de AC
Snow (1959)	Domínio da literatura e ciência
Pella <i>et al</i> (1966)	Entendimento de (a) inter-relações de ciência e sociedade; (b) ética que guia os cientistas nas suas pesquisas; (c) natureza da ciência; (e) diferença entre ciência e tecnologia; (d) conceitos básicos de ciência; e (f) inter-relação entre ciência e humanidades.
Showalter (1974)	Definida em sete dimensões: (a) natureza do conhecimento científico; (b) aplicação apropriada de conceitos da ciência; (c) processo científico na resolução de problemas; (d) interação com aspectos sociais subjacentes a ciência; (e) compreensão e apreciação do empreendimento conjunto da ciência e tecnologia e sua relação com a sociedade; (f) proporciona uma visão mais satisfatória e empolgante dos resultados da ciência; (g) desenvolver diversas habilidades associada com ciência e tecnologia.
Shen (1975a; 1975b)	Três categorias: alfabetização científica prática, cívica e cultural.
Branscomb (1981)	Habilidade de ler, escrever e interpretar o conhecimento humano sistematizado.
Miller (1983)	Três dimensões: (a) compreensão das normas e métodos da ciência; (b) entendimento de conceitos chave da ciência; e (c) consciência e compreensão do impacto da ciência e tecnologia na sociedade.
Arons (1983)	Habilidades Intelectuais para lidar com o conhecimento científico.
Hirsch (1987)	Comunicação efetiva entre dois grupos.
AAAS (1989)	Conjunto de recomendações que destacam o conhecimento, habilidades e atitudes que todos os estudantes devem ter ao final da sua experiência escolar.
Hazen & Trefil (1991)	Conhecimento necessário para compreender problemas públicos relacionados à ciência e tecnologia..
Shamos (1995)	Três níveis construídos um sobre o outro, aumentando sua sofisticação: alfabetização científica (a) cultural; (b) funcional; e (c) verdadeira.
Layton, Davey, & Jenkins, (1986); Layton, Jenkins, Macgill, & Davey, (1993).	Ciência para propósitos sociais específicos.

Fonte: adaptado de Laugksch (2000).

Problemas associados com estas interpretações conceituais, muitas vezes, são associados à própria *natureza do conceito*. Nesse sentido, o autor constrói sua análise em torno de três interpretações do termo *alfabetizado* e na implicação que cada definição tem sobre a natureza do conhecimento. Na primeira, é vista como

sinônimo de *aprendizado*, vista como fenômeno isolado, descontextualizada de aspectos sociais. A segunda é compreendida como *competente*, ou seja, adequada ou suficiente em qualidade e grau. Esse sentido é atribuído ao conhecimento intermediário, entre o especialista e o leigo. Por fim, a terceira interpretação de alfabetizado é traduzida como o conhecimento mínimo aceitável para atuar em certas funções sociais.

Baseado nessa análise, Laugksch (2000), identifica duas características principais que envolvem a natureza do conceito. A primeira refere-se a natureza relativa ou absoluta da AC. A segunda característica diz respeito à extensão do envolvimento dos indivíduos na e com a sociedade. O autor conclui que, a despeito dos problemas, cada interpretação busca contemplar os *propósitos* de uma alfabetização científica.

Entretanto, ele chama atenção para o caráter difuso com que é tratado, muitas vezes se fundamentando no simples fato de ser uma *coisa boa*. Para superar essa visão ingênua, são elaboradas duas justificativas básicas para a defesa da Alfabetização Científica e os seus *propósitos*. Em um nível macro, ela serviria o bem-estar nacional, visto que o conhecimento sobre ciência e tecnologia é associado com questões econômicas e de competição de mercado. Associada a essa visão, também está a compreensão de que a AC capacitaria os indivíduos a participar habilmente em setores produtivos da economia.

Já no nível micro, é sugerido que o entendimento de questões sobre ciência e tecnologia pelos sujeitos é de fundamental importância em uma sociedade altamente científica e tecnológica. Além disso, justifica-se que o cidadão estaria mais capacitado para explorar novas oportunidades profissionais, bem como tirar vantagem de avanços técnicos no seu ambiente de trabalho (LAUGKSCH, 2000). Seguindo esse raciocínio, Hurd (1998) entende que os comportamentos associados ao uso do conhecimento científico são a base cívica da AC. “Essa percepção é uma mistura das mudanças revolucionárias nas ciências com as dimensões de nossa democracia, progresso social e necessidades adaptativas dos seres humanos.” (HURD, 1998).

Dada a variedade de interpretações das definições conceituais, da natureza e dos propósitos, é esperado que existam divergências sobre como seria possível *medir* a Alfabetização Científica. Laugksch (2000), apresenta como cada grupo de interesse busca estabelecer parâmetros para que seja possível determinar algum

nível de AC. Para cientistas sociais e pesquisadores do ensino de ciências que abordam o tema seguindo uma abordagem sociológica, o objetivo é identificar e descrever uma gama de possíveis interações entre as interpretações dos sujeitos de situações que envolvam a ciência e as compreensões da própria ciência.

Os cientistas sociais e pesquisadores interessados na opinião pública sobre ciência, aferem a AC através de grandes amostras da população com o uso de questionários padronizados, com a intenção de identificar e descrever tendências relacionadas a, por exemplo, conhecimentos específicos e/ou atitudes sobre a ciência. Essa abordagem é comumente criticada por sobrevalorizar aspectos estatísticos em detrimento do contexto social (LAUGKSCH, 2000; VIZZOTTO; PINO, 2020).

Apesar da natureza complexa da Alfabetização Científica, pesquisadores e educadores em ciências tendem a mensurar a compreensão de estudantes sobre ciências a partir de dimensões individualizadas, como a natureza da ciência, o conhecimento científico, impacto da ciência e tecnologia na sociedade etc. Laugksch (2000), exemplifica esse comportamento na variedade de testes que diversos estudiosos vêm empregando com a finalidade de medir o grau de alfabetização em ciências. Os testes, no geral, buscam monitorar a visão do aluno sobre uma variedade de tópicos relacionados à ciência, tecnologia e sociedade:

Pelo caráter ambíguo e complexo, e considerando que os trabalhos de Ensino de Ciências procuram algum nível de compreensão de temas científicos, a AC dificilmente pode ser definida de maneira simples. Uma definição significativa só pode ser expressa em termos de comportamentos frente a atividades que envolvam ciência e tecnologia, ou por resultados mensuráveis (SHAMOS, 1995). Entretanto, o que se espera de um sujeito *alfabetizado* cientificamente? É possível determinar de maneira objetiva como esse conhecimento se manifesta?

No seu trabalho de revisão, Laugksch (2000), salienta, de maneira geral, a contribuição de Jon Miller (1983; 1998), importante cientista político, na evolução do debate sobre o Ensino de Ciência. Em um trabalho de 1983, Miller propunha um caráter multidimensional da Alfabetização Científica. Nesse modelo, ele estabelece certos critérios, onde a funcionalidade da AC deveria ser percebida como o nível de compreensão necessária para que o sujeito funcione minimamente como cidadão e *consumidor* (LAUGKSCH, 2000).

Entretanto, Shamos (1995), diz que Miller não especifica o que ele quer dizer com *funcionar minimamente*, exceto por resumir as posições dos diversos autores sobre o conceito de AC, variando a ênfase dada em cada tópico. Ela trabalha em três dimensões: 1) aquisição de um vocabulário básico; 2) entendimento do processo científico; 3) compreensão do impacto da ciência e da tecnologia na sociedade (MILLER, 1983; 1998).

Em geral, uma pessoa que passou pela educação formal tem certa noção sobre fatos da natureza e sobre o que a ciência se trata (SHAMOS, 1995). Para resumir as posições de diversos autores, baseados nas dimensões apresentadas anteriormente, Shamos (1995) vai agrupar as interpretações em três níveis. O primeiro é o da *Alfabetização Científica Cultural*, tido como o nível mais simples, associado à dimensão do vocabulário, nesse sentido, implica a compreensão de termos e certa experiência com a informação vista em meios de comunicação e o reconhecimento de muitas expressões utilizadas por cientistas.

No segundo nível está a *Alfabetização Científica Funcional*, na qual acrescenta-se ao reconhecimento de termos e expressões a capacidade de utilizá-los para exprimir ideias através de textos e discursos (SHAMOS, 1995). Nesse nível, o sujeito é capaz de se engajar em uma conversa significativa sobre questões científicas do seu cotidiano, e Shamos (1995), aponta que muitos testes que visam mensurar a alfabetização científica referem-se a esse nível. Ele argumenta que o número de adultos nos EUA que alcançam esse nível funcional é muito baixo, visto que dificilmente eles têm contato com esses temas uma vez que terminam o ensino básico formal.

Contudo, falta a esses dois níveis de alfabetização a compreensão do processo científico e o papel fundamental da teoria na prática científica (SHAMOS, 1995). Assim, chegamos ao terceiro nível apresentado por Shamos (1995), que seria a *Verdadeira Alfabetização Científica*. Nela, o indivíduo de fato entende a ciência como empreendimento humano, ou seja, ele ou ela compreende as bases teóricas das quais derivam as teorias científicas, como chegaram a tais bases, como a ciência organiza as informações da natureza e a função indispensável do experimento na ciência. Esse indivíduo também consegue apreciar os elementos da investigação científica, a importância das perguntas e do raciocínio analítico dedutivo e confiança na objetividade das evidências (SHAMOS, 1995).

Entretanto, como o autor menciona, esse nível geralmente é alcançado somente por aqueles envolvidos diretamente com pesquisas científicas ou engenharia etc. O conceito de AC verdadeira continua como algo abstrato que nunca foi alcançado para a população no geral. Shamos (1995), vai apontar que

Esta é obviamente uma definição exigente de alfabetização científica e alguns podem argumentar que ela é projetada para tornar tal alfabetização inatingível pelo público em geral. Mas isso significa apenas que o próprio termo [...] foi usado de maneira muito vaga no passado e que, quando visto de forma realista, é improvável que a verdadeira alfabetização científica, conforme definida aqui, seja alcançada no futuro próximo. (SHAMOS, 1995, p. 90. Tradução livre).

O autor sugere que o problema pode estar na amplitude do próprio conceito, e mesmo que alguns elementos centrais sejam alcançados, seria por uma parcela muito pequena da sociedade. Para ele, os esforços no Ensino de Ciências deveriam convergir para a construção de uma *consciência científica*⁵, onde a ciência e tecnologia não podem ser desvinculados de seus aspectos sociais, em especial na relação da tecnologia com o mundo social e o uso apropriado de especialistas.

Essas discussões iniciadas nos EUA influenciaram pesquisadores de outros países. No Brasil o tema já vem sendo abordado por alguns autores em trabalhos que buscam o incluir no contexto nacional (AULER, 2003; 2005; REIS, 2004; SASSERON; CARVALHO, 2011; CHASSOT, 2014; TEIXEIRA; 2013; SASSERON, 2011; 2017). Não raro, as definições de *alfabetização* são baseadas na interpretação de Paulo Freire. Após citá-lo, Sasseron & Carvalho (2011a), concluem que a alfabetização deve desenvolver no indivíduo a capacidade de organizar o pensamento de maneira lógica, além de auxiliar na conscientização crítica em relação ao mundo que o cerca.

Chassot (2014), estende essa concepção para o ensino de ciências e caracteriza a AC como o conjunto de conhecimentos que facilitariam aos homens e mulheres realizar uma *leitura* do mundo onde vivem. No trabalho de revisão de literatura, Sasseron & Carvalho (2011), listam as diferentes posições de pesquisadores sobre o que consideram como necessário para um sujeito ser classificado como *alfabetizado cientificamente*. Como conclusão desse estudo, as autoras destacam a convergência de certos temas e agregam essa percepção em três grandes blocos, identificados como os *Três Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica* (SASSERON, 2011).

⁵ Tradução direta de *scientific awareness*.

Assim como apresentado por Shamos (1995), onde os níveis são uma interpretação das três dimensões da AC caracterizadas por J. Miller, os eixos estruturantes são divididos de forma a contemplar (a) a linguagem própria da ciência, (b) a natureza e fatores políticos e ideológicos da ciência e (c) a relação entre ciência, tecnologia e sociedade (SASSERON; CARVALHO, 2011).

O primeiro dos três eixos refere-se à *compreensão básica de termos, conceitos e conhecimentos científicos fundamentais*. Sua importância está no entendimento de conceitos-chave que permitem apreender informações do cotidiano. Na prática, entender conceitos científicos básicos demandará dos estudantes como eles se estruturam como tal, e como se relacionam com a matemática, permitindo a interpretação de gráficos, tabelas e fórmulas (SASSERON, 2011; 2017).

O segundo eixo é ligado diretamente com o *estudo da natureza das ciências e de fatores éticos e políticos intrínsecos à sua prática*. Nesse eixo, a ciência é concebida como um conjunto de ideias que fazem parte da cultura humana e que estão em constante transformação. As estratégias em sala de aula exploram informações e circunstâncias que exigem reflexões que vão além da disciplina, integrando aspectos políticos e sociais aos processos que guiam decisões científicas.

Por fim, o terceiro eixo relaciona-se à compreensão das *relações entre ciência, tecnologia e sociedade e meio-ambiente*. Sasseron (2011), enfatiza a importância de assimilar as aplicações do conhecimento construído pelas ciências, em especial o impacto do desenvolvimento tecnológico no meio-ambiente, visando a educação voltada para um futuro sustentável.

A autora defende que as propostas didáticas embasadas nesses eixos proporcionam a oportunidade de trabalhar habilidades que contribuem para uma formação participativa sobre questões científicas. Ela conclui que os eixos estruturantes da AC não são rígidos para o estabelecimento de pontos do planejamento, “[...] mas diretrizes quanto à organização do desenvolvimento de aulas de Ciências” (SASSERON, 2017, p. 17).

Como forma de mensurar, Sasseron (2011; 2017), parte do pressuposto que são identificáveis os *indicadores de Alfabetização científica* (Quadro 6), cuja função é classificar atitudes e discursos no trabalho em sala de aula a fim de verificar se a AC está em desenvolvimento entre os alunos.

Quadro 6 - Indicadores da Alfabetização Científica.

Indicadores	Manifestos na:
Seriação de informações Organização de informações Classificação de informações	Ação Investigativa
Raciocínio lógico Raciocínio proporcional.	Estruturação do pensamento
Levantamento de hipóteses Teste de hipóteses	Teoria e experimentação

Fonte: adaptado de Sasseron (2017).

Os três indicadores - *justificativa*, *explicação* e *previsão* - estão fortemente ligados entre si. Proporcionam o estudo e análise de um problema real, auxiliando a promoção de habilidades e estratégias que podem ser estendidas para outras situações, além de permitir que se perceba a relação entre fenômenos naturais e ações humanas (SASSERON, 2017).

Por sua vez, Chassot (2014) destaca os estudos do campo Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e da História e Filosofia da Ciência, como abordagens fundamentais para o estímulo de uma AC voltada para a cidadania. Nessa concepção, o autor reforça a ideia da ciência como produção humana, portanto fundamental para que a cidadania possa ser exercida plenamente. Seguindo o mesmo raciocínio, mas procurando aprofundar o debate, Auler & Delizoicov (2001), enfatizam a relação ciência-tecnologia (CT) no ensino como meio para superar algumas o que consideram como *mitos* da educação em ciências: a *superioridade dos modelos de decisão tecnocráticos*, *concepção salvacionista de CT* e o *determinismo tecnológico*.

Ao focar a relação ciência-tecnologia, Auler (2003) busca aproximar dois referenciais teóricos que visam a democratização de processos decisórios. De um lado o movimento CTS e de outro a concepção educacional de Paulo Freire. Dessa forma, é preciso que as aulas de ciências abandonem o caráter apolítico, provocando discussões com os alunos que busquem elucidar contrariedades que permeiam a atividade científica e tecnológica, deixando de passar a imagem de uma ciência e tecnologia sempre boa e neutra (AULER; DELIZOICOV, 2001; AULER, 2003; CHASSOT, 2014).

6. Alfabetização Científica e Determinismo tecnológico

A realidade do estudante (também a do professor), aparece nitidamente como um fator que deve influenciar nas propostas pedagógicas desenvolvidas na escola. Assim, os programas de AC guiados pela visão tecnocrática do início do século XX, que emergiram principalmente nos EUA, tornam-se obsoletos. Antes o contexto projetava a formação de cientistas para o desenvolvimento tecnológico, que simbolizava (e ainda simboliza) uma vantagem bélica. Do meio do século XX em diante passaram a ser crescentes os questionamentos sobre o desenvolvimento científico e tecnológico, visto que estes não estavam conduzindo ao bem-estar social. Essa movimentação dá origem a abordagem CTS, que busca uma reavaliação da influência da tecnologia e da ciência na sociedade, inclusive sobre o papel dos técnicos e cientistas nas tomadas de decisões, reivindicando uma participação social mais democrática e menos tecnocrática (AULER; BAZZO, 2001; RIBEIRO *et al*, 2020).

Com essa compreensão Auler (2003), utiliza a perspectiva freiriana para aproximar a visão crítica de alfabetização, pautada na realidade do sujeito, com os pressupostos do movimento CTS, em busca de superar a percepção de neutralidade da CT e do determinismo tecnológico. Como forma de destacar a visão deste autor, a AC adquire uma dimensão teórica mais aprofundada sobre a influência da tecnologia no ensino de ciências, refletida no uso do termo Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT).

Auler & Delizoicov (2001), concebem a ACT segundo duas interpretações: a *reducionista* e a *ampliada*. Na perspectiva reducionista, a alfabetização em CT estabelece como objetivo a transmissão unidirecional do conhecimento científico. Os autores pontuam que nesse modelo, está implícito a tentativa de preservar e ampliar o apoio fornecido à ciência, e destacam três princípios básicos: (i) o público é ignorante sobre questões científicas e tecnológicas, (ii) a visão de mundo oferecida pela ciência é considerada única e privilegiada e (iii) a ciência é retratada como uma atividade neutra, desprovida de valores (AULER, 2003).

A perspectiva ampliada nasce da interação dos estudos CTS com o referencial freireano. A alfabetização científica não deve ser tratada como atividade mecânica, mas como forma de instrumentalização do indivíduo para fazer uma leitura de mundo (AULER, 2003; CHASSOT, 2014; VINTURI *et al*, 2014; GARCIA *et al*, 2020; RIBEIRO *et al*, 2020). Também é no legado de Freire (1974), que Auler (2003), se

apoia na defesa de possibilidades mais democráticas em relação à definição de políticas para a CT. O ensino de ciências deve contribuir para a desconstrução dos discursos teóricos cientificistas relacionados à ciência e tecnologia.

Nesse sentido, a Teoria Crítica da Tecnologia está de acordo com a abordagem ampliada da ACT, pois Feenberg (2010; 2015), entende que a participação democrática no que diz respeito às decisões que guiam certo projeto tecnológico. Auler (2003), argumenta que a educação em ciências

[...] deve propiciar a compreensão do entorno da atividade científico-tecnológica, potencializando a participação de mais segmentos da sociedade civil, não apenas na avaliação dos impactos pós-produção, mas, principalmente, na definição de parâmetros em relação ao desenvolvimento científico-tecnológico. Participando, dessa forma, no direcionamento, ou seja, na definição da agenda de investigação (AULER, 2003, p. 71).

O autor explica que esta suposição é fundamentada: grandes problemas sociais atuais não são solucionáveis simplesmente utilizando-se critérios científico-tecnológicos. É direito da sociedade, como um todo, participar em definições que envolvam seu futuro, objetivando vencer o domínio da lógica tecnicista e mercadológica no direcionamento das investigações que envolvem CT.

Em busca da superação da educação *bancária*, os conteúdos são abordados por Auler (2003), de forma crítica, onde são desenvolvidos na visão de *temas* significativos locais. Como alternativa ao ensino disciplinar, o autor reforça a posição de outros estudos, onde o processo pedagógico não deve se limitar à sala de aula. Desta forma, a abordagem temática trata de situações amplas e complexas, envolvendo uma aproximação interdisciplinar. Entretanto, a interdisciplinaridade não se reduz à relação entre os diferentes campos da ciência ou junção de disciplinas. Ela expressa os temas como fenômenos sociais complexos, e sua compreensão requer a articulação de várias áreas das ciências naturais (AULER, 2003; VINTURI *et al*, 2014; GARCIA *et al*, 2020).

Discutir as controvérsias da ciência podem contribuir para atividades que buscam a estruturação da visão crítica sobre a ciência e tecnologia. Como dito, as reflexões e propostas de ensino que buscam correlacionar de maneira crítica aspectos da ciência e tecnologia ligados à sociedade e meio ambiente, constituem o campo CTS. Auler (2011), também destaca circunstâncias econômicas que envolvem a CT:

Por ser uma atividade social, é condicionada por fatores econômicos, políticos e sociais, e, por conseguinte, a direção de seu desenvolvimento atende a interesses particulares de determinados atores sociais. [...] Com a

aceitação passiva dos 'milagres' da tecnologia, com a adesão ao sonho consumista, a humanidade, como um todo, está perdendo a chance de moldar o futuro (AULER, 2011. p. 77).

Assim, os assuntos controversos da ciência, dentro do campo CTS, contribuem para a ACT, na medida que, possibilita uma transformação social, sendo que os debates em torno dos problemas científicos-tecnológicos auxiliam em uma tomada de consciência de classe, compreensão de interesses econômicos por trás de avanços tecnológicos e a desmistificação da tecnocracia, dissociando a ideia de que o desenvolvimento social está atrelado ao desenvolvimento tecnológico (GENOVESE; GENOVESE; CARVALHO, 2019; GARCIA *et al*, 2020).

Como dito, o movimento CTS surge no contexto em que a percepção das pessoas sobre Ciência e Tecnologia começa a mudar, ocasionada por acontecimentos duvidosos relacionados à CT, conseqüentemente, provocaram novas reflexões sobre as aulas de ciências. Contudo, apesar do aprofundamento trazido pelo movimento para a ACT, algumas abordagens CTS mostram-se restritas, limitando-se a discutir aspectos históricos da ciência ou apenas destacando aplicações sociais de tecnologias. Por outro lado, a problematização de controvérsias da ciência e tecnologia, teve uma contribuição abrangente na renovação do Ensino de Ciências (GENOVESE; GENOVESE; CARVALHO, 2019).

Partindo das controvérsias tecnológicas, a proposta de Auler (2003), para a ACT ampliada e atividades baseadas em temas, podem se beneficiar de uma abordagem que coloca as tecnologias no centro dos estudos em sala de aula e das pesquisas científicas em educação.

CAPÍTULO II - Simulações Computacionais no Ensino de Física: Revisão Bibliográfica e Análise Textual

1. Simulação Computacional e Ensino de Ciências

Cientistas e engenheiros já vêm utilizando as simulações como modelos para representar a realidade, de modo a ampliar a compreensão científica e facilitar a comunicação e ensino. Lunetta & Hofstein (1981), apontam que o desenvolvimento e aplicação das simulações correspondem a uma variedade de situações. Alguns exemplos podem ser encontrados em programas de treinamento, como de pilotos de avião, astronautas e na formação de condutores de veículos, ou na forma de entretenimento, como jogos e outras mídias (PIRAS; GONZÁLES, 2020). É comum que no Ensino de Ciências sejam usadas simulações como forma de ilustrar conceitos, fenômenos e sistemas complexos, limitando seu uso a uma abordagem instrumental, explorando seu efeito visual.

Entretanto, o termo *simulação* pode ser aplicado em diferentes contextos com diferentes interpretações. Primeiramente, o que define uma *simulação*? Existe um longo debate no campo filosófico, diversos autores abordam o tema a partir da relação entre *imagem* e *simulacro*. Segundo Freitas (2013), a imagem na atualidade está repleta de ambiguidades, cada indivíduo atribui sua avaliação da existência sobre as imagens, tomando um referente do mundo real. “A imagem não constitui o objeto em si, mas é a sua representação, o simulacro” (FREITAS, 2013, p. 334).

Nessa perspectiva, Freitas (2013), busca uma caracterização da simulação de acordo com as discussões apresentadas pelo sociólogo e filósofo francês Jean Baudrillard (1929-2007), nelas o simulacro é compreendido a partir de três ordens distintas, em referência a três momentos da história: na primeira ordem, aparece como *falsificação* e *imitação*, representação dominante do Renascimento à Revolução industrial. Na era da indústria, a autora aponta que a segunda ordem se refere à produção e reprodução de bens e mercadorias. Já no pós-industrialismo, a terceira ordem é o esquema dominante da fase atual, chamada de *simulação*, ela distorce o real, se confundindo com ele, o que é considerado é a significação do valor das coisas, a lógica funcional do artefato, a lógica do ponto de vista econômico, a troca simbólica e a lógica do objeto-signo, assim a simulação é um

processo que está entre a imitação e a metamorfose (LENHARD; KÜPPERS; SHINN, 2006; FREITAS, 2013).

De modo geral, as simulações podem ser classificadas de acordo com certas características. Algumas envolvem maquetes, outras computadores e modelos. Elas podem servir a diferentes propósitos, de jogos à atividades em laboratório. Cientistas podem utilizar uma simulação para explorar efeitos de teorias que não podem ser exploradas no mundo real. Também podem simular experimentos que, de uma maneira ou de outra, não podem ser realizados em laboratório. Isso se deve, principalmente, pelo fato das simulações serem baseadas em *modelos* (GRÜNE-YANOFF; WEIRICH, 2010).

Com o uso dos computadores, as simulações ganharam novo patamar, mas também passaram a ser definidas como uma representação de um sistema que pode ser modelado matematicamente através de fórmulas ou algoritmos (LUNETTA; HOFSTEIN, 1981). Nessa concepção, Winsberg (1999; 2001), distingue três visões sobre a modelização da simulação: na primeira, a simulação é apresentada como solução para equações analíticas e na exploração de propriedades estatísticas. Visão fundamentalmente instrumental, em que a simulação é uma ferramenta utilizada pelos cientistas na análise matemática e no estudo de distribuições e modelos estatísticos (PECK, 2004).

Na segunda visão, as simulações são percebidas como um novo tipo de ciência, que está no meio do caminho entre a experimentação e modelos teóricos puramente analíticos (PECK, 2004). No estudo do uso de simulações por computador na pesquisa em Física, Winsberg (1999; 2001), entende que o processo de simulação transforma estruturas teóricas em conhecimento específico de sistemas físicos. Portanto, tal processo de transformação também é um processo de conhecimento, o que demandaria sua própria epistemologia. O autor defende essa posição porque

[...] a modelagem da simulação é um conjunto de técnicas científicas que produz resultados. Quando a ciência produz resultados, gostaríamos de ter padrões para decidir se esses resultados têm ou não algum grau de confiabilidade. Embora a simulação seja fundamentalmente a substituição de soluções analíticas por cálculo, que à primeira vista parece ser apenas uma transformação matemática, a questão da confiabilidade dos resultados da modelagem de simulação vai além das simples preocupações sobre a confiabilidade do cálculo e alcança todo o processo de simulação e as conclusões que os cientistas chegam ao usá-lo (WINSBERG, 1999, p. 3).

Dada a complexidade metodológica das simulações, é compreensível que pesquisadores tenham que se preocupar com a confiabilidade e como vão justificar as conclusões de seus estudos. Para Winsberg (2001), a questão dos resultados vai além da confiabilidade, ela se estende para todo o processo de modelização da simulação e como os cientistas alcançam tais resultados.

Por fim, a terceira perspectiva compreende as simulações como tentativas de imitar a realidade, utilizando programas de computador na elaboração de possíveis mundos, baseados em cálculos e extrapolações teóricas, construídos *in silico* (PECK, 2004). Nessa visão, os modelos aparecem como fundamentais, no sentido em que eles possibilitam a *descontextualização* de interações do mundo real, transpostas para uma realidade virtualmente construída a partir de características consideradas relevantes para a análise pretendida (WINSBERG, 2001; PECK, 2004; WALSH, 2017).

Mesmo que estas três perspectivas proporcionem a qualificação do debate em torno das simulações computacionais e como elas vêm se desenvolvendo, ainda parece claro que as discussões em torno de aspectos teóricos não estão perto de uma conclusão. A análise também pode partir de outras dimensões da relação do sujeito com as simulações por computador que não sejam centradas apenas nos aspectos técnicos. Para o contexto de ensino, podemos adicionar que, além da modelização, a interação com uma simulação é caracterizada como o momento em que o indivíduo é colocado para confrontar uma situação problemática, baseada na realidade, que implica a participação ativa do sujeito no desenvolvimento, problematização, tomada de decisão e resolução. Nessa perspectiva, as simulações no Ensino de Ciências são o processo de interação com modelos que representam algum aspecto da realidade (LUNETTA; HOFSTEIN, 1981).

No caso da Física, que é uma ciência experimental, os laboratórios são fundamentais no processo de ensino, e no computador, essa importância é demonstrada nos estudos que buscam refletir aspectos experimentais através das simulações (WIEMAN *et al*, 2008; CARVALHO *et al*, 2019). Há a compreensão que a experimentação no ensino não pode ser substituída pelos simuladores, entretanto é importante destacar que a simulação computacional também tem tido cada vez mais relevância para o desenvolvimento científico e tecnológico, o que contribui para sua difusão em outros espaços relacionados a ciência e tecnologia (BROWN *et al*, 2010). Da perspectiva da Teoria Crítica da Tecnologia, as tecnologias são

construídas na relação técnica-realidade, onde o contexto social tem influência determinante na sua aplicação. Portanto, é importante que seja considerada a aplicação das simulações como reflexos da lógica da produção moderna, obcecada pela eficiência, alcançada por meio da mecanização e gerenciamento, inclusive na educação (FEENBERG, 2010; 2015; PEIXOTO, 2015; 2017).

É nessa expectativa que professores vêm empregando as simulações computacionais, na crença que atividades baseadas no computador podem prover o ambiente ideal para um ensino personalizado adequando-se ao ritmo individual dos alunos (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). A tendência à individualização do ensino e na proliferação de materiais e cursos na internet, é fundamentalmente guiada pela visão de automação da educação, vista como promotora de virtudes pós-industriais, tais como flexibilidade e controle pessoal, mas em última análise, o que se busca é a redução de custos (FEENBERG, 2010).

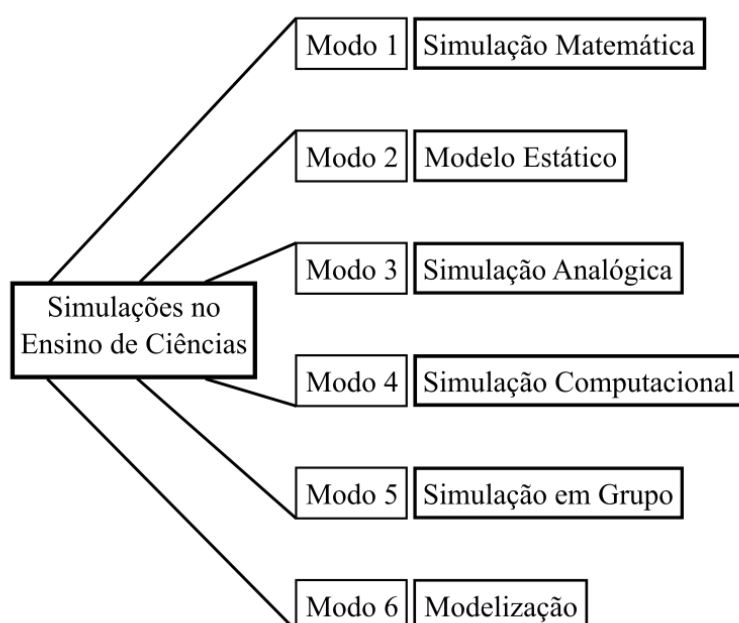
Como já discutido, a partir de meados do século XX, influenciados pelo contexto do pós-guerra e pela crescente influência de aspectos tecnológicos em questões sociais, passaram a ser crescentes os questionamentos sobre o desenvolvimento científico-tecnológico (SHAMOS, 1995; AULER; BAZZO, 2001; AULER; DELIZOICOV, 2001; AULER, 2003). Essa movimentação dá origem a novas discussões que buscam uma reavaliação da influência da tecnologia e da ciência na sociedade, inclusive sobre o papel dos técnicos e cientistas nas tomadas de decisões, reivindicando uma participação mais democrática e menos tecnocrática (AULER; BAZZO, 2001).

Nesse sentido, existe a concepção de que as aulas de ciências, notórias pelas abstrações, podem se beneficiar de diferentes ferramentas tecnológicas, em especial pelas simulações computacionais. Pesquisadores e professores que trabalham com elas, destacam as características ilustrativas e de interatividade, que proporcionam atividades significativas de maneira mais simples do que experimentos reais, onde estudantes têm contato com a teoria através da manipulação de variáveis através do computador (SARAIVA; FIGUEIRA, 2005; FILHO, 2007; BARBOSA *et al*, 2015; HECKLER; WALSH, 2017).

Os estudos que analisam as simulações no ensino de ciências frisam que certos fenômenos, por estarem amplamente baseados na matemática, podem ser muito abstratos, levando à dificuldade dos professores em desenvolver atividades que contribuam para a aprendizagem da Física (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002;

HECKLER; SARAIVA; FILHO, 2007; FIGUEIRA, 2005; DUARTE, 2012; SANTOS; SILVA, 2020). Portanto, a simulação é apresentada como uma alternativa para reduzir esse efeito negativo, muitas vezes sem ser fundamentada teoricamente. Nessa perspectiva, Lunetta e Hofstein (1981), por entenderem que as simulações são uma variedade de experiências e, para elucidar os diferentes usos, destacam seis modos em que a simulação é trabalhada no Ensino de Ciências, sendo estes resumidos na Figura 5. Os modos são classificados de acordo com o nível de dinamismo da simulação, onde o modo 1 é o mais estático, enquanto o modo 6 é o mais dinâmico.

Figura 5 - Modos de simulação no Ensino de Ciências.



Fonte: adaptado de Lunetta; Hofstein, 1981.

No primeiro modo, os estudantes são incentivados a analisar dados experimentais através de mídias como fotos e filmagens. Nesse modo, os alunos simulam uma situação de laboratório por meio dessas mídias, onde o tratamento matemático desempenha papel fundamental na compreensão e aplicação de fórmulas relacionadas com o fenômeno físico estudado a fim de prever resultados e propor soluções. O modo 2, por sua vez, busca suprir uma deficiência nas representações em duas dimensões. Nele, são utilizados modelos em três dimensões que contribuem para o desenvolvimento das atividades em sala de aula através do contato com o conceito estudado, como por exemplo a maquete de uma

molécula ou célula. É importante destacar que nesse modo a simulação não é o objeto em si, mas a interação com o modelo. Esse modo compreende o potencial educacional de uma nova tecnologia, a holografia (LUNETTA; HOFSTEIN, 1981).

As simulações do modo 3 são desenvolvidas utilizando máquinas e outros instrumentos que simulam determinados fenômenos físicos, químicos ou biológicos. Um exemplo de simulação analógica são os tanques de ondulação que, utilizando a água, constitui-se em um instrumento para estudar aspectos da ondulatória. Com os recentes avanços tecnológicos, principalmente na área da informática como jogos de simulação e computadores mais acessíveis, a perspectiva de interação ganha uma nova dimensão.

No modo 4, as simulações são aquelas em que a interação e respostas são controladas por mídias, como computadores. Apesar de alternativas interessantes, como os planetários, o principal meio de empregar uma simulação inscrita nesse modo é através do computador. As simulações computacionais são modeladas matematicamente por meio de diferentes linguagens de programação, possibilitando uma resposta mais rápida para o usuário que a manipula. No estudo, Lunetta e Hofstein (1981), identificaram que os alunos que demonstram um conhecimento prévio mais aprofundado de Física, se envolviam mais com a simulação, conseqüentemente obtendo mais sucesso que os alunos com menos domínio.

O modo 5 mostra um alto nível de interatividade, pois supõe-se que nesse modo as atividades buscam envolver os estudantes em situações simuladas que, de uma forma ou de outra, incorporam regras e uma conclusão. Essas características são compartilhadas com jogos de interpretação, entretanto o *jogo* é uma situação-problema em que os alunos assumem papéis e atitudes buscando uma solução através da comunicação e interação com as regras.

Por fim, o modo 6 interpreta as simulações na sua completude. Os estudantes devem ser envolvidos em um processo de modelização, que se inicia com a análise de fenômeno ou sistema real, de modo que seja elaborado um modelo simplificado que pode ser programado em computador para simular os processos do sistema estudado e suas conseqüências. De fato, os modelos são fundamentais na construção de uma simulação, frequentemente descritos como mediador entre teoria e mundo real (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003; GRÜNE-YANOFF; WEIRICH, 2010; WALSH, 2017).

Peck (2004), ao analisar as simulações aplicadas na pesquisa de Biologia, indica duas diferentes abordagens para a simulação. Na primeira, os modelos são estatísticos e objetivam prever relações causais de sistemas ecológicos. Os modelos na segunda abordagem são utilizados para explicar fenômenos biológicos. De qualquer maneira, os modelos são apreendidos como ferramentas para aprofundar a compreensão da teoria explorada. Na Física, essa posição é exemplificada em variados estudos, como astrofísica, física quântica e física de partículas, em que as simulações são empregadas para estudar fenômenos específicos e isolados, visando um aprofundamento teórico em um campo específico (BROWN *et al*, 2010; GRÜNE-YANOFF; WEIRICH, 2010).

Na análise de Winsberg (2001), as simulações computacionais têm sua própria epistemologia, e ele aponta três características incomuns dela: é *descendente*, ou seja, a simulação se preocupa em justificar deduções de uma teoria para a sua aplicação. Ela se inicia com inferências superiores e trabalha caminhando para as inferiores. A segunda característica é a sua *autonomia* frente à escassez de dados. A epistemologia tradicional da filosofia da ciência é baseada na comparação de uma estrutura representacional com a realidade que busca representar. Entretanto, muitas vezes as técnicas de simulação são utilizadas quando os dados do fenômeno a ser representado são escassos, e as inferências feitas são justificadas baseadas em considerações vindas da teoria, de generalizações empíricas, dados, ou da experiência na modelização de fenômenos similares em outros contextos (WINSBERG, 2001).

A terceira característica assinalada pelo autor é que a epistemologia das simulações deve ser heterogênea. Mesmo que parta da teoria e que sejam usadas na solução analítica de equações matemáticas, estes são apenas alguns componentes que pesquisadores usam para simular fenômenos reais. Esses itens e suas influências devem ser analisadas na justificação dos resultados, se desconsideradas pode-se prejudicar a confiabilidade das conclusões proveniente das simulações. Winsberg (2001), acrescenta que fazer isso requer confiança em um conjunto igualmente diverso de fontes de conhecimento e habilidades. “Grande parte desse conhecimento não está contido no conhecimento teórico que formou a base original da simulação” (WINSBERG, 2001, p. 7).

Para Peck (2004), as simulações computacionais estão sendo exploradas utilizando experiências e análises estatísticas da mesma forma que são usadas para

estudar sistemas do mundo real. O autor conclui que as simulações são sistemas experimentais, em que sua complexidade pode alcançar níveis similares de situações reais. Para ele, isso representa uma vantagem, visto que o pesquisador tem total controle sobre o sistema e o fenômeno simulado permite explorar aspectos que não poderiam ser estudados no mundo real.

As discussões sobre as simulações computacionais e seus usos, apresentadas por diversos autores (WINSBERG, 1999; 2001; PECK, 2004; GRÜNE-YANOFF; WEIRICH, 2010; WALSH, 2017), ilustram o debate ainda aberto sobre a definição de simulação computacional e as controvérsias em torno do seu uso e aplicação em pesquisas científicas. Da perspectiva da Teoria Crítica da Tecnologia, ainda é visível que nessa discussão os sujeitos e a sociedade ocupam uma posição marginalizada, sendo que os autores enfatizam características técnicas e o uso instrumental, deixando para segundo plano o envolvimento do contexto e valores da comunidade científica na determinação da validade dos resultados obtidos através de simuladores.

Quando aplicadas no Ensino, no geral, vemos que as perspectivas tendem a visão instrumental da tecnologia. Influenciadas pelo positivismo com que são aplicadas em pesquisas na área de Física, Química e Biologia, as simulações são compreendidas como representações figurativas do mundo real que, através da manipulação, possibilitam interpretar e analisar fenômenos da natureza. Portanto, a interatividade e capacidade ilustrativa são as principais qualidades destacadas por pesquisadores que usam simulações computacionais na educação (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002; HECKLER; SARAIVA; FILHO, 2007; FIGUEIRA, 2005; CARDOSO; TAKAHASHI, 2011; CARDOSO; DICKMAN, 2012; DUARTE, 2012; SANTOS; SILVA, 2020).

Desta maneira, a pesquisa aqui apresentada busca construir uma visão das simulações computacionais utilizadas no Ensino de Física a partir de trabalhos encontrados em periódicos nacionais. Esse levantamento tem como objetivo destacar as concepções instrumentais que guiam esses estudos e discute maneiras de superá-las através de uma aproximação da Teoria Crítica da Tecnologia, que une aspectos técnicos e sociais, definida por Feenberg (2010; 2015; 2017). Para isso, compreende-se que as produções científicas são guiadas por uma determinada técnica, que basicamente consiste em: fundamentação teórica, coleta de dados e análise de resultados, discussão e considerações finais. Com isso em mente, a

análise da revisão de literatura interpreta a estrutura dos trabalhos na sua relação com a produção do conhecimento e na relação entre as seções na própria construção da argumentação dos textos.

2. Simulações computacionais no Ensino de Física: revisão sistemática

A metodologia deste levantamento partiu da Revisão Sistemática de Literatura apresentada por Okoli (2015), onde os critérios estabelecidos para a seleção dos periódicos e dos artigos foram determinados objetivando uma análise simples e concisa. A busca pelos periódicos foi realizada na plataforma Sucupira⁶ da Capes, onde o parâmetro utilizado foi o evento de qualificação Qualis Periódicos do quadriênio 2013-2016, tendo como área de avaliação o Ensino. Entendendo a produção científica como reflexo de um conjunto de atitudes de determinado grupo, e que a qualificação dos periódicos contribui para especificar tais atitudes frente ao conhecimento, buscou-se revistas que apresentavam avaliação Qualis A1, A2 e B1, proporcionando uma possibilidade de relacionar os artigos com seus respectivos contextos de produção.

Dessa busca, foram encontrados 710 periódicos no total, sendo que destes foram selecionados os que tinham como foco o Ensino de Ciências e Tecnologia. A seleção se baseou em dois critérios: *i*) periódicos nacionais; *ii*) revistas com foco na divulgação de trabalhos nas áreas de Ensino de Ciências, Ensino de Física e também as que atuam na interface tecnologia-educação. Desta maneira, foram encontrados 25 periódicos: 3 avaliados com Qualis A1, 10 avaliados A2 e 12 como B1. Tendo em vista a disseminação da internet no início deste século e as políticas públicas voltadas à aquisição de computadores para serem usados nas escolas, é lançado no início dos anos 2000 o Livro Verde do Programa Sociedade da Informação no Brasil. A partir dele, o país inclui na sua agenda política a universalização das TIC e a promoção da *alfabetização digital* (BANILLA, 2010; BRASIL, 2000), a composição dos dados foi estabelecida tendo em vista um corte transversal, que limita as buscas no período compreendido entre 2000 e 2020, objetivando estabelecer um parâmetro de comparação sobre a evolução dos usos de simulações computacionais no Ensino de Física.

⁶<<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>>

Foram utilizados os buscadores dos periódicos, através dos termos em português: simulação e simulações, em conjunto com os termos computacional e computacionais, com o propósito de restringir os resultados para trabalhos que veiculavam simulações computacionais em um contexto de Ensino de Ciências e Tecnologia. Foram encontrados 150 trabalhos que apresentavam as palavras-chave em qualquer parte do texto. Foram analisados títulos, resumos e, quando necessário, o corpo do texto. Com o objetivo de refinar os dados, os parâmetros estabelecidos para a seleção dos trabalhos foram: *i*) trabalhos na área de Ensino de Física; *ii*) simulações computacionais como foco do estudo; e *iii*) atividades práticas onde as simulações foram escolhidas, aplicadas e avaliadas em um contexto educacional. Tendo estes critérios no horizonte, foram selecionados 42 artigos⁷. A relação da distribuição entre periódicos, artigos encontrados e selecionados é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Periódicos e Artigos levantados (período 2000-2020).

Periódicos	ISSN	Qualis	Artigos encontrados	Artigos selecionados
Ciência & Educação	1980-850X	A1	0	0
Ensaio: pesquisa em educação em ciências	1983-2117	A1	0	0
Revista Brasileira de Ensino de Física	1806-1117	A1	42	4
Acta Scientiae	2178-7727	A2	5	3
Alexandria	1982-5153	A2	0	0
Amazônia: revista de educação em ciências e matemáticas	2317-5125	A2	0	0
Caderno brasileiro de Ensino de Física	2175-7941	A2	22	8
Investigações em Ensino de Ciências	1518-8795	A2	4	3
Areté Revista Amazônica de Ensino de Ciências	1984-7505	A2	0	0
Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	1982-873X	A2	12	3
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	1984-2686	A2	7	4
Revista de Educação, Ciências e Matemática	2238-2380	A2	3	0
Revista de Ensino de Ciências e Matemática	2179-426X	A2	6	1
Abakós	2316-9451	B1	0	0
Ciência & Ensino	1980-8631	B1	0	0
Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista	2237-4450	B1	0	0
Experiências em Ensino de Ciências	1982-2413	B1	16	7
Revista Educação & Tecnologia	2317-7756	B1	0	0

⁷ A relação dos artigos selecionados para análise é apresentada no Apêndice I

Periódicos	ISSN	Qualis	Artigos encontrados	Artigos selecionados
Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica	2236-2150	B1	1	0
Revista Tecnologias na Educação	1984-4751	B1	6	2
Revista Brasileira de História da Ciência	2176-3275	B1	-	-
Revista Ciência & Ideias	2176-1477	B1	2	1
Revista Ciência em Tela	1984-154X	B1	-	-
Revista Renote	1679-1916	B1	23	6
Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia	2238-8079	B1	1	0
Total			150	42

Fonte: o autor (2022).

Inicialmente, a análise desta revisão buscou descrever os trabalhos quanto a categorias objetivas, através de inferências baseadas em estatística de frequência simples. Objetivamente, este tratamento permite caracterizar as simulações computacionais quanto a variáveis que podem ser utilizadas para a descrição do seu contexto, conforme a *classificação das publicações*, a *distribuição temporal* e o *nível de ensino*, e para explorar características das tecnologias no ensino, por meio dos *simuladores utilizados* e dos *conceitos* de Física abordados nas pesquisas.

Como forma de aprofundar o estudo, na segunda parte foi adotada a análise textual com o auxílio do software *Iramuteq*. Como a comunicação é parte fundamental da cultura científica, os artigos selecionados representam, através dos textos, os debates, controvérsias, disputas e interesses dos diversos agentes que compõem o campo da pesquisa no Ensino de Física. Na abordagem textual, a consciência é constituída na linguagem, de modo que se pode estabelecer relações entre o que é expresso na forma de palavras com o contexto em que são manifestas. Para além de métodos e procedimentos, a análise textual se constitui de uma metodologia aberta, caracterizando um raciocínio investigativo que supõe uma imersão do investigador nos textos analisados, formando um processo constante de construção e reconstrução (MORAES; GALIAZZI, 2006).

Desta maneira, o processo de unitarização foi realizado a partir de seções específicas dos trabalhos e com o auxílio do software de análise textual. Em busca de relacionar aspectos teóricos e pedagógicos com a Teoria Crítica da Tecnologia, foram selecionados trechos dos trabalhos referentes às *concepções teóricas* e aos *resultados obtidos* pelos pesquisadores. Para isso, foi realizada uma leitura

sistemática e fichamento dos trabalhos, objetivando determinar as seções para a construção dos dois *corpus*.

O Iramuteq - *Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires* - foi desenvolvido no idioma francês por Pierre Ratinaud em 2009, e é vinculado ao software *R*⁸, baseado na linguagem de programação *Python* que permite fazer análises estatísticas sobre corpus textuais e sobre tabelas de indivíduos/palavras (CAMARGO; JUSTO, 2013). Com crescentes aplicações no campo da linguística, ciências humanas e da saúde, o Iramuteq também conta com análise textual em português com dicionário específico. Para realizar a análise, o programa é alimentado com um *corpus*, formado a partir dos textos inseridos pelo pesquisador, podendo ser documentos, questionários, transcrições de entrevistas etc. Como forma de focar em determinadas estruturas textuais, o programa permite priorizar formas gramaticais em dois níveis: formas *ativas* e *suplementares*.

Cada *corpus* foi construído utilizando 38 unidades de texto (UT), retiradas dos trabalhos. Quatro artigos foram retirados da análise textual, pois estão em inglês ou espanhol (FERREIRA; TAROUÇO; BECKER, 2019; FERREIRA; ANDRÉS, 2018; FANARO; OTERO; MOREIRA, 2009; FANARO; OTERO; ARLEGO, 2009). Cada unidade foi separada através da linha de comando `****`, seguida pelas variáveis correspondentes, separadas por `*`. (Por exemplo: `**** *artigo_1 *ano_2020`). Em seguida foi realizada a correção de erros de digitação, pontuações e a uniformização de siglas e palavras compostas. Utilizando o *LibreOffice*, pacote de código aberto⁹ que conta com editor de textos, tudo foi transcrito e salvo no formato UTF-8, padrão de unificação de caracteres adequado ao português brasileiro.

Partindo da leitura sistemática dos trabalhos, os textos foram selecionados de modo que fossem categorizados em dois *corpus* de análise. O primeiro documento foi construído a partir dos trechos relativos às referências teóricas que embasam os estudos. Esta identificação foi facilitada nos trabalhos que apresentaram seções específicas para discutir esses tópicos. Nos trabalhos que não tinham essa especificação, foram utilizados trechos do texto em que, de uma maneira ou de outra, eram manifestados argumentos que abordavam questões teóricas que

⁸ R é um ambiente de software livre para computação estatística, voltada a manipulação, análise e visualização de dados. <<https://www.r-project.org/>>.

⁹ classe de softwares de computador com o seu código fonte disponibilizado e licenciado com uma licença de código aberto, o qual fornece o direito de estudar, modificar e distribuir o software de graça para qualquer um e para qualquer finalidade.

guiaram a pesquisa. O tratamento dado para a construção do segundo *corpus* foi semelhante, objetivando extrair informações dos autores dos estudos sobre seus resultados.

O software oferece cinco tipos de tratamento para a análise textual: 1) estatísticas textuais clássicas; 2) Classificação Hierárquica Descendente (CHD); 3) Análise Fatorial de Correspondência (AFC); 4) Análises de Similitude e; 5) Nuvem de palavras (RAMOS *et al*, .2018). Aqui foram utilizadas as três primeiras formas de análise:

- 1) Estatística Textual: identificação e reformatação das unidades de texto; identifica a quantidade de palavras, frequência média e *hapax*; pesquisa no vocabulário e redução das palavras conforme suas raízes.
- 2) Classificação Hierárquica Descendente: os segmentos de texto são classificados de acordo com seus vocabulários, e o conjunto destas classificações é repartido conforme as formas reduzidas das palavras. Nesta análise, é possível destacar palavras que apresentam vocabulário semelhante entre si e diferente das outras classes.
- 3) Análise Fatorial de Correspondência: construída a partir da Classificação Hierárquica Descendente, as classes são apresentadas em um plano cartesiano, relacionando as palavras de cada agrupamento. Nela é possível saber a intensidade de cada palavra junto ao conjunto de classes e acessar o segmento de texto em que cada uma aparece para uma interpretação qualitativa dos dados (Adaptado de CAMARGO, JUSTO, 2013; SALVIATI, 2017; RAMOS *et al*, 2018).

O Iramuteq realiza um fracionamento do *corpus* através de um tratamento estatístico: as *unidades de texto* (UT), são interpretadas em termos de fragmentos chamados de *segmentos de texto* (ST). Estes últimos são utilizados para classificar as palavras quanto aos seus contextos, de acordo com a proximidade, similaridade de vocabulário e frequência. Através do programa, também é possível destacar palavras, bem como os ST em que elas aparecem. Tendo em vistas esses parâmetros, considera-se robusta a análise do Iramuteq quando: são usados, no mínimo, 70% dos ST na Estatística Textual, se o valor do teste qui-quadrado de Pearson for maior que 3,85 na CHD, indicando uma boa separação entre as classes, e quando a soma dos fatores dos eixos da AFC é próxima de 100% (CARVALHO; MOTA; SAAB, 2020).

Para criar um dicionário, o programa usa o teste do qui-quadrado. Esse teste é um teste de hipóteses que compara a distribuição observada com a distribuição esperada dos dados, aplicado para estudar a dependência entre duas amostras e avaliar a associação entre variáveis qualitativas (PLACKETT, 1983). No caso do Iramuteq, baseado na forma reduzida das palavras, o teste revela a força associativa

de cada palavra e sua respectiva classe e a separação entre palavras de classes diferentes (CARVALHO; MOTA; SAAB, 2020).

Os parâmetros para análise podem ser ajustados para permitir diferentes enfoques classificando as palavras em *formas ativas* e *formas suplementares*. As formas gramaticais podem ser submetidas a esta classificação a fim de realçar aspectos específicos dos textos, como ações e estados ao configurar os verbos como formas ativas. Nesta pesquisa, resultados apresentados pelo Iramuteq foram interpretados em termos da Teoria Crítica da Tecnologia, portanto, as classes gramaticais enfatizadas foram os *substantivos* e *verbos*, buscando estabelecer relações entre os diversos sujeitos e suas ações presentes nos discursos dos autores dos trabalhos.

3. Caracterização das simulações computacionais

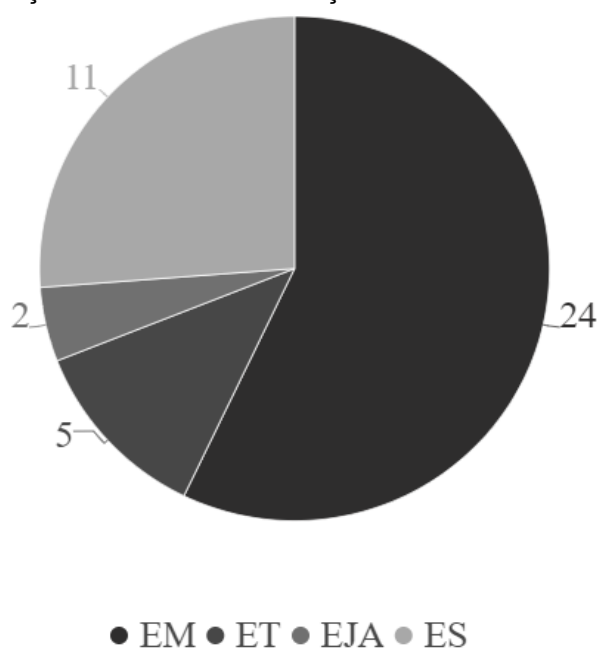
É interessante destacar que, de forma geral, os dois periódicos com mais publicações sobre simulações computacionais são a *Revista Brasileira de Ensino de Física*, com 42 publicações, e a *Revista Renote*, com 23 trabalhos. A primeira trata de um ramo da ciência com estreita relação com o uso de simuladores, já a segunda lida com estudos na interface informática e educação. Na terceira posição, temos o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, com 22 artigos. Juntas, as duas revistas que trabalham com publicações de estudos na área de Ensino de Física, representam aproximadamente 42,7% de todos os trabalhos encontrados.

Os estudos selecionados para análise, com base nos critérios estabelecidos, representam 42 de 150 artigos, ou 28% do total de trabalhos encontrados na pesquisa. O periódico com mais publicações selecionadas é o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, com 8 artigos. Tanto na *Revista Ciência em Tela*, quanto na *Revista Brasileira de História da Ciência* não foram encontrados mecanismos de busca confiáveis, tendo sua pesquisa limitada à seleção manual, *navegando* pela página do periódico, o que impossibilitou a pesquisa dentro do prazo estabelecido. Atualmente, é comum pesquisas que analisam sistemas físicos utilizando simuladores no computador (WINSBERG, 1999; 2001; FIOLEAIS; TRINDADE, 2003), conseqüentemente influenciando o contexto educacional, que segue a lógica da descontextualização do fenômeno físico estudado, reduzindo-o a lógica das equações matemáticas incluídas na programação. Entretanto, na maioria das vezes, as informações extraídas das simulações na pesquisa em Física são apresentadas

na forma de dados, números etc. Enquanto que as que são aplicadas no Ensino de Física, priorizam aspectos visuais e ilustrativos (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002; HECKLER; FILHO, 2007; GRÜNE-YANOFF; WEIRICH, 2010; DUARTE, 2012; SANTOS; SILVA, 2020).

O *Nível de Ensino* dos artigos analisados é predominantemente relativo ao Ensino Médio, com 31 (73,8%) estudos distribuídos entre turmas do Ensino Médio regular (EM), EJA e Ensino Técnico (ET). A distribuição dos níveis é apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Distribuição dos trabalhos em função do nível de ensino das atividades.



Fonte: o autor (2022).

Enquanto as atividades aplicadas no Ensino Médio regular correspondem a 57% do total de trabalhos, o Ensino Superior representa 22% dos artigos analisados. Nenhum trabalho aborda o uso das simulações no Ensino Fundamental. Dentre as sequências didáticas aplicadas ao Ensino Médio, apenas uma investigou o Ensino Inclusivo utilizando as simulações computacionais como meio para apresentar e discutir conceitos:

Com essas simulações conseguimos sistematizar os conceitos de causa do movimento, força resultante, aceleração e massa, nessa mesma sequência de conceitos, e finalizamos com a discussão sobre força peso, para diferenciar do conceito de massa (VARGAS; GOBARA, 2015, p. 134).

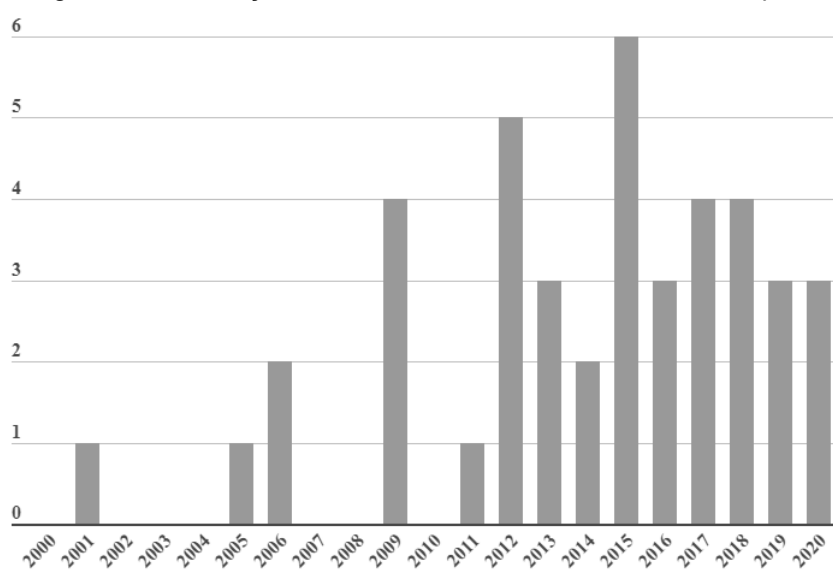
Também cabe destacar que um dos estudos do Ensino Superior relaciona as atividades utilizando o simulador à formação de professores, com o objetivo do aprimoramento docente através da aquisição de novas habilidades. No trabalho de

Verbena *et al* (2016), os professores em formação eram submetidos ao uso do ambiente de experimentação virtual baseado em simulações, o SQRLab. As atividades se deram em torno da avaliação de um módulo de aprendizagem em dois momentos: no primeiro, os futuros docentes eram treinados para usar o ambiente virtual e depois executavam uma atividade de Física, sobre o Movimento Harmônico Simples, para posteriormente examinar aspectos sobre o conteúdo, didática e aprendizagem. Para o desenvolvimento desse trabalho, houve a preparação dos sujeitos para a utilização do software, ou seja, a visão determinista e instrumental da tecnologia se evidencia quando a capacitação é um imperativo para o uso pedagógico da simulação (PEIXOTO, 2015).

A justificativa geral dos demais trabalhos é centrada nas dificuldades conhecidas do Ensino de Física e no potencial de visualização e interação das simulações (ANDRADE NETO, 2006; WEISS; REBELLO; RAMOS, 2009; MACÊDO; DICKMAN; ANDRADE, 2012; MENDES; COSTA; SOUSA, 2012; PAULA; TALIM, 2012; SCHIMIGUEL *et al*, 2013; SERRANO; WOLFF, 2014; SILVA, 2015; PIEPER; ANDRADE NETO, 2015).

Como os artefatos tecnológicos vêm ocupando cada vez mais espaço no contexto dos cidadãos, conseqüentemente influenciando relações sociais, como as práticas pedagógicas (SOARES-LEITE; NASCIMENTO-RIBEIRO, 2012), a distribuição temporal dos artigos levantados é importante para determinar tendências de pesquisas educativas que utilizam diferentes ferramentas baseadas na tecnologia.

Figura 7 - Distribuição dos trabalhos de acordo com o ano de publicação.



Fonte: o autor (2022).

A Figura 7 apresenta o *Número de Trabalhos por Ano*. É possível perceber uma tendência de alta até meados da segunda década de 2000, totalizando 25 trabalhos até 2015, a partir disso, houve uma queda e estabilização. Cabe destacar que nos últimos cinco anos foram publicados 17 trabalhos, o que representa 40% dos trabalhos selecionados.

Outro aspecto importante na estruturação didática do uso de tecnologias em sala de aula diz respeito à ferramenta usada durante a prática educativa, o envolvimento do professor é fundamental nesta escolha (PIETROCOLA; BROCKINGTON, 2003). As simulações computacionais são apresentadas através de softwares, portanto, foi realizado o levantamento dos *Simuladores Utilizados* nas atividades, sendo estes apresentados no Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Simuladores

Simuladores utilizados	Número de trabalhos
PhET(Colorado)	12
Modellus	8
Mach-Zehnder(IMZ)	3
Interactive Physics	2
Energy 2D	2
Doppel Spalt	2
Crocodile Physics	1
3D OpenSim	1
SQRLab	1
SOLARGIS/COPERNICUS	1
WLinkIt	1

Fonte: o autor (2022).

É importante destacar que a tabela acima identifica a quantidade de trabalhos em que determinado simulador foi utilizado, inclusive nos estudos que fizeram a combinação de duas ou mais simulações. Foi possível distinguir os simuladores de 33 trabalhos, os demais podem ser agrupados seguindo o critério de origem do software. Desta maneira, temos 6 estudos em que o simulador foi desenvolvido pelo pesquisador através de diferentes linguagens de programação (ANDRADE; COSTA, 2006; SCHIMIGUEL *et al*, 2013; ROCHA; ANDRADE NETO, 2013; SILVA, 2015; NASCIMENTO; GOMES, 2018; FERREIRA; ANDRÉS, 2018), dois desenvolvidos por universidades (SOUSA *et al*, 2015; PIEPER; NETO, 2015) e um em que não existe identificação nem origem do software (RODRIGUES; NEIDE, 2018).

Como apresentado na Tabela 2, o simulador mais utilizado é o Physics Education Technology¹⁰ (PhET), aparecendo em 12 trabalhos diferentes. Esta ferramenta oferece simulações interativas nas áreas de Ciências (Biologia, Física e Química) e Matemática que podem ser acessadas por qualquer navegador de internet, sendo escritas nas linguagens JAVA, Flash ou HTML5.

A característica fundamental e valiosa que todas essas animações e simulações compartilham é que, se escritas em uma linguagem como Flash ou Java, elas podem ser executadas por um navegador de internet padrão em qualquer lugar do mundo. Essa capacidade proporciona flexibilidade excepcional em seu uso educacional. Eles podem ser integrados em uma aula ou laboratório, usados pelos alunos para fazer as tarefas de casa ou como um recurso informal (WIEMAN *et al*, 2008. p. 393. Tradução livre).

A iniciativa, sem fins lucrativos, foi idealizada pelo Professor Carl Wieman, ganhador do prêmio Nobel de Física em 2001, quando atuava na Universidade do Colorado em Boulder, com o objetivo de aprimorar a alfabetização científica e matemática através de simulações acessíveis e gratuitas (WIEMAN *et al*, 2008).

Os autores, quando justificam a utilização desse software, apontam como qualidades: a gratuidade, garantindo acesso facilitado pelos estudantes de escolas públicas; o aspecto lúdico incorporado nas simulações, possibilitando a visualização de fenômenos invisíveis a olho nu; e o alto grau de interação que os alunos têm com o fenômeno reproduzido na simulação, proporcionando maior engajamento nas atividades (RODRIGUES, 2017; VARGAS; GOBARA, 2015; MOREIRA; SERRANO, 2013).

Contudo, no geral, não são apresentados argumentos teóricos que guiam as práticas com o uso das simulações da plataforma PhET, e existe a compreensão que o simples manuseio nas aulas de Física já seriam o suficiente para garantir a melhoria das atividades. Essa perspectiva instrumentalizada e tecnocentrada das simulações reforçam a percepção de que o que falta para a melhoria do ensino são técnicas e ferramentas que auxiliem a prática do professor. Essa posição é exemplificada na fala dos autores de um dos trabalhos:

As simulações contribuem de diversas formas dependendo do grau de interação entre o estudante e o software, dentre elas podemos citar: aumento da concentração dos estudantes nos experimentos, feedback para aperfeiçoamento do professor, geração e testes de hipóteses por parte dos estudantes, apresentação de uma versão simplificada da realidade proporcionando melhor compreensão de conceitos abstratos etc. (SOARES; MORAES; OLIVEIRA, 2015, p. 917).

¹⁰ <<https://phet.colorado.edu/>>

Já o Modellus, que figura como a segunda ferramenta mais usada nos trabalhos analisados, é um programa de computador que possibilita a construção e simulação de modelos matemáticos por alunos e professores. Foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa liderado pelo Professor Vítor Teodoro, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Portugal. A elaboração dos modelos é feita de forma direta, sem necessidade de um conhecimento avançado de linguagem de programação:

Uma característica importante do Modellus é a possibilidade de funcionar como 'sistema de autor', isto é, permitir ao professor preparar a representação de um 'modelo' complexo que pode ser utilizado por alunos que ainda não disponham dos conhecimentos necessários para compreender a natureza matemática do modelo. Por exemplo, um professor de Física pode preparar um modelo sobre o movimento da Lua em torno da Terra, utilizando equações diferenciais, e utilizá-lo com alunos do 8º ano de escolaridade, que apenas têm acesso às animações, estando o modelo inacessível aos alunos (TEODORO *et al*, 1996. p. 6).

No geral, a principal qualidade destacada pelos autores que usaram o Modellus é a facilidade em criar simulações em tempo real, proporcionando múltiplas representações do mesmo modelo (MENDES; REHFELDT; NEIDE, 2017). Também é enfatizado o papel que o software possui como plataforma de criação de modelos, associando-o a experimentos reais. Nesse sentido, a modelização e simulação são compreendidas como um passo anterior à experimentação (MENDES; COSTA; SOUSA, 2012).

Todos os trabalhos que fizeram uso da plataforma Modellus, de uma maneira ou de outra, associam as atividades à mudança conceitual (BALEN; NETZ, 2005; WEISS; ANDRADE NETO, 2006; SERRANO; ENGEL, 2012), e às concepções teóricas da Aprendizagem Significativa (MENDES; COSTA; SOUSA, 2012; GONZALES; ROSA, 2014; SERRANO; WOLFF, 2014; MENDES; REHFELDT; NEIDE, 2017; SOUZA; MELLO, 2017). Desta forma, nota-se que estes dois simuladores enfatizam as principais características apontadas como qualidades das simulações computacionais aplicadas no Ensino de Física: modelagem e interatividade.

Atentando para o aspecto prático dos estudos destacados, tendo em vista a pluralidade de conteúdos apresentados nas aulas de Física, buscou-se o levantamento dos *Conceitos Físicos* abordados nas sequências didáticas dos trabalhos. Considerando a heterogeneidade tanto da distribuição temporal como do nível de ensino, este agrupamento é fundamentado na categorização do

HyperPhysics©2016¹¹, um ambiente virtual do tipo rede-neural, baseado na relação entre as diferentes áreas da Física com a pesquisa científica. Em uma rede, interrelacionada através de uma série de links, possibilita a categorização dos estudos quanto a aproximação entre os conceitos e os termos usados na definição dos conteúdos abordados com as simulações. Enquanto nenhum trabalho utiliza simulações dos fenômenos relacionados com *Astrofísica*, *Física do Estado Sólido*, *Relatividade*, *Som e Audição*, existe uma predileção por tópicos dos conceitos de *Eletricidade e Magnetismo* e os de *Mecânica*, sendo o primeiro abordado em 16 artigos e o segundo em 11. Juntos, estes conceitos compreendem 64% das sequências didáticas aplicadas. A distribuição dos conceitos em relação aos trabalhos é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Conceitos Físicos

Conceitos Físicos	Número de trabalhos
Astrofísica	0
Calor e Termodinâmica	4
Eletricidade e Magnetismo	16
Física do Estado Sólido	0
Física Nuclear	3
Física Quântica	6
Luz e Visão	1
Mecânica	11
Relatividade	0
Som e Audição	0
Total	41

Fonte: o autor (2022).

Via de regra, os trabalhos não apresentam justificativa para escolher o conceito, muito menos os relacionam com a escolha do simulador. Entretanto, ao olharmos para os dois principais softwares utilizados nas atividades, vemos que a escolha do tema pode ser subdeterminada à escolha da simulação. No PhET, existem 18 simulações que tratam sobre *Mecânica*, e 12 sobre *Eletricidade e Magnetismo*. Enquanto que todos os outros temas somados formam 19 simulações, sendo que, dentre os conceitos que não aparecem em nenhum trabalho, somente *Som e Audição* tem alguma simulação relacionada.

No caso do Modellus, a construção da simulação ocorre através da entrada no programa das equações que irão guiar o modelo. Portanto, a complexidade dos modelos a serem simulados, depende parcialmente da capacidade técnica do

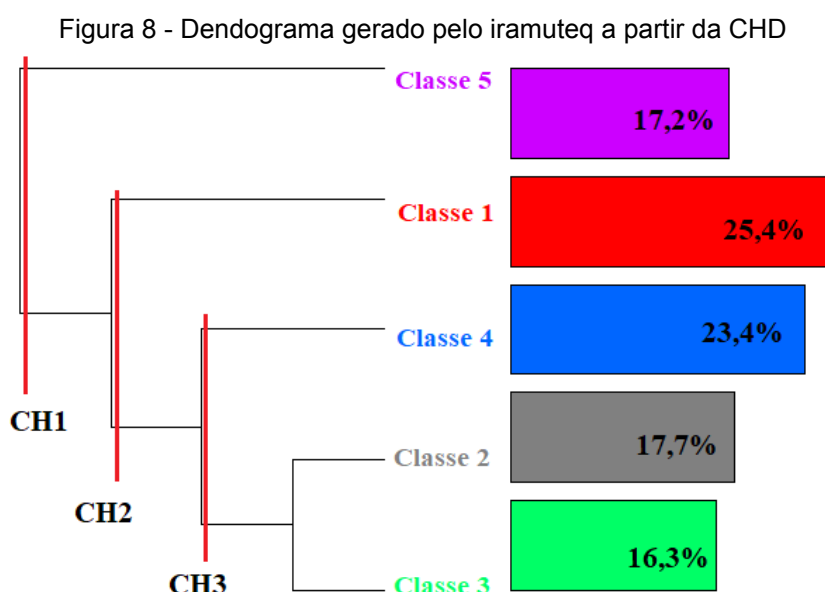
¹¹ Georgia State University <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/index.html>>

usuário, pois além do conhecimento de cálculo avançado, é necessário construir a interface da simulação, exigindo dos professores habilidades de desenho gráfico e programação. Também existem limitações no próprio programa, as representações são feitas em duas dimensões e/ou somente abordadas por aspectos analíticos, como cálculos, gráficos e tabelas. Os fenômenos descontextualizados reforçam a percepção racionalizada da natureza, na medida que as equações matemáticas se tornam o fenômeno estudado.

Por fim, um dos trabalhos não especificou quais conceitos seriam abordados na atividade em sala de aula, mas propôs uma interpretação diferente para o uso das simulações. Ferreira; Dias e Ferreira (2015), apresentam um tema interdisciplinar, o Efeito Estufa. Neste estudo a preocupação central não ocorre em torno da compreensão de determinado conceito da Física, mas na modelagem matemática através do programa SOLARGIS/COPERNICUS, utilizado na análise da irradiação solar nos países. O contexto possibilita o uso da tecnologia informática para introduzir uma forma de estudo de sistemas físicos utilizando soluções computacionais, onde as animações das variáveis podem auxiliar na compreensão de sistemas mais complexos (FERREIRA; DIAS; FERREIRA, 2015).

4. Análise Textual *corpus* 1: Concepções Teóricas

Na abordagem textual, o *corpus* 1, construído com as *concepções teóricas*, foi o primeiro documento analisado a partir das contribuições do Iramuteq. A Figura 8 mostra o dendrograma construído pelo software.



Fonte: Autor (2022), com auxílio do iramuteq.

Como dito, o programa permite selecionar a classe gramatical foco da análise. Aqui, buscando enfatizar os sujeitos representados no texto, como autores, teorias, professores e alunos, os substantivos foram designados como *forma ativa*, enquanto as demais classes gramaticais foram configuradas como *formas suplementares*. Desta maneira, o *corpus* foi dividido em 1209 segmentos de texto (ST), sendo que 85,28% foram aproveitados na classificação.

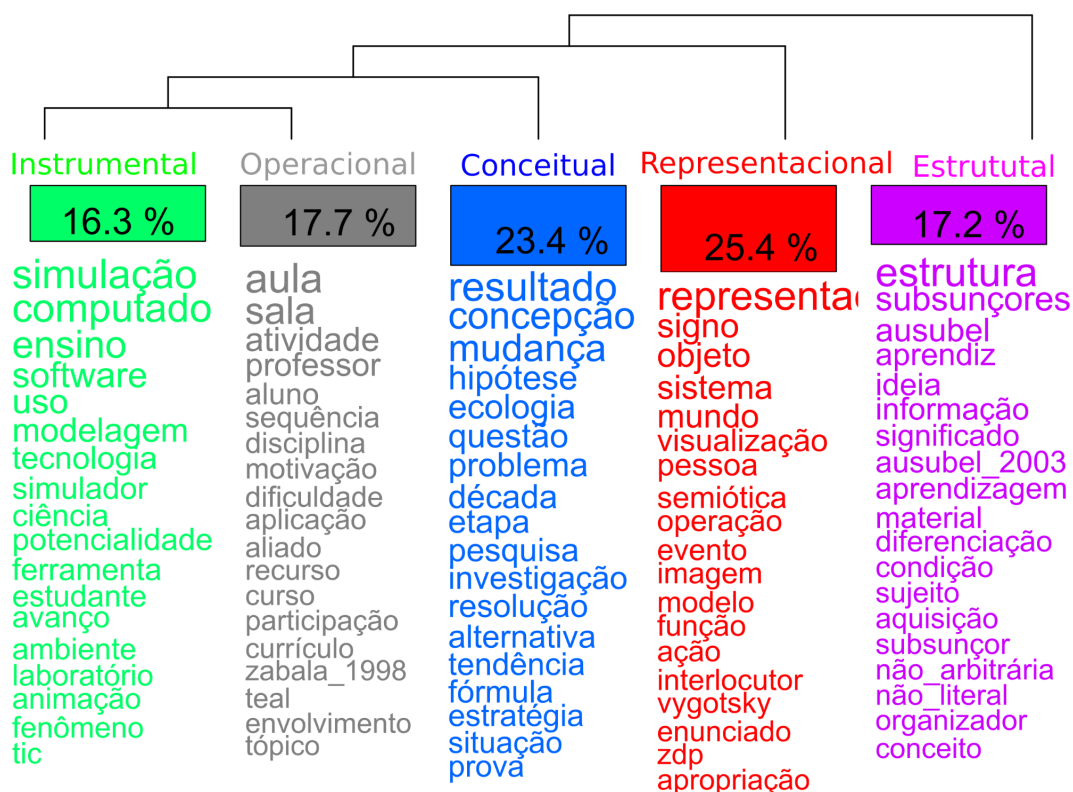
Para interpretar o dendrograma, é importante ter em mente que as classes se formaram segundo a relação das várias unidades de texto (UT) processadas que apresentaram palavras homogêneas. Para caracterizar a classificação, são utilizados os segmentos de texto que possuem vocabulário semelhante entre si e diferente de outros ST. As linhas pretas apresentam as classificações a partir de ramificações. As linhas vermelhas indicam as hierarquias, feitas pelo autor: *Classificação Hierárquica 1 (CH1)*; *Classificação Hierárquica 2 (CH2)* e *Classificação Hierárquica 3 (CH3)*.

A primeira hierarquia (CH1), separa a *classe 5* das demais. Esta, representa 17,2% do documento analisado. A posição desta classe indica que ela está isolada em relação às outras, que possuem maior relação entre si. Na segunda hierarquia (CH2), a *classe 1* se distancia das outras três restantes. Esta classe é a mais significativa na composição do texto, com 25,4% de representatividade entre as palavras analisadas. Na CH3, é a vez da *classe 4* se destacar das classes 3 e 2. Segunda maior representação (23,4%), ela se afasta dos contextos das duas últimas que, quando somadas, refletem 38% das palavras da análise. As duas também são as que mais estão distantes da *classe 5*, encontrada na CH1. A proximidade das classes 2 e 3 mostra que estão em contextos que seus ST tem vocabulários semelhantes, ou seja, os substantivos de ambas as classes possuem significados parecidos dentro dos contextos em que foram analisadas (RAMOS; LIMA; AMARAL-ROSA, 2018).

O segundo dendrograma, visto na Figura 9, mostra a distinção entre os sujeitos que formam cada classe. Nele, as palavras que passaram no teste do qui-quadrado, são classificadas de acordo com a força assimilativa entre elas, da mais forte à mais fraca dentro da própria classe. Utilizando a CHD com foco nos substantivos, é possível localizar a palavra *simulação*, e relacioná-la com outros sujeitos da sua classe e de classes diferentes.

A classificação das palavras que formam os textos analisados possibilitam novas perspectivas interpretativas. Através da leitura dos ST, tendo em mente as relações entre as categorias, as classes foram nomeadas buscando relacioná-las com aspectos estruturais da Teoria Crítica da Tecnologia. Deste modo, a análise contribui para revelar componentes significativos para a compreensão da simulação enquanto tecnologia educacional.

Figura 9 - Dendograma com as palavras mais importantes de cada classe.



Fonte: autor (2022), com auxílio do Iramuteq.

A interpretação e nomenclatura das classes é realizada da perspectiva do autor, ou seja, busca-se construir o conhecimento através da relação *com* a tecnologia, onde a leitura do pesquisador é confrontada com a leitura do software, buscando caminhos para sistematização dos resultados apresentados pelo Iramuteq. A classe *Estrutural* reúne as palavras que aparecem nos contextos em que há representações, através de conceitos e definições, das teorias educacionais que guiaram os estudos. As principais palavras indicam uma perspectiva construtivista, dado que *estrutura*, *aprendizagem* e *significado* denotam uma predominância teórica da Aprendizagem Significativa, inclusive com o nome do principal autor, David Ausubel aparecendo como a terceira forma mais importante dentro da classe. Da perspectiva da construção dos trabalhos, faz sentido que essa

classe apareça na CH1, principal hierarquia classificada pelo Iramuteq, já que o *corpus* é constituído das unidades de texto das seções teóricas dos artigos analisados. Se de um lado da CH1 estão os aspectos relacionados à teoria, do outro estão as classes que, após leitura, caracterizam os aspectos práticos com que as teorias se relacionam com a pesquisa. Portanto, da primeira hierarquia é possível discernir, na estrutura dos textos selecionados, uma divisão entre teoria e prática.

A primeira classe que se destaca na CH2 é a *Representacional*, onde os termos *representação*, *objeto* e *signo* aparecem nos ST relacionadas às perspectivas do sujeito sobre o mundo ou como o mundo se apresenta para ele. Se o segundo nível da hierarquia é caracterizado como uma dimensão prática, esta classe expressa a visão de mundo. De forma geral, os ST dessa classe representam a percepção, que é predominantemente expressa através das palavras, de uma construção do conhecimento realizada pelo próprio sujeito. Assim, a CH2 subdivide a dimensão prática entre os conceitos representacionais com que os autores guiam as fundamentações teóricas e em como a teoria se relaciona com a ação. Esta última é classificada na terceira hierarquia.

Na CH3, a classe *Conceitual* exprime os contextos em que as palavras ativas foram associadas aos conceitos trabalhados nas atividades, na forma de problemas, estratégias e procedimentos. Nela, os ST apresentam conjecturas que apoiam as visões teóricas escolhidas e destacadas na classe *Estrutural*, na medida que busca caracterizar conceitos a serem trabalhados com uma abordagem significativa. Essa classificação hierárquica (CH3), representa a dimensão ativa da prática, dividida entre a classe *Conceitual*, que dá suporte às atividades desenvolvidas, e as últimas duas classes, que dizem respeito ao desenvolvimento da atividade em sala de aula. Nesse sentido, essas duas classes, *Operacional* e *Instrumental*, configuram as expressões e os sujeitos que caracterizam o uso das simulações computacionais.

Da perspectiva da Teoria Crítica da Tecnologia, para a compreensão da simulação enquanto ferramenta tecnológica no Ensino de Física, considera-se fundamental a relação entre as classes *Operacional* e *Instrumental*. A teoria da instrumentalização defendida por Feenberg (2010; 2017), fornece algumas perspectivas interpretativas para a relação entre estas duas classes, uma vez que é possível associá-las ao que o autor entende como significado social e racionalidade funcional. O primeiro conceito é caracterizado pela participação dos sujeitos no desenho tecnológico, ou seja, os modos de uso das simulações atribuídos pelo

professor em sala determinam diferentes comportamentos dos sujeitos envolvidos. Se a simulação por computador é usada em atividade de sala de aula invertida, impõe atitudes e dinâmicas muito diferentes, por exemplo, daquelas em que a simulação é empregada em moldes expositivos. Já a racionalidade funcional se evidencia na relação instrumental e tecnocêntrica, quando os artefatos são isolados de seus contextos de origem para incorporá-los em sistemas teóricos (FEENBERG, 2017).

A classe *Instrumental*, que recebeu esse nome de acordo com a percepção de instrumentalidade abordada na Filosofia da Tecnologia, mostra a palavra *simulação* como a forma ativa mais importante. É possível perceber que ela se relaciona com os termos *ensino*, *modelagem* e *software*, que tem forte influência dentro da classificação, indicando aspectos da racionalidade funcional que qualifica o uso instrumental das simulações. Nesse sentido, o Iramuteq destaca, de acordo com uma pontuação, os ST característicos associados a esta classe. A Figura 10 mostra os dois primeiros.

Figura 10 - Segmentos de texto característicos da classe Instrumental.

**** *artigo_13 *ano_2012 *per_04 *Q_1 *sim_8
score : 407.97

na revisão da literatura sobre o **uso** dos **computadores** e das **simulações** na **educação** se percebe que a grande maioria dos trabalhos publicados é a **favor** do **uso** racional dos mesmos ou seja as **tecnologias** devem auxiliar os **professores** no **processo** de **ensino** com perspectiva de **melhora** no rendimento cognitivo dos alunos

**** *artigo_29 *ano_2017 *per_09 *Q_1 *sim_7
score : 380.44

os **avanços** dos **computadores** pessoais tanto em hardware como na relação custo_benefício e **softwares** independentes de plataforma como o flash e java as **simulações** interativas já constituem um mecanismo eficiente para apresentar conceitos científicos e contribuir para tornar os **professores** facilitadores e os alunos autônomos nos **processos** de **ensino** e aprendizagem

Fonte: autor (2022). Destaques feitos pelo Iramuteq.

Esta classe mostra a simulação em um contexto em que suas características técnicas e funcionais são mostradas como qualidades inerentes que são transferíveis para o ambiente da sala de aula. Destacando a sua adequação às teorias educacionais defendidas nos trabalhos analisados, em especial a Aprendizagem Significativa, tendo em vista o destaque do papel ativo que os alunos têm ao interagirem com os simuladores. Da perspectiva tecnocentrada apresentada

por Peixoto (2012), esse comportamento é interpretado como manifestação da visão determinista da tecnologia.

A perspectiva tecnocêntrica toma a tecnologia como elemento central de explicação das relações entre as tecnologias e a educação. Nesta perspectiva, não são os professores e alunos, mas a solução técnica que é considerada mais eficaz para melhorar a produtividade e a qualidade das ações realizadas (PEIXOTO, 2012, p. 3).

Neste sentido, Feenberg (2010), aponta que no projeto atual, as tecnologias educacionais tendem a se especializar, controlada em termos de custo e conteúdo. Para ele, nesse sistema a automatização da comunicação restringe a entrega de dados e conteúdo, centrado no individual. Em contrapartida, o autor defende um sistema alternativo, onde as tecnologias presentes na educação favoreçam um ambiente comunicativo aberto no lugar de sistemas automatizados, baseados em administração técnica e burocracia.

A classe está intimamente ligada à racionalidade funcional por trás do desenvolvimento das atividades com simulações computacionais. Nessa interpretação, a classe Instrumental é associada com a primeira instrumentalização apresentada por Feenberg (2010; 2017), onde a tecnologia é descontextualizada do seu ambiente social, vista como fruto de uma racionalidade técnica pura. Por outro lado, a Figura 11 mostra os ST com as principais palavras que apontam espaços e agentes sociais que suportam o uso das tecnologias em ambientes educacionais.

Figura 11 - Segmentos de Texto característicos da classe Operacional.

**** *artigo_42 *ano_2020 *per_17 *Q_2 *sim_8
score : 778.41

o **professor** trabalha as **dificuldades** dos **alunos** ao **invés** de apresentações sobre o **conteúdo** da **disciplina valente_2013** segundo moran_2015 a **aula** invertida basicamente consiste em concentrar o **conteúdo** básico no **ambiente** virtual deixando as **atividades** mais complexas para a **sala de aula**

**** *artigo_28 *ano_2016 *per_04 *Q_1 *sim_84
score : 690.48

conceitos trabalho colaborativo formulação e teste de hipóteses para a **sala de aula** as **atividades** experimentais investigativas representam uma estratégia para permitir que os **alunos** ocupem uma posição mais ativa no processo de construção do conhecimento e que o **professor** passe a ser **mediador** ou facilitador desse processo

Fonte: autor (2022). Destaques feitos pelo Iramuteq.

A apreensão do significado social que acompanha as concepções teóricas presentes nos trabalhos, pode se iniciar na interpretação da classe *Operacional*,

caracterizada pelos ST em que os termos se relacionam para apresentar dados sobre a configuração em que as simulações são aplicadas.

Os trechos destacados não se referem a simulação propriamente, mas demonstram novamente a percepção determinista da tecnologia, sub determinando os sujeitos aos usos dos artefatos (FEENBERG, 2010; 2015; 2017). Os ST exemplificam uma tendência de automação que Feenberg (2010), aponta para o futuro da educação e o papel que a tecnologia desempenha nesse processo

A educação, desse ponto de vista, deve ser estreitamente especializada e firmemente controlada em termos de custos e de conteúdo. Os sistemas automatizados em que uma comunicação se restringe a entrega de dados e de programas poderiam servir a semelhante projeto (FEENBERG, 2010, p. 171).

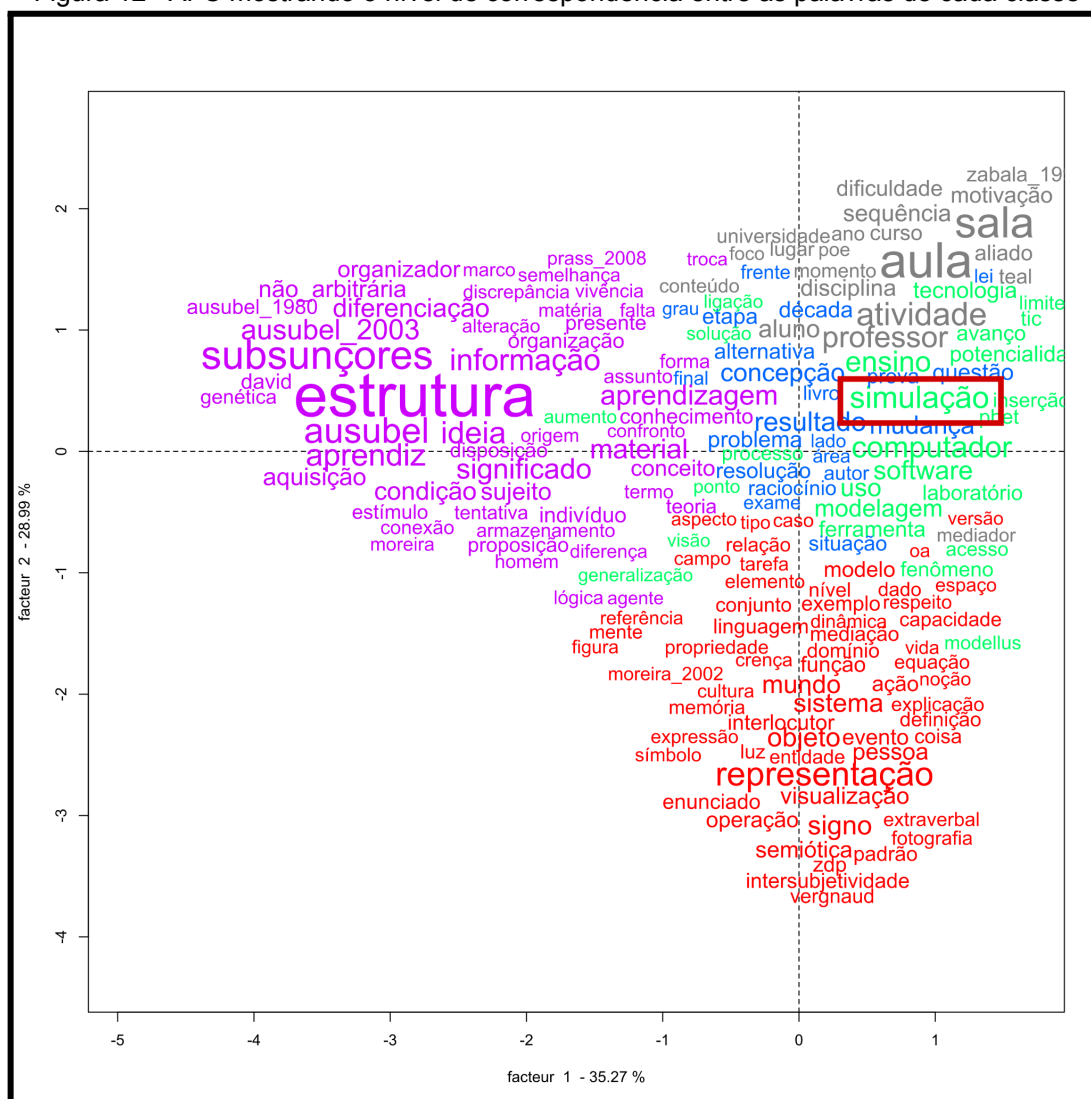
Assim, cabe-se perguntar quais funções as simulações computacionais teriam nesse projeto. Apesar de alguns autores dos trabalhos analisados, manifestarem que os experimentos realizados em laboratório não podem ser substituídos pela simulação (YAMAMOTO; BARBETA, 2001; ANDRADE; COSTA, 2006; MENDES; COSTA; SOUSA, 2012), é comum a argumentação que elas podem ser utilizadas como alternativa, tendo em vista o custo mais acessível em relação a um laboratório tradicional. Portanto, no lugar de proporcionar melhorias quanto à estrutura da escola, essa visão pode incentivar iniciativas que busquem reduzir custos, empregando tecnologias para suprir necessidades pedagógicas.

Enquanto na classe *Instrumental*, destaca-se a predominância da racionalização no uso das simulações, entendida como uma ferramenta com qualidades inerentes que podem ser transferidas para o contexto de sala de aula. Na classe *Operacional*, os sujeitos podem ser caracterizados a partir das suas atitudes frente ao uso das tecnologias. Nela, os objetos são percebidos como meios para resolver particularidades da atividade educacional. Essa classe mostra aspectos da instrumentalização secundária, frisando o papel de diversos agentes e ambientes que contextualizam o uso das simulações. Feenberg (2010), defende que em um sistema alternativo em que os sujeitos afetados pelas tecnologias tenham participação nas tomadas de decisão,

[...] a política da comunidade educacional, que interage com as tendências políticas nacionais, dirigirá o desenvolvimento futuro da tecnologia, o que é muito importante para uma grande escala de atores que precisam ser incluídos no projeto tecnológico. Os estudantes e a universidade trazem à baila um número de considerações, além do desejo de criar ferramentas que fazem a interação humana, desejo que se manifesta há muito tempo no processo de evolução do computador (FEENBERG, 2010. p. 171).

As fundamentações teóricas dos artigos analisados fornecem um indício dos sujeitos considerados importantes na realização das atividades utilizando simulações no Ensino de Física. Assim, a palavra *professor* aparece em dois contextos contrastantes, no ST da classe *Operacional* é destacado seu papel como sujeito ativo no uso das tecnologias como forma de aprimorar as atividades em sala de aula, enquanto o ST da classe *Instrumental* manifesta a passividade dos professores frente à influência das simulações computacionais nas suas aulas. Além de exemplificar como o instrumentalismo está arraigado nas investigações com tecnologia, o destaque do *professor* nas duas classes mostra a importância de analisar a relação do sujeito com a tecnologia a partir da influência mútua entre tecnologia e sociedade. A Figura 12 mostra a Análise Fatorial de Correspondência (AFC).

Figura 12 - AFC mostrando o nível de correspondência entre as palavras de cada classe



Fonte: autor (2021), com auxílio do Iramuteq.

A AFC, objetiva ilustrar a visão interseccionada destas duas classes e como aspectos teóricos da Teoria Crítica da Tecnologia proporcionam uma interpretação em termos da instrumentalização primária e secundária. Na Figura 13 a palavra *simulação* está destacada para ilustrar que as concepções teóricas levantadas apresentam as simulações computacionais em um contexto complementar entre as classes *Conceitual*, *Instrumental* e *Operacional*.

A AFC é construída a partir da Classificação Hierárquica Descendente (CHD) e as palavras de cada classe são apresentadas em um plano cartesiano que define a força de ligação entre elas. Para interpretar o gráfico, os eixos foram relacionados com as separações feitas pelas três classificações hierárquicas (CH1, CH2 e CH3). Deste modo, seguindo a primeira classificação, o eixo horizontal compreende a *prática* na parte positiva e a *teoria* na parte negativa. É notável que a parte negativa é significativamente maior que a positiva, se relaciona esse fato às UT selecionadas para compor o *corpus*. A simulação se encontra na parte prática, do lado oposto às palavras que estruturam a teoria em que se embasam os trabalhos, isto é, existe uma grande distância entre as concepções teóricas que guiam os estudos e as simulações computacionais, novamente evidenciando a abordagem instrumental com que são tratadas.

Na vertical, a CH2 permite interpretar o eixo classificando a parte negativa como referente às características representativas e aos significados com que os sujeitos apreendem o mundo. Essa parte está relacionada com o campo das ideias e dos signos, representa o aspecto *ideal* das atividades. Enquanto isso, a parte positiva do eixo mostra palavras relacionadas a contextos da realidade em que as atividades se desenvolvem, em oposição às interpretações idealizadas da classe *Representacional*, essa parte do eixo está ligada ao mundo *real* em que as práticas com as simulações se desenvolvem. Nessa análise, é possível perceber que *modelagem* e *software* se encontram na parte idealizada do eixo, ao passo que a palavra *simulação* está relacionada à realidade. Portanto, ao se referirem às simulações, os autores a contextualizam seguindo uma lógica concreta, sendo elas percebidas como objetos à disposição para o uso, sem necessariamente se aprofundar em perspectivas teóricas sobre a constituição e influência que a tecnologia pode carregar para o ambiente educacional.

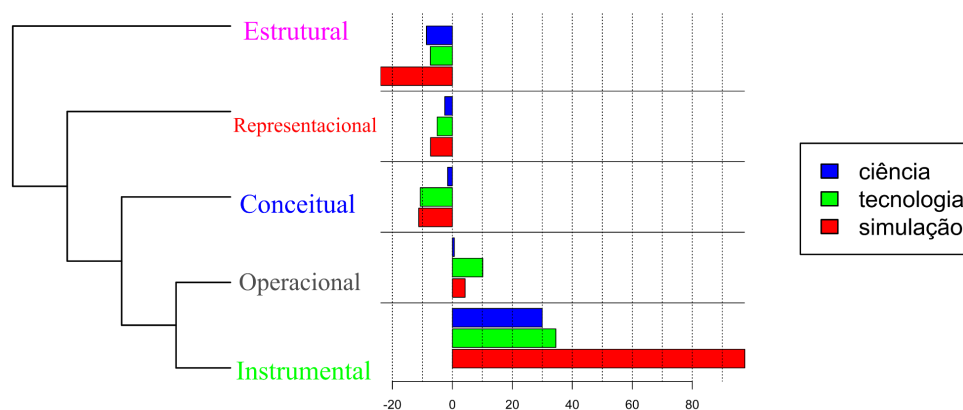
Como dito, a interpretação da Teoria Crítica da Tecnologia apresentada por Feenberg (2010; 2015; 2017), permite associar as classes *Instrumental* e

Operacional aos momentos da dupla instrumentalização. No geral, da perspectiva técnica que guiam os trabalhos, as simulações aparecem em contextos relacionados a primeira instrumentalização, seja pela *descontextualização* das mesmas frente às teoria pedagógicas ou pelo *reducionismo*, que descarta dos fenômenos estudados características contextuais, focando na análise matemática da natureza. Feenberg (2010), aponta que esse processo de simplificação, destitui os objetos de suas qualidades tecnicamente *não-úteis*, compreendidas como secundárias, reduzindo os objetos ao que o autor entende como *qualidades primárias*, que permitem integrar a tecnologia em uma rede técnica. “À medida que tudo da realidade fica abaixo do signo da técnica, o real é progressivamente reduzido a tais qualidades primárias” (FEENBERG, 2010, p. 225).

Os momentos de *autonomização* e *posicionamento*, são percebidos na adequação dos sujeitos frente ao uso dos simuladores. Como discutido anteriormente, a escolha da simulação para o desenvolvimento da atividade, condiciona determinadas atitudes dos pesquisadores, como por exemplo a escolha do conceito físico abordado no estudo. Nesse sentido, ao se posicionar estrategicamente em relação ao objeto técnico, o sujeito busca virar as propriedades inerentes da simulação a favor do objetivo do seu estudo (FEENBERG, 2010).

A análise do Iramuteq permite destacar as palavras em relação ao grau de aproximação delas com as classes determinadas na CHD. A Figura 13 mostra a relação das palavras *simulação*, *ciência* e *tecnologia*, objetivando ilustrar a aproximação e distanciamento das palavras dentro da classificação feita pelo software.

Figura 13 - Nível de associação das palavras *ciência*, *tecnologia* e *simulação* com as classes



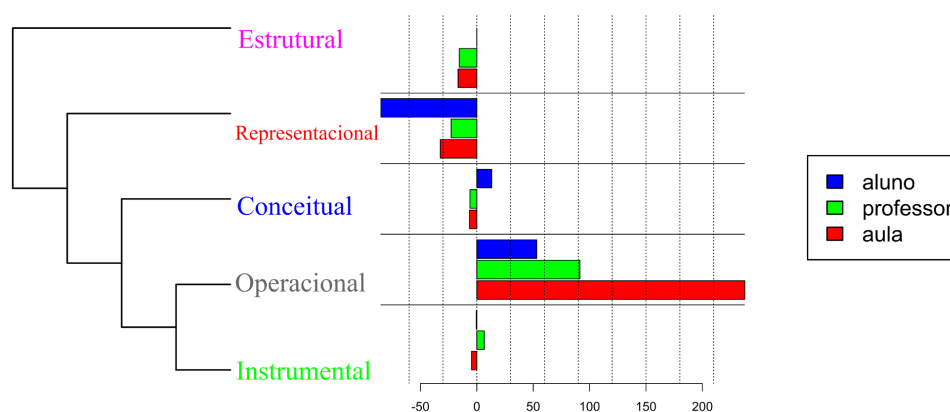
Fonte: autor (2022), com auxílio do Iramuteq.

A graduação no eixo horizontal se refere ao valor do qui-quadrado, indicando a importância da palavra dentro da classe. O lado positivo indica a proximidade com a classe, enquanto o lado negativo aponta para o afastamento. A figura mostra o grau de associação das palavras com a classe *Instrumental*, e a aproximação que os termos têm com a classe *Operacional*. Também se destaca o distanciamento que as palavras têm com as classes *Conceitual*, *Representacional* e *Estrutural*, sendo que nesta última, a *simulação* tem um distanciamento significativo, ressaltando a influência da racionalidade funcional na força associativa da palavra nos contextos da sua própria classe e se distanciando daqueles que tratam da estruturação teórica das atividades desenvolvidas com simuladores computacionais.

A palavra *tecnologia* figura como a mais próxima da classe *Operacional*, que seguindo a interpretação da Teoria Crítica da Tecnologia, surge como manifestação das características da dupla instrumentalização. Aqui a técnica volta a si mesma e aos sujeitos à medida que se realiza concretamente. Essa classe sinaliza o caráter subdeterminado do desenvolvimento tecnológico, que abre espaço para que interesses e valores sociais intervenham no processo de realização (FEENBERG, 2010).

Procurando relacionar essas características com possíveis relações sociais envolvidas na segunda instrumentalização, o Iramuteq foi utilizado para destacar os sujeitos, as classes e o contexto que influem no direcionamento das atividades com simulação. A Figura 14 mostra o grau de aproximação e afastamento das palavras *aula*, *aluno* e *professor*, em relação à classificação da CHD.

Figura 14 - Nível de associação das palavras *aluno*, *professor* e *aula* com as classes



Fonte: autor (2022), com auxílio do Iramuteq.

Dentre os termos enfatizados, a *aula* é a mais importante na classe *Operacional*, o que revela a importância que os autores dão ao contexto onde se desenvolveram o uso das simulações computacionais. Logo, é considerável que as aulas sejam espaços de manifestação de múltiplos interesses, portanto se estabelecendo como um dos fatores determinantes no uso das simulações. Sobre o papel que os contextos tem na descontextualização dos objetos, Feenberg (2017), aponta que

As instituições que dão suporte a esse procedimento - tal como laboratórios e centros de investigação e de projeto - formam, elas próprias, um contexto especial com práticas próprias e ligações com vários agentes sociais e áreas de poder. A noção de racionalidade 'pura' surge quando o próprio trabalho de descontextualização não é suficientemente compreendido como uma atividade social que reflete interesses sociais (FEENBERG, 2017, p. 93).

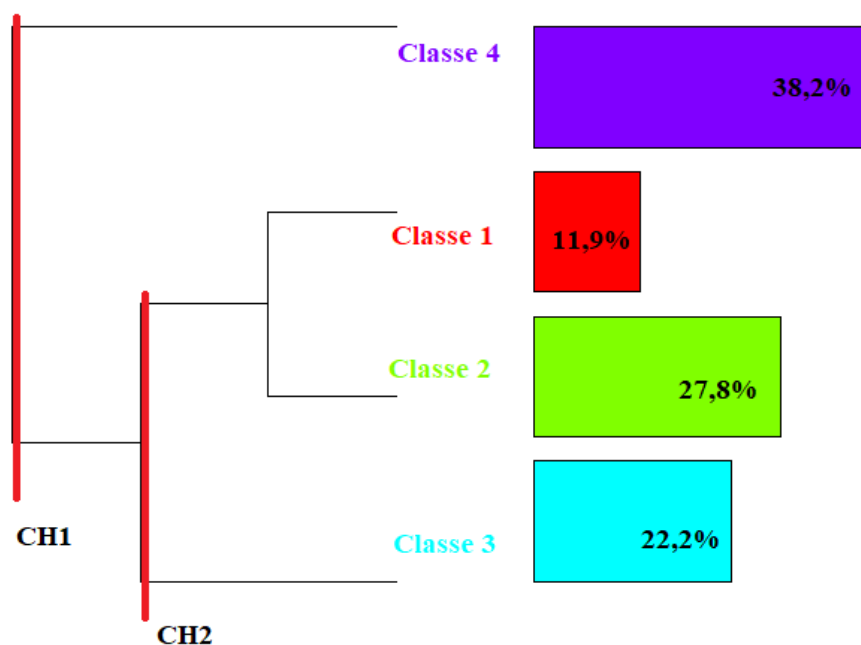
Assim, as simulações não podem ser compreendidas somente a partir de características técnicas, uma vez que o seu uso reflete interesses da escola, dos alunos e dos pesquisadores, que possuem o domínio da perspectiva, visto que esta análise se baseia nos seus discursos. Nesse sentido, o Iramuteq permite perceber a presença desses sujeitos no contexto das classificações. *Professor*, aparece com maior importância na classe *Operacional* em relação a palavra *aluno*, compreendido como a importância do professor na elaboração de planos para lidar com as simulações nas aulas de Física. Esse momento pode ser relacionado à *iniciativa* da instrumentalização secundária. Nela, essa abertura possibilita que os indivíduos se posicionem estrategicamente frente o uso das simulações computacionais (FEENBERG, 2010; 2015).

Os alunos também emergem como um grupo relevante dentro da classe *Operacional*, indicando a importância desse grupo nas configurações das atividades baseadas nas simulações computacionais. Pela predominância das abordagens de Aprendizagem Significativa, é justificável que *aluno* seja um termo recorrente nas concepções teóricas, mas é notável que a palavra tem um forte distanciamento da classe *Representacional*, indicando pouca importância desse sujeito nas perspectivas de mundo e significados atribuídas às atividades dos artigos analisados.

5. Análise Textual *corpus 2*: Resultados e Discussões

No *corpus 2*, construído com os *resultados e discussões* dos artigos, a análise textual com auxílio do Iramuteq, buscou enfatizar os sujeitos e as ações expressas nas falas dos pesquisadores, realçando conclusões e perspectivas futuras sobre os usos das simulações. Desse modo, os substantivos e os verbos foram designados como *forma ativa*, enquanto as demais classes gramaticais configuraram as *formas suplementares*. A Figura 15 mostra o dendrograma construído pelo software.

Figura 15 - Dendrograma gerado pelo iramuteq a partir da CHD dos resultados.



Fonte: Autor (2022), com auxílio do iramuteq.

Com esses parâmetros, o *corpus* foi dividido em 1092 segmentos de texto (ST), sendo que 85,18% foram aproveitados na classificação. As formas ativas tiveram 2358 ocorrências, e as suplementares 1071. Por fim, 1025 formas ativas tiveram qui-quadrado com valor maior que 3,28, constituindo o grupo de palavras mais importantes de cada classe. A CHD gerou o dendrograma apresentado na Figura 16:

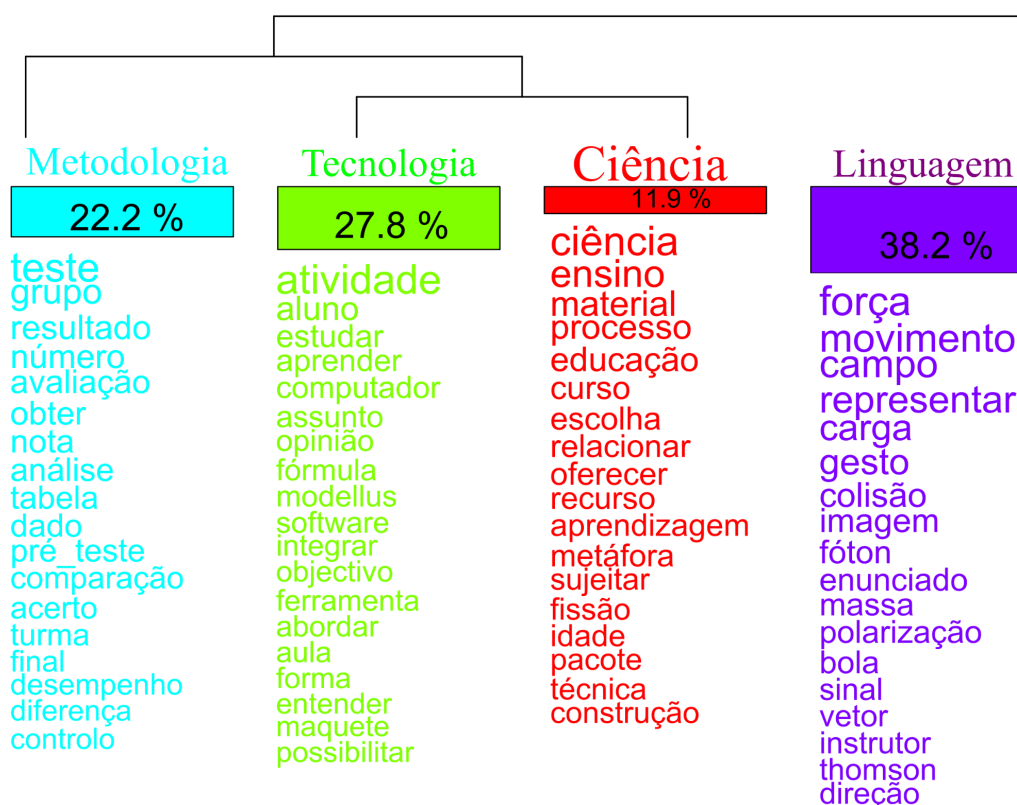
Como mencionado na primeira análise, o auxílio do Iramuteq permite construir as classes com base na relação das unidades de texto (UT) processadas que apresentaram palavras homogêneas. Para caracterizar a classificação, são utilizados os segmentos de texto que possuem vocabulário semelhante entre si e diferente de outros ST. As linhas pretas apresentam as classificações a partir de

ramificações. As linhas vermelhas indicam as duas hierarquias, percebidas pelo autor: *Classificação Hierárquica 1 (CH1)*; *Classificação Hierárquica 2 (CH2)*.

A primeira classificação hierárquica (CH1), separa a *classe 4* das outras três. Esta classe representa a maior parte do texto analisado, com 38,2%. A posição que ela ocupa indica que está afastada dos sentidos e contextos em que aparecem as outras classes, que possuem maior relação entre si. Na segunda hierarquia (CH2), a *classe 1* e a *classe 2* são destacadas da *classe 3*. Essa última é a que está mais afastada da *classe 4*, enquanto a 1 e 2 apresentam significados mais próximos, com vocabulários mais homogêneos, ou seja, as palavras nesses contextos indicam interpretações semelhantes sobre o papel dos termos no *corpus* analisado. Nota-se que, mesmo somadas, as classes 1 e 2 representam pouco mais do que a *classe 4* (39,7%) das palavras relevantes na análise. A posição na hierarquia, aponta que a *classe 4* possui uma ordem superior na estruturação das UT (RAMOS; LIMA; AMARAL-ROSA, 2018).

O próximo dendograma, apresentado na Figura 16, distingue os sujeitos e os verbos que constituem cada classe.

Figura 16 - Dendograma com as palavras mais importantes de cada classe na análise textual dos resultados.



Fonte: autor (2022), com auxílio do Iramuteq.

Nele, as palavras que passaram no teste do qui-quadrado, são classificadas de acordo com a força assimilativa entre elas, da mais forte à mais fraca dentro da própria classe. A partir da CHD é possível identificar padrões que sustentam as classes, como sujeitos, ações e percepções presentes nos discursos dos autores dos artigos. Através da leitura dos ST, tendo em mente os objetivos e pressupostos que permeiam a Alfabetização Científica (AC), as classes foram nomeadas buscando evidenciar características que indicam, de uma maneira ou de outra, relações com as três dimensões da AC apresentadas por diferentes autores, com a posição que as simulações ocupam nessa lógica. Essas três dimensões são sumarizadas nos *Três Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica*, definidos por Sasseron (2011; 2017).

Novamente, a interpretação aqui discutida parte do esforço de aproximar as discussões teóricas sobre o objetivo do Ensino de Física, particularmente sobre os caminhos desenhados pela AC, com as perspectivas teóricas que podem guiar o uso das tecnologias na educação. A classe da *Linguagem* se refere à dimensão da compreensão de um vocabulário básico da ciência. A palavra mais representativa da classe é *força*, um termo da Física que é essencial para a compreensão da *Mecânica*, segundo conceito mais abordado nas atividades pesquisadas. Posicionada na hierarquia superior da CHD, também é a classe com maior representatividade entre as formas ativas selecionadas pelo Iramuteq (38,2%). Os conceitos, formas, definições e linguagem científica se mostram como os fatores predominantes nos resultados apresentados pelos autores. Shamos (1995), entende a importância da apreensão de um vocabulário básico da ciência, mas dificilmente esse parâmetro é suficiente para declarar alguém alfabetizado cientificamente, e declara que dificilmente é possível estender a AC

A CH1 divide o *corpus* entre o primeiro eixo estruturante da AC, que aparece como elemento principal dos resultados e os outros dois eixos, aqui compreendidos como mecanismos para que o primeiro seja alcançado. Assim, as outras três classes são subdivididas pela segunda classificação (CH2), sendo diferenciados os aspectos metodológicos que guiaram as atividades, concentrados na classe da *Metodologia*, das duas classes que apresentam discursos relacionados à tecnologia e ciência diretamente.

A classe da *Metodologia* reúne os termos que fazem referência às características metodológicas da coleta de dados e apresentação dos resultados.

Aqui essa classe será interpretada na relação com o segundo eixo estruturante da AC, remetendo à compreensão da natureza da ciência e dos fatores políticos, éticos, ideológicos que circundam sua prática. Entretanto, nos contextos analisados a partir das UT selecionadas, as palavras da *Metodologia* limitam-se a se ligar com características sobre a natureza da ciência somente a partir da perspectiva da construção dos artigos, não sendo incorporadas nas práticas com as simulações computacionais. Para exemplificar esse posicionamento, a Figura 17 apresenta os dois ST característicos para essa classe.

Figura 17 - Segmentos de texto característicos da classe da *Metodologia*.

**** *artigo_19 *ano_2014 *per_07 *Q_1 *sim_7
score : 608.93

nesta primeira parte da **análise** dos **dados** serão apresentados os **resultados** estatísticos quanto à **fidedignidade** dos **questionários** das **avaliações** diagnósticas **testes** que foram respondidos por todos os **alunos** de ambos os **grupos tabela 1**

**** *artigo_14 *ano_2012 *per_05 *Q_1 *sim_7
score : 486.27

os **resultados** obtidos no **pré-teste** foram analisados segundo a validade e **fidedignidade** a **fidedignidade** foi calculada pelo coeficiente de consistência interna de kuder_rechardson onde k é a **número** de itens do **teste** p e q são as **porcentagens** de **acertos** e **erros** respectivamente e s2 é a variância dos **escores** obtidos

Fonte: autor (2022). Destaques feitos pelo Iramuteq.

As palavras *testes* e *pré-teste*, destacadas pelo software, reafirmam a predominância teórica alinhada à maioria dos trabalhos: a Aprendizagem Significativa. Nela, as simulações computacionais são compreendidas como ferramenta que, através da interação, o aluno participa de um processo de mudança conceitual. A simulação é vista a partir da concepção antropocêntrica, como instrumento para atingir determinada teoria pedagógica.

Neste caso, a técnica é deslocada para a margem, sendo os professores e os alunos colocados no núcleo central das ações humanas mediadas pelas tecnologias. Por isto, tanto o determinismo como a abordagem instrumental se baseiam em um olhar que toma a tecnologia de forma descolada do homem e da cultura (PEIXOTO, 2012, p. 5).

A classe *Tecnologia* é a segunda mais significativa da CHD, com 27,8% das formas ativas selecionadas. Recebe esse nome por conter a palavra *tecnologia*, e por reunir termos que aparecem em circunstâncias que são realçadas características da técnica, presentes no desenvolvimento das atividades com simulação. Ela

apresenta os sujeitos, bem como suas ações, partes integrantes de um sistema, compreendendo a lógica da pesquisa científica que guia os resultados. A palavra *aluno* se conecta a essa classe, pois ela é recorrente em discursos, em que os estudantes são percebidos como componentes da pesquisa, como partes em que a pesquisa vai atuar sobre, seja na coleta de dados ou como objeto de estudo.

É notável que o termo *simulação* se encontra nessa classe, entretanto, possui importância bem menor do que as palavras apresentadas na Figura 16. Assim como na análise do *corpus 1*, elas também são compreendidas de uma perspectiva instrumental, como meio entre os conceitos de Física e os estudantes. Entretanto, cabe destacar que não são identificados no texto, características do momento de *Mediação*, da segunda instrumentalização apresentada por Feenberg (2010), que certamente existiram, como dificuldades, erros e diferentes interpretações que cada aluno pode dar para a interface da simulação utilizada.

Em todas as sociedades, mediações éticas e estéticas fornecem ao objeto técnico simplificado novas qualidades secundárias que, sem suturas, se re-inserem em seu novo contexto social. A ornamentação de artefatos e a atribuição a eles de significado ético são integrais para a produção em todas as culturas tradicionais (FEENBERG, 2017, p. 227).

Assim, as simulações computacionais poderiam ser analisadas levando em consideração qualidades estéticas, como animação, representação dos objetos reais, cores e etc. e como esses fatores influenciam as atitudes dos estudantes frente às atividades com os softwares.

A Figura 18 mostra os segmentos de texto característicos da classe *Tecnologia*. Pela CHD, as palavras desta classe são usadas em contextos e com sentidos semelhantes aos da classe *Ciência*. Essa última, reúne termos que, além de evidenciar substantivos como ciência e educação, enfatizam a relação entre os sujeitos e a prática com as simulações.

Figura 18 - Segmentos de texto característicos da classe *Tecnologia*.

**** *artigo_29 *ano_2017 *per_09 *Q_1 *sim_7
score : 411.06

o **objetivo** desta **atividade** foi **possibilitar** aos **alunos** o **desenvolvimento** de **habilidades** de **resolução** de **problemas** por **meio** da **interação** da **animação proposta** no **software modellus** e por consequência que compreendessem os **conceitos** de velocidade escalar média e aceleração escalar média por **meio** da **interação** com a **ferramenta** tecnológica

**** *artigo_06 *ano_2009 *per_17 *Q_2 *sim_2
score : 298.32

a construção de uma representação da **maquete** através de um **esquema técnico** de **forma** mais **elaborada** veio em decorrência da **atividade** do **computador** a **manipulação** dos elementos do circuito elétrico em um **ambiente** virtual **possibilitou** a reorganização mental dos **alunos** para a confecção dos seus **esquemas técnicos**

Fonte: autor (2022). Destaques feitos pelo Iramuteq.

Na interpretação com os eixos da AC, a associação entre as classes, permite a aproximação com a estrutura do terceiro eixo: *Compreensão das relações existentes entre Ciência, Tecnologia e Sociedade*. Sasseron (2017), chama atenção para esse eixo, na medida em que ele denota a necessidade de compreender aplicações dos saberes produzidos pela ciência e as ações que podem derivar da sua aplicação. Entretanto, a separação entre as duas classes respalda a percepção do eixo da relação entre ciência e tecnologia de maneira linear, primeiro é produzido o conhecimento científico para depois lidarmos com as consequências do seu uso, que se entende como a produção tecnológica e suas consequências.

Na verdade, essa relação é muito mais próxima, onde a tecnologia e a ciência se influenciam mutuamente, portanto o desenvolvimento tecnológico não pode ser condicionado somente como produto de uma fazer científico, o que implicaria a visão de neutralidade da tecnologia:

[...] as tecnologias não são neutras. Elas exercem efeitos sobre o meio social no qual foram desenvolvidas, mas essa relação linear de causa e efeito pode ser colocada em questão, uma vez que as novas práticas estão ligadas a um passado, baseadas em experiências que perduram e continuam a se transmitir. Além disso, o sujeito que utiliza as tecnologias, por mais submisso que seja, nunca é inteiramente passivo e imprime marcas de sua condição material e subjetiva aos tipos de uso que desenvolve individual e socialmente (PEIXOTO, 2015, p. 322).

Nesse sentido, a aproximação entre as classes busca apontar nos trabalhos, atributos apontados pelos autores sobre a conexão ciência-tecnologia e como estas se relacionam com a sociedade, através da análise com as simulações. Entretanto, a ênfase dada aos conceitos coloca as duas classes em uma posição inferior, mostrando menos relevância entre os resultados dos trabalhos. Desse modo, quase

não existe relação entre aspectos sociais, os discursos dos autores e o uso da simulação por computador. Os ST característicos da classe *Ciência*, são mostrados na Figura 19.

Figura 19 - Segmentos de Texto característicos da classe *Ciência*.

**** *artigo_27 *ano_2016 *per_11 *Q_1 *sim_9
score : 460.61

b a **inadequação** no **uso** de **pacotes** de softwares na **literatura** em **educação** em **ensino** de **ciências** e em tecnologia educacional alguns **autores** têm **buscado definir critérios** mais claros para a **escolha** dos **recursos** digitais a serem utilizados em **ambientes** educacionais **macêdo**

**** *artigo_31 *ano_2017 *per_20 *Q_2 *sim_8
score : 330.97

outra **justificativa** para a **escolha** é que as simulações phet conforme já apresentadas por arantes miranda e studart 2010 são **recursos** disponíveis para o **ensino** de **ciências** que procuram **relacionar** fenômenos diários com a **ciência oferecendo** modelos fisicamente corretos de maneira acessível

Fonte: autor (2022). Destaques feitos pelo Iramuteq.

O primeiro ST destacado, mostra as tecnologias como recursos voltados para o desenvolvimento de atividades pedagógicas e, apesar da preocupação com a relação entre teorias educacionais e os critérios para escolha da simulação, os autores partem de uma perspectiva antropocêntrica, dado que no discurso eles defendem que

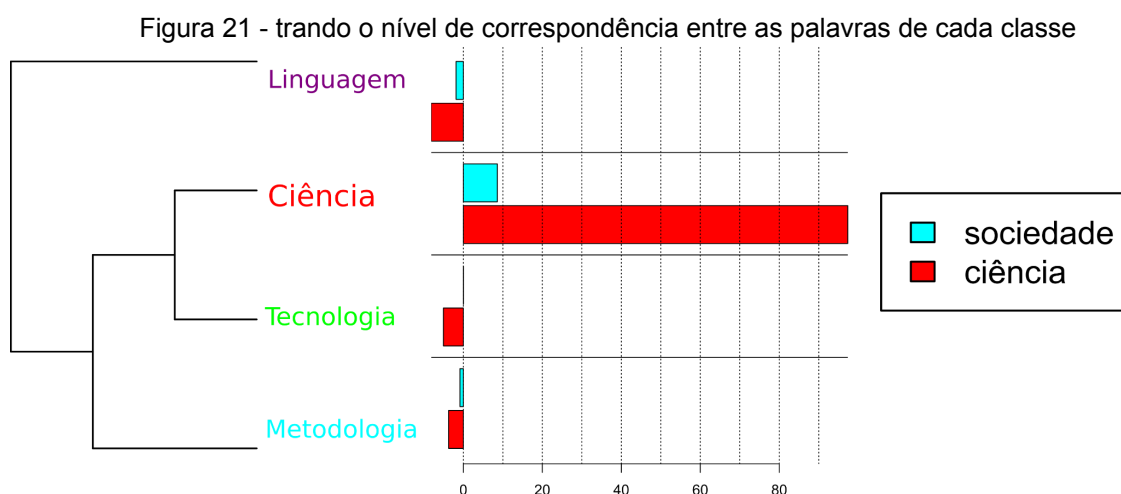
Um dos aspectos que têm sido considerado na definição de tais critérios é a possível distração dos alunos no processo de ensino e aprendizagem, [...] deve-se optar por simulações que possuam um menor tempo de carregamento, uma vez que uma espera longa para o uso do recurso poderia levar à dispersão da atenção dos alunos (PESSANHA; PIETROCOLA, 2016, p. 376).

Mesmo que sejam suprimidos, os momentos da segunda instrumentalização podem se manifestar quando os autores descrevem situações em que os sujeitos são confrontados com as tecnologias. Nesse exemplo, a solução para a dispersão dos alunos é a aplicação de mais soluções técnicas, o que influencia na profundidade da simulação escolhida, dado que a complexidade com que um fenômeno é simulado, é diretamente proporcional ao poder de processamento do computador (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003; PECK, 2004). Feenberg (2010), argumenta que essa noção subdeterminada condiciona as escolhas, se tivermos somente soluções exclusivamente técnicas para um problema, então a decisão entre uma delas “[...] torna-se tanto técnica quanto política. As implicações políticas da escolha serão incorporadas à tecnologia” (FEENBERG, 2010, p. 266).

Pensando na primeira classificação hierárquica (CH1), o eixo horizontal é interpretado na oposição entre os conceitos de Física, foco dos resultados, e os termos que explicam o processo da pesquisa que se relacionam aos resultados, como coleta de dados, relatos dos usos das simulações e perspectivas teóricas utilizadas na interpretação dos autores. O eixo opõe os *dados*, do lado esquerdo, e os instrumentos de *interpretação* desses dados, à direita. No eixo vertical, a oposição se dá entre os aspectos *técnicos* que guiaram os resultados dos trabalhos e as características *contextuais* em que as atividades foram desenvolvidas.

A AFC fornece um elemento visual que revela o vínculo entre as classes *Tecnologia* e *Ciência*. A palavra *ciência* aparece com maior destaque e próxima do termo *sociedade*, em tamanho menor. Esta última aparece somente em dois segmentos de textos classificados pelo Iramuteq, indicando que nesses dois trabalhos, a palavra teve algum papel na expressão dos resultados. Os autores destacam que as atividades realizadas com as simulações possibilitaram aos estudantes construir novos conhecimentos, que conseqüentemente proporcionam uma melhor compreensão da própria realidade (FERREIRA; DIAS; FERREIRA, 2015, p. 8; SOARES; MORAES; OLIVEIRA, 2015, p. 929).

A Figura 21 mostra o nível de correspondência entre os termos *sociedade* e *ciência* e as quatro classes.



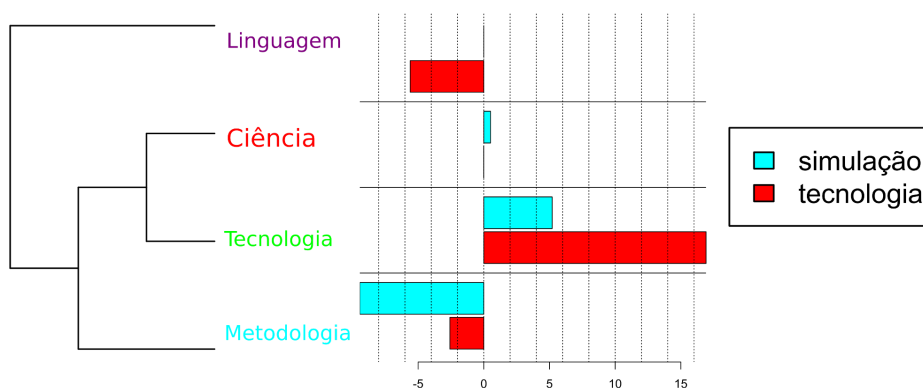
Apesar da proximidade entre as palavras na AFC, a sociedade possui relevância bem menor dentro da classe *Ciência*, e é elemento praticamente ausente nos resultados. A percepção linear, considera que aspectos sociais possuem uma condição passiva na relação ciência-tecnologia. No entanto, o desenvolvimento

tecnológico e científico não pode ser considerado um processo neutro, ele influencia e é influenciado pelas estruturas sociais sobre as quais atua (AULER; DELIZOICOV, 2003).

O termo *ciência* pode ser considerado um dos fatores que afasta as classes *Ciência* e *Tecnologia*, visto que ela é fortemente relacionada a sua própria classe e se distancia levemente das outras três. Essa indicação pode ser interpretada como uma separação da ciência e tecnologia somente em termos teóricos, já que nos termos práticos as duas são essencialmente inter-relacionadas. Feenberg (2015), diz que a antiga diferença entre ciência e tecnologia, implica uma hierarquia de valores. Características das ciências, como teoria, investigação e verdade são consideradas mais nobres do que a prática, utilidade e técnica associadas à tecnologia. “Essa hierarquia fundamentou a exigência por uma autonomia completa da ciência” (FEENBERG, 2015, p. 67).

Nesse sentido, a Figura 22 mostra a contextualização das palavras *simulação* e *tecnologia* na relação com as outras classes, buscando caracterizar as simulações computacionais como tecnologias e a sua relação com aspectos da ciência.

Figura 22 - AFC mostrando o nível de correspondência entre as palavras de cada classe



Fonte: autor (2022), com auxílio do Iramuteq.

Enquanto *ciência* é a forma ativa mais importante dentro da própria classe, a *tecnologia* é menos relevante na sua classificação. Esse distanciamento que aparece nos discursos remetem a noção linear de ciência e tecnologia, entretanto, como Feenberg (2015), aponta

À medida que a diferença entre ciência e tecnologia se desfaz, a hierarquia de valores que justificava tal esnobismo vergonhoso perdeu a sua força persuasiva. Ocorreu uma alteração básica na relação entre ciência e sociedade. Há uma abertura crescente por parte da ciência às várias formas de controle econômico e político. [...] A antiga hierarquia de valores tem vindo a ser atropelada nos anos mais recentes, à medida que cada vez mais

o trabalho científico visa diretamente produzir bens comercializáveis (FEENBERG, 2015, p. 67-68).

Mesmo que tenha pouca importância dentro da classe, a *tecnologia* ainda é mais influente que a *simulação*. Essa, por sua vez, se distancia mais da classe *Metodologia*, do que se aproxima da própria classe. Esse afastamento coloca as simulações distantes dos métodos de coleta e discussão dos dados, exemplificando a interpretação das tecnologias descoladas do do contexto cultural que habitam (FEENBERG, 2010; 2015).

Aqui, as simulações computacionais são apreendidas como ferramentas que possibilitam adquirir os dados, que posteriormente foram analisados com poucas reflexões sobre a influência que a simulação, certamente, teve sobre dados.

3. Considerações: ou a instrumentalização das simulações computacionais para a Aprendizagem Significativa

Certamente, as discussões sobre as definições de simulações computacionais e seu impacto na ciência são recentes e nem sempre convergentes sobre a sua funcionalidade e confiabilidade (LUNETTA; HOFSTEIN, 1981; WINSBERG, 1999; 2001; PECK, 2004; GRÜNE-YANOFF; WEIRICH, 2010), o que levanta a possibilidade desse conceito ainda permanecer em disputa entre os diferentes interesses que guiam os seus usos.

De maneira recorrente, as simulações são identificadas no ensino a partir de suas qualidades representacionais e como essas podem contribuir para o processo de aprendizagem. Nesse sentido, Lunetta e Hofstein (1981), organizam as simulações no Ensino de Ciências de acordo com o grau de dinamismo das mesmas, conferindo àquelas guiadas pela informática e computação, alto grau de interatividade.

Na busca de engajar os alunos nas atividades, no geral, os autores destacam que as simulações computacionais possibilitam observar fenômenos, que de outra maneira, estariam inacessíveis aos alunos, entretanto as técnicas que reproduzem aspectos dos sistemas físicos naturais, passam por um processo de *descontextualização* e *sistematização*. Nessa interpretação da teoria da instrumentação de Feenberg (2010; 2015; 2017), são realçados as relações desses momentos com procedimentos de tomada de decisão, como a escolha da simulação, uma vez que os fenômenos são retirados de seus contextos naturais,

explicados a partir de modelos matemáticos, enquanto a interação com o público escolar exige que a simulação se adeque a certos parâmetros, como visual e simplicidade.

A revisão bibliográfica possibilitou associar a seleção dos conceitos de Física abordados com a determinação dos simuladores. A predominância de atividades que simulam fenômenos relacionados à *Mecânica* e *Eletricidade e Magnetismo*, são justificados pela decisão de qual plataforma é utilizada. Nesse sentido, no ambiente PhET, as simulações relacionadas a esses dois conceitos são a grande maioria das que podem ser encontradas no site. Enquanto que no Modellus, a construção dos modelos baseados nesses conceitos é mais simples tanto na introdução das equações matemáticas quanto no desenho gráfico da interface utilizada pelo usuário. Nessa lógica, Feenberg (2010), destaca que a escolha de uma tecnologia também implica a escolha de um estilo de vida, que condiciona práticas e as relações dos usuários com aspectos técnicos. Na Teoria Crítica da Tecnologia, “[...] a tecnologia não é vista como ferramentas, mas como a estrutura para estilos de vida” (FEENBERG, 2010, p. 63). Essa percepção, nos indicam que, muitas vezes, os conceitos de Física abordados são subdeterminados na escolha do software de simulação.

A análise textual foi dividida em dois momentos: no primeiro, foi possível identificar elementos das teorias que guiam as pesquisas, conseqüentemente guiando as atividades com as simulações computacionais, presentes nas concepções teóricas dos artigos. O estudo das palavras, segmentos de texto e respectivos contextos que estes aparecem, indicaram a predominância de termos relativos às posições teóricas da Aprendizagem Significativa. Nessa análise, duas classes foram interpretadas na relação com a dupla instrumentalização, onde a classe *Instrumental* corresponde a primeira instrumentalização, enquanto a *Operacional* se refere a instrumentalização secundária.

Desse modo, a primeira classe enfatiza os aspectos instrumentais e tecnocentrados com que as simulações vêm sendo abordadas nos estudos, onde são destacados os momentos de *descontextualização*, *reducionismo*, *autonomização* e *posicionamento*. Essa classe revela as relações técnicas estabelecidas entre diversos agentes envolvidos no Ensino de Física e o uso instrumental das simulações, vistas como objetos voltados a atingir determinado fim.

A classe *Operacional* está associada às conjunturas da segunda instrumentalização, os momentos de *sistematização, mediação, vocação e iniciativa*, são identificados na medida em que os discursos presentes nos textos analisados, indicam a participação ativa de diversos sujeitos na determinação dos usos durante as práticas da pesquisa. No aprofundamento da compreensão dos contextos dos ST, ora é manifesta a percepção tecnocêntrica, ora a antropocêntrica. Peixoto (2012; 2015), propõe a superação dessas visões na análise sociotécnica, baseada na relação recíproca entre racionalidade técnica e significado social das tecnologias. Assim, a análise das duas classes na aproximação com a teoria da instrumentalização busca relacionar os momentos com aspectos do uso das tecnologias no contexto educacional, sendo que nesse campo “[...] os objetos técnicos também são constituídos pelas diferentes formas de uso individuais e coletivas dos sujeitos dos processos formativos, sejam eles alunos ou professores (PEIXOTO, 2015, p. 329).

A segunda análise textual procurou investigar os resultados dos trabalhos levantados, de modo que fossem destacadas perspectivas que pudessem indicar conexões das falas dos autores com pressupostos teóricos que balizam as discussões da Alfabetização Científica. Assim, as classes foram interpretadas na relação com os três eixos estruturantes da AC. Desse modo, a análise evidenciou a sobreposição que o primeiro eixo possui em relação aos outros dois, mostrando que, mesmo partindo de perspectivas teóricas não tradicionais, a ênfase dada aos conceitos e definições é maior que às relações entre o conteúdo e a realidade concreta do indivíduo.

Nesse sentido, as simulações computacionais são utilizadas a partir de uma perspectiva instrumental, onde as suas qualidades, associadas à modelagem matemática e ao desenho gráfico, são vistas como ferramentas para alcançar a Aprendizagem Significativa. Essa percepção também revela uma dimensão antropocêntrica das atividades mediadas por simulação computacional, sendo os alunos o elemento central na relação com a tecnologia,

[...] a técnica é deslocada para a margem, sendo os professores e os alunos colocados no núcleo central das ações humanas mediadas pelas tecnologias. Por isto, tanto o determinismo como a abordagem instrumental se baseiam em um olhar que toma a tecnologia de forma descolada do homem e da cultura (PEIXOTO, 2012, p. 5).

Essas reflexões possibilitam perceber a complexidade que acompanha a aplicação das simulações computacionais em atividades de Física, e estas não devem ser desconsideradas na elaboração de atividades que façam seu uso. Assim, a possibilidade de decisões mais democráticas sobre o destino da ciência e tecnologia na sociedade atual, passa pelo Ensino de Ciências que objetiva revelar nos discursos ideológicos vinculados à CT, que defende a determinação social por critérios tecnocráticos.

Neste sentido, entende-se que a educação em Ciências/Física deve, também, propiciar a compreensão do entorno da atividade científico-tecnológica, potencializando a participação de mais segmentos da sociedade civil, não apenas na avaliação dos impactos pós-produção, mas, principalmente, na definição de parâmetros em relação ao desenvolvimento científico-tecnológico (AULER, 2003, p. 71)

Portanto é importante destacar características do contexto social em que as tecnologias se desenvolvem, buscando relacioná-las com aspectos de uma educação que contribua para a formação voltada a percepção crítica da influência que a tecnologia desempenha na política, economia e educação.

CAPÍTULO III - Controvérsias científicas e controvérsias tecnológicas: aproximação das simulações computacionais com a ACT

1. Alfabetização Científica e Tecnológica

No livro *Alfabetização Científica: questões e desafios para a Educação*, Chassot (2014), destaca três perguntas que considera essenciais que os professores das disciplinas científicas devem se fazer: *Por que ensinar Ciência? O que ensinar de Ciência? e Como ensinar Ciência?*

Já na sequência, o autor apresenta uma discussão que convida o leitor a pensar nas três respostas, destacando que o Ensino de Ciências não deve ter como objetivo formar cientistas e que a ciência deve ser entendida como uma linguagem que facilite o entendimento do mundo pelos alunos e alunas. Refletindo sobre *o que* deve ser trabalhado em sala de aula, percebe-se que o método tradicional de ensino é completamente conteudista, onde muitas vezes a aula do professor é qualificada de acordo com a quantidade de tópicos que foram apresentados, sendo que esses tópicos quase sempre são alheios à realidade do estudante e frequentemente inúteis (CHASSOT, 2014).

Mais importante do que as respostas, as três perguntas contribuem para propor uma discussão pertinente sobre as práticas do professor. Nesse sentido, a criticidade apresenta-se como central, pois através dela é possível refletir sobre as ações que estão sendo desenvolvidas nas aulas de ciências e também qual o resultado deste ensino para os estudantes. Sobre o papel do professor na formação crítica, Chassot (2014) ainda coloca que

Há, cada vez mais, uma preocupação na busca de ações mais intensas para que formemos profissionais que tenham uma efetiva consciência de cidadania, independência de pensamento e capacidade crítica, que devem adquirir ao longo da escolarização. Temos de formar cidadãos e cidadãs que não só saibam ler melhor o mundo onde estão inseridos, como também, e principalmente, sejam capazes de transformar este mundo para melhor (CHASSOT, 2014. p.101).

Tal formação transformadora busca construir uma sociedade mais justa e igualitária, onde os próprios sujeitos são os agentes da transformação. O professor quando compreende as limitações que dificultam a mudança, também é capaz de refletir criticamente a respeito das ações que objetivamente convertam a realidade

para melhor. Entretanto, isso só é possível se considerar-se o envolvimento de conflitos políticos e sociais que permeiam a prática transformadora, no esforço de compreendê-los e dar-lhes um propósito que contribua para o entendimento do mundo (GENOVESE, 2017).

É preciso que as aulas de ciências abandonem o caráter apolítico, provocando discussões com os alunos que busquem elucidar contrariedades que permeiam a atividade científica, deixando de passar a imagem de uma ciência sempre boa e neutra (AULER; DELIZOICOV; CHASSOT, 2014). Nesse sentido, o terceiro eixo estruturante da AC, indica o desenvolvimento de atividades que tomem como base, a relação entre o conteúdo estudado e o contexto histórico, cultural e social.

No entanto, a própria noção de Ensino de Ciências não pode ser dissociada de uma ideologia. (SHAMOS, 1995). Logo, se destaca o uso dos termos e conceitos da AC em documentos oficiais, na intenção de integrar na agenda política, as instrumentalizações da ciência e, principalmente, da tecnologia.

Nessa perspectiva, para além da cultura do impresso (ou da palavra escrita), que deve continuar tendo centralidade na educação escolar, é preciso considerar a cultura digital, os multiletramentos, os novos letramentos, entre outras denominações que procuram designar novas práticas sociais e de linguagem (BRASIL, 2018, p. 478).

A BNCC deixa claro que a informação é parte central do processo de aprendizagem, principalmente no que diz respeito à sua relação com as mídias digitais, destacando que a utilização de TIC na escola possibilita uma maior apropriação crítica e técnica, determinante para “[...] uma aprendizagem significativa e autônoma pelos estudantes” (BRASIL, 2018, p. 478).

Considerando as discussões sobre as características da tecnologia, e como ela não pode ser designada sem considerar o contexto ao qual está submetida, na influência mútua de artefatos técnicos e sujeitos. Portanto, para vencer a visão determinista e instrumental da tecnologia, são necessárias práticas que busquem integrar nas atividades voltadas à AC, caminhos metodológicos que centralizem questões problemáticas sobre o funcionamento, usos e contextos sociais da CT contemporânea (AULER, 2003). Nesse sentido, Auler e Delizoicov (2001), buscam estender as concepções de Alfabetização Científica para compreender aspectos educacionais que superem o determinismo tecnológico. É nessa avaliação que entendemos a ACT como uma extensão da AC, que reconhece a importância da

tecnologia na determinação de diferentes dimensões da sociedade atual. Auler (2011), também destaca circunstâncias econômicas que envolvem a CT:

Por ser uma atividade social, é condicionada por fatores econômicos, políticos e sociais, e, por conseguinte, a direção de seu desenvolvimento atende a interesses particulares de determinados atores sociais. [...] Com a aceitação passiva dos 'milagres' da tecnologia, com a adesão ao sonho consumista, a humanidade, como um todo, está perdendo a chance de moldar o futuro (AULER, 2011. p. 77).

Assim, os assuntos controversos da ciência e tecnologia, dentro da AC contribuem para uma transformação social, sendo que os debates auxiliam em uma tomada de consciência de classe, compreensão de interesses econômicos por trás de avanços tecnológicos e a desmistificação da tecnocracia, dissociando a ideia de que o desenvolvimento social está atrelado ao desenvolvimento tecnológico (GENOVESE; GENOVESE; CARVALHO, 2019).

Uma busca em um dicionário nos dá que a controvérsia é uma questão de opinião sobre a qual as partes discordam ativamente, argumentam ou debatem. Controvérsias podem variar em tamanho, indo desde disputas privadas entre dois indivíduos até desentendimentos em larga escala entre sociedades. As controvérsias científicas estudadas no ensino de ciências apresentam as diferentes opiniões tanto de pesquisadores, como das demais pessoas da sociedade, que têm direito de se posicionar frente a um assunto de seu interesse, de forma responsável.

Deste modo, assuntos controversos não podem ser resolvidos de fato, mas sim confrontados com pontos de vista diferentes que, através de debates, busca-se uma compreensão melhor do problema. Nessa perspectiva, as aulas de ciências podem se beneficiar das controvérsias científicas para o desenvolvimento de atividades de cunho crítico, pois como não existe uma resposta certa, os estudantes são incentivados a se posicionarem com base em argumentos lógicos sobre determinado tema, contribuindo para uma cultura de participação em sala de aula (REIS, 1999).

Para o autor, outra contribuição relevante da discussão de temas controversos nas aulas de ciências é a possibilidade de romper com as visões científicistas e tecnocráticas, onde os problemas apresentados perdem a característica dualista de certo/errado e passa a valorizar-se a pesquisa, argumentação embasada, diplomacia e criatividade na resolução de problemas do contexto do próprio aluno.

Entretanto, também é desafio dos professores desenvolverem a capacidade de mediar as discussões sem definir qual resposta é a certa, preocupando-se com o debate em si. Nesse sentido, Reis (1999) complementa que

[...] os alunos aos 14 anos já desenvolveram ‘uma incapacidade treinada’ para pensarem independentemente. Neste contexto, qualquer tentativa de alteração da mentalidade dos alunos só será possível através de uma alteração da mentalidade dos professores, que se reflecta em uma mudança das práticas e do professor em sala de aula (REIS, 1999. p.108).

Como discutido nos capítulos anteriores, o início do século XXI ficou marcado pelo avanço da internet, resultando em novos softwares e sites que modificam diversos aspectos das vidas das pessoas, como por exemplo as redes sociais, que transformaram as relações pessoais e impactaram as noções sobre política, saúde, segurança e educação (MARTINS; PAIXÃO, 2011).

Os estudantes tiveram o acesso facilitado a diversas fontes de informação, inclusive aos conteúdos escolares. Nesse sentido, existe uma tendência em assumir que o professor dispõe de uma variedade de tecnologias que podem contribuir nas suas ações pedagógicas. Essas disputas sobre a CT, se manifestam nas controvérsias da tecnologia, quando estas ainda estão no processo de concretização. Feenberg (2010), diz que

Os padrões dos desenhos tecnológicos são controvertidos apenas quando estão em processo. Conflitos solucionados sobre a tecnologia são rapidamente esquecidos. Seus resultados, uma confusa massa de padrões técnicos e legais, são corporificados em um código estável e formam o background contra o qual os agentes econômicos manipulam as porções instáveis do ambiente, na procura da eficiência (FEENBERG, 2010, p. 87).

Por exemplo, as controvérsias das simulações computacionais envolveriam características da modelagem, como a sua representação traduz as equações matemáticas e como elas podem ser utilizadas com fins comerciais e de massificação de conteúdos voltados à formação à distância. Auler (2003), aborda as questões controversas da CT propondo uma abordagem *temática*. Segundo o autor, as atividades baseadas em temas viabilizam discussões mais amplas, não limitada a aspectos metodológicos.

2. Ensino Investigativo e Abordagem Temática

A abordagem temática é caracterizada pela aproximação entre CTS e as concepções freireanas de alfabetização. Auler (2003), aponta que o elemento central dessa abordagem é a realização da *investigação temática*, dividida em cinco etapas:

1) levantamento preliminar; 2) análise das situações e escolha das codificações; 3) diálogos decodificadores; 4) redução temática; e 5) trabalho em sala de aula.

Na perspectiva da AC, Sasseron (2017), acredita que o Ensino de Ciências tem muito a se beneficiar com atividades baseadas na problematização e investigação. Para a autora, a problematização de um tema científico favorece o desenvolvimentos dos eixos estruturantes da AC, e “[...] relaciona a realidade ao conhecimento científico e leva a uma reflexão crítica sobre ambos” (SASSERON, 2017, p. 25).

A investigação na sala de aula é caracterizada por ações e atitudes que permitem mais do que simplesmente *fazer*, mas também *compreender*. A autora também considera importante a diferenciação dos termos *argumentação* e *explicação*. Essa última, trata das construções mentais realizadas a partir de deduções de causa e efeito, enquanto que a argumentação é o procedimento de construção da explicação, dando atenção aos dados, informações, variáveis e às evidências que sustentam o processo dedutivo (SASSERON, 2017).

Para elaborar atividades guiadas por tais pressupostos, a autora sugere rotas adaptativas para o planejamento de aulas que busca a ampliação das concepções de ciência, relacionando-as aos fatores que condicionam as ideias científicas. O Quadro 7 apresenta uma sistematização das sugestões destacadas por Sasseron (2017), para construir atividades investigativas no Ensino de Ciências:

Quadro 7 - Sugestões de abordagens investigativas para a AC.

Demonstração Investigativa	Estratégia que pode ser utilizada quando o professor não tiver materiais em número suficiente para ser trabalhado com todos os grupos ou quando apresenta algum grau de periculosidade; um problema é proposto para que os alunos o investiguem através da observação do fenômeno apresentado pelo professor.
Laboratório Investigativo	Envolve os alunos em um processo de investigação em que eles devem criar hipóteses, elaborar um plano de trabalho, tomar dados e discutir conclusões para construir explicações sobre o fenômeno estudado.
Problema aberto	Atividade de lápis e papel; o enunciado da proposta apresenta uma situação problemática aberta em que dados e informações não são oferecidos.
Leitura Investigativa	As perguntas sobre o texto não se limitam à localização de informações no texto, elas

	devem ser feitas ao longo de todo o processo da atividade, pressupondo a interação dos alunos com o texto.
--	--

Fonte: adaptado de Sasseron (2017).

As recomendações são pertinentes, e contribuem para que a Física seja abordada por pontos de vista que considerem aspectos sociais e culturais da sua prática, entretanto os apontamentos parecem tomar como base apenas a ciência, deixando pouco espaço para interpretações da tecnologia. Levando em conta a utilização das simulações computacionais no Ensino de Física, as sugestões restringem suas abordagens, facilitando a percepção instrumental e determinista.

Desse modo, a ACT é concebida como o ensino de conceitos associados à problematização de construções históricas sobre as interações entre ciência e tecnologia (AULER; DELIZOICOV, 2001; AULER, 2003). A abordagem temática busca evidenciar consequências da influência da CT, onde a sociedade possui papel ativo nessa definição. Auler (2003), relata que

Tendo como horizonte configurações curriculares pautadas pela abordagem temática, o *Grupo de Estudos Temáticos em Ciência-Tecnologia-Sociedade* tem optado por intervenções pontuais no contexto escolar, permitindo, com isto, avaliar limites, possibilidades e desafios a serem superados, estabelecendo, assim, encaminhamentos para reconfigurações curriculares mais abrangentes. Neste sentido, com iniciativas muito incipientes em 2002, em 2003, estão em processo de elaboração, implementação e avaliação/redirecionamento quatro temáticas: *A Questão Energética na Sociedade Contemporânea; Da Válvula ao Transistor; Poluição do Arroio Cadena e A Bicicleta e a Física* (AULER, 2003, grifos do autor).

Sendo a dinâmica pedagógica das temáticas organizadas em torno de três momentos: *problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento*. O Quadro 8 mostra uma exemplificação, dada pelo autor, sobre a abordagem através do tema *Questão energética na sociedades*:

Quadro 8 - Exemplo de organização da abordagem temática.

Problematização Inicial	<p>Questões, vinculadas ao tema, propostas para discussão:</p> <p>Uma pessoa pode fazer determinada viagem de ônibus ou de carro particular. Em que circunstâncias haverá um maior consumo de energia por pessoa, por quilômetro rodado?</p> <p>Se o Sol <i>apagasse</i> amanhã, poderíamos substituí-lo artificialmente? Para você, como seria isto?</p> <p>O que você entende por um motor 1.8?</p>
Organização do Conhecimento	Conteúdos desenvolvidos: Primeira e segunda

	<p>leis da termodinâmica, massa específica, notação científica, transformações de unidades, volume, calor de combustão, rendimento em máquinas térmicas, reação de combustão da gasolina (combustão completa e incompleta), fotossíntese, conversão de energia no corpo humano, combustíveis fósseis;</p> <p>Aspectos históricos: Investigações e teorizações sobre o baixo rendimento das máquinas térmicas culminaram com o estabelecimento da primeira e segunda leis da termodinâmica;</p> <p>Discussão sobre a necessidade de considerar compreensões já elaboradas pelos estudantes, antes de ingressarem no espaço da educação formal, as denominadas concepções alternativas, como, por exemplo, energia concebida como substância.</p>
Aplicação do Conhecimento	<p>Retomada e rediscussão das questões propostas no Primeiro Momento e análise e discussão de novas situações.</p> <p>Discussão sobre o consumo de energia em diferentes contextos e países.</p> <p>Baixa eficiência do motor de combustão interna. É razoável continuar investindo neste desenvolvimento Científico-Tecnológico?</p> <p>Discussão sobre a necessidade de priorizar o transporte coletivo em detrimento do particular. Quem deve participar desse processo decisório? Como ficaria isso em termos de degradação ambiental? A decisão quanto à prioridade (incentivos fiscais) dada em relação ao transporte particular ou coletivo é uma decisão neutra, meramente técnica?</p>

Fonte: adaptado de Auler (2003).

É interessante notar que os temas destacados pelo autor, que são trabalhados no contexto do Grupo de Estudos Temáticos em Ciência-Tecnologia-Sociedade, são referidos através de palavras que, na verdade, denotam uma aproximação muito maior com questões tecnológicas. Essa posição é percebida no exemplo do Quadro 8 Mesmo que o autor indique nos objetivos da ACT a superação da lógica linear, talvez ela ainda se manifeste presente, na medida que o segundo momento trata da caracterização dos temas a partir da lógica científica, ressaltando teorias, conceitos e definições, compreendidos como essenciais para a compreensão de questões relacionadas à tecnologia.

Nesse sentido, a abordagem definida por Auler (2003), configura uma excelente abertura para tratar as tecnologias como temas. Desta maneira, as

simulações computacionais podem ser trabalhadas na relação entre a escolha social e a especificação técnica. Essas duas qualidades são utilizadas para conceituar, o que Feenberg (2015), entende como o código técnico de uma tecnologia. No contexto em que são aplicadas, ainda é forte a percepção de que as aulas de ciências só têm a ganhar com a utilização de ferramentas tecnológicas. Especialmente com as simulações computacionais, que são ilustrativas, mas além disso elas compreendem uma vasta classe de tecnologias, indo de vídeos à realidade virtual (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Neste sentido, escolas privadas já vêm investindo em plataformas de ensino que, entre outras ferramentas, possuem acesso a simulações e laboratórios virtuais. Em comparação, é questionável o que instituições governamentais vêm fazendo com o ensino público. Portanto, o uso de simulações computacionais na escola pode ir além das possíveis vantagens para o ensino de ciências, englobando aspectos inclusivos da sociedade que cerca o indivíduo. Sendo assim, as próprias simulações devem ser alvo de uma análise crítica do seu uso em sala de aula. Professor e estudantes devem considerar quais aspectos podem ser negativos para o processo de ensino de aprendizagem.

Dentre estes aspectos, destaca-se que apesar do caráter motivador e interativo, as simulações são representações, nunca algo real. Baseada em modelos, a simulação muitas vezes é carregada de simplificações idealizadas para a demonstração de um processo, portanto, podem levar a concepções errôneas sobre os fenômenos estudados (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Outros pontos que podem ser abordados é quanto ao uso de simulações no desenvolvimento científico e tecnológico. Hoje já existem simulações em jogos que recriam uma gama de situações diferentes, outras já possuem aplicação médica ou puramente de entretenimento. Como parte de um futuro próximo, o fato é que a simulação computacional tende a ganhar cada vez mais espaço na sociedade em geral, e é pertinente que professores de ciências saibam como abordar não só este tema, mas toda a questão tecnológica, como parte de suas aulas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As preocupações que motivaram esse estudo proporcionaram o encaminhamento de perguntas, discussões e reflexões muito mais aprofundadas do que foi idealizado inicialmente. Essa trajetória foi essencial para indicar ações e relações associadas ao uso das simulações computacionais no Ensino de Física. Esse percurso partiu de uma perspectiva instrumental sobre a simulação, onde seria aplicada na intenção de compreender as relações teórico-práticas do seu uso com a Alfabetização Científica. Entretanto, os atalhos impostos pela própria natureza da pesquisa (e deste estudo em específico), novos horizontes teóricos foram assimilados, conseqüentemente apontando novas direções e novos objetivos: contextualizar a simulação computacional enquanto tecnologia a partir de uma revisão bibliográfica, baseado em um levantamento da produção acadêmica do uso de simuladores no Ensino de Física em periódicos nacionais.

No esforço de aproximar a visão dos autores sobre o uso de simulação computacional com a percepção de tecnologia, construída nas bases da Filosofia da Tecnologia, especificamente na Teoria Crítica da Tecnologia, e nos pressupostos teórico-metodológicos da AC, foi adotada a Revisão Bibliográfica como procedimento metodológico, baseada na análise textual com auxílio do Iramuteq.

Analisar as produções da área de Ensino de Física, implicou na estruturação da fundamentação teórica que busca integrar as reflexões da Teoria Crítica da Tecnologia com as percepções de tecnologia na Educação, buscando destacar como estas se relacionam com os objetivos propostos pela Alfabetização Científica. A seleção dos periódicos e artigos, a construção dos fichamentos, a organização do *corpus* para análise textual com o software e o estudo das simulações, permitiram identificar padrões e conexões com a fundamentação teórica escolhida.

A Teoria Crítica da Tecnologia proposta por Feenberg (2010; 2015; 2017), possibilitou identificar, nas fontes analisadas na Revisão Bibliográfica, a hegemonia instrumental com que as simulações são percebidas, assim como estruturas que indicam uma visão determinista da tecnologia. Auler & Delizoicov (2001), concebem a Alfabetização Científica e Tecnológica, segundo duas interpretações: a *reducionista* e a *ampliada*. Na perspectiva reducionista, a alfabetização em CT estabelece como objetivo a transmissão unidirecional do conhecimento científico. Os autores pontuam que nesse modelo, está implícito a tentativa de preservar e ampliar

o apoio fornecido à ciência, e destacam três princípios básicos: (i) o público é ignorante sobre questões científicas e tecnológicas, (ii) a visão de mundo oferecida pela ciência é considerada única e privilegiada e (iii) a ciência é retratada como uma atividade neutra, desprovida de valores (AULER, 2003).

Nesse sentido, a Teoria Crítica da Tecnologia está de acordo com a abordagem ampliada da ACT, pois Feenberg (2010; 2015), entende que a participação democrática no que diz respeito às decisões que guiam certo projeto tecnológico. As perspectivas dos pesquisadores contribuem para revelar como o instrumentalismo e o determinismo se manifestam nos discursos em atividades que fazem uso de simulações computacionais no Ensino de Física, por consequência, revelando a ideologia dominante que guia o uso das tecnologias.

As simulações são identificadas no ensino a partir de suas qualidades representacionais e como essas podem contribuir para o processo de aprendizagem. Na busca de engajar os alunos nas atividades, no geral, os autores destacam que as simulações computacionais possibilitam observar fenômenos, que de outra maneira, estariam inacessíveis aos alunos, entretanto as técnicas que reproduzem aspectos dos sistemas físicos naturais, passam por um processo de *descontextualização* e *sistematização*. Nessa interpretação da teoria da instrumentação de Feenberg (2010; 2015; 2017), são realçados as relações desses momentos com procedimentos de tomada de decisão, como a escolha da simulação, uma vez que os fenômenos são retirados de seus contextos naturais, explicados a partir de modelos matemáticos, enquanto a interação com o público escolar exige que a simulação se adeque a certos parâmetros, como visual e simplicidade.

A revisão bibliográfica possibilitou associar a seleção dos conceitos de Física abordados com a determinação dos simuladores. A predominância de atividades que simulam fenômenos relacionados à *Mecânica* e *Eletricidade e Magnetismo*, são justificados pela decisão de qual plataforma é utilizada. Nesse sentido, no ambiente PhET, as simulações relacionadas a esses dois conceitos são a grande maioria das que podem ser encontradas no site. Enquanto que no Modellus, a construção dos modelos baseados nesses conceitos é mais simples tanto na introdução das equações matemáticas quanto no desenho gráfico da interface utilizada pelo usuário. Nessa lógica, Feenberg (2010), destaca que a escolha de uma tecnologia

também implica a escolha de um estilo de vida, que condiciona práticas e as relações dos usuários com aspectos técnicos.

A análise textual foi dividida em dois momentos: no primeiro, foi possível identificar elementos das teorias que guiam as pesquisas, conseqüentemente guiando as atividades com as simulações computacionais, presentes nas concepções teóricas dos artigos. O estudo das palavras, segmentos de texto e respectivos contextos que estes aparecem, indicaram a predominância de termos relativos às posições teóricas da Aprendizagem Significativa. Nessa análise, duas classes foram interpretadas na relação com a dupla instrumentalização, onde a classe *Instrumental* corresponde a primeira instrumentalização, enquanto a *Operacional* se refere a instrumentalização secundária.

A segunda análise textual procurou investigar os resultados dos trabalhos levantados, de modo que fossem destacadas perspectivas que pudessem indicar conexões das falas dos autores com pressupostos teóricos que balizam as discussões da Alfabetização Científica. Assim, as classes foram interpretadas na relação com os três eixos estruturantes da AC. Desse modo, a análise evidenciou a sobreposição que o primeiro eixo possui em relação aos outros dois, mostrando que, mesmo partindo de perspectivas teóricas não tradicionais, a ênfase dada aos conceitos e definições é maior que às relações entre o conteúdo e a realidade concreta do indivíduo.

Nesse sentido, as simulações computacionais foram utilizadas a partir de uma perspectiva instrumental, onde as suas qualidades, associadas à modelagem matemática e ao desenho gráfico, são vistas como ferramentas para alcançar a Aprendizagem Significativa. Essa percepção também revela uma dimensão antropocêntrica das atividades mediadas por simulação computacional, sendo os alunos o elemento central na relação com a tecnologia.

Na aproximação das simulações com as abordagens da AC e ACT, foi percebido a falta de caracterizações teóricas da tecnologia, percebida na concepção linear, em que primeiro é feita ciência, para depois se produzir tecnologia. Nesse sentido, a abordagem definida por Auler (2003), configura uma excelente abertura para tratar as tecnologias como temas. Desta maneira, as simulações computacionais podem ser trabalhadas na relação entre a escolha social e a especificação técnica. Essas duas qualidades são utilizadas para conceituar, o que Feenberg (2015), entende como o código técnico de uma tecnologia.

Contudo, é importante destacar que as perspectivas, conexões e interpretações parte de um contexto muito específico, que é o das pesquisas em Ensino de Física relatadas em periódicos brasileiros. Como parte da conclusão, considera-se a importância do encaminhamento desta pesquisa, no sentido de construir e relatar as concepções, que os diversos agentes sociais envolvidos no processo educativo tem sobre as simulações computacionais, e as relações contextuais que estas estabelecem com a escola e a sociedade no geral.

REFERÊNCIAS

AULER, D; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, São Paulo, v. 7, n. 1, 2001.

AULER, D. Novos caminhos para a educação CTS: ampliando a participação. In: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. (Orgs.). **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora UnB, 2011. p. 73- 97.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científico-Tecnológica para quê? Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 3, n. 2, p. 122–134, dez. 2001.

AULER, D. Alfabetização Científico-Tecnológica: um novo “paradigma”? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 5, n. 1, p. 68–83, jun. 2003.

BARBOSA, C. D; GOMES, L. M; CHAGAS, M. L; FERREIRA, F. C. L. O uso de simuladores via *smartphone* no ensino de física: o experimento de Oersted. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 13, n. 1, p. 68-85, 2017.

Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/3358>. Acesso em: dez. 2020.

BARRETO, R. G. Tecnologia e Educação: Trabalho e Formação Docente. **Educação & Sociedade**. Campinas, vol. 25, n. 89, p. 1181-1201, Set./Dez. 2004.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

BROWN, K. L.; MUNRO, W. J.; KENDON, V. M. Using Quantum Computers for Quantum Simulation. **Entropy**, v. 12, n. 11, p. 2268–2307, 15 nov. 2010.

CARDOSO, S. O. O.; DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 29, n. esp. p. 891-934, 2012.

CARDOSO, D. C.; TAKAHASHI, E. K. Experimentação remota em atividades de ensino formal: um estudo a partir de periódicos Qualis A. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 11, n. 3, p. 185-204, 2011.

CARVALHO, A. et al. Objetos Digitais de Aprendizagem no Ensino de Física Básica: Um estudo de caso com simuladores virtuais em uma escola de ensino público estadual. **RENOTE**, v. 17, n. 3, p. 263–272, 31 dez. 2019.

CHASSOT, A. (Des)adjetivando a Ciência. In: CHASSOT, A. **Alfabetização Científica: questões e desafios para a educação**. Ijuí: Editora Unijuí, 2014. p. 41- 54.

CHASSOT, A. Buscando um ensino menos apolítico. In: CHASSOT, A. **Alfabetização Científica: questões e desafios para a educação**. Ijuí: Editora Unijuí, 2014. p. 99- 114.

COSTA, W. L.; RIBEIRO, R. F.; ZOMPERO, A. F. Alfabetização Científica: diferentes abordagens e alguns direcionamentos para o Ensino de Ciências. *Unopar Científica Ciências Humanas e Educação*. v. 16, n. 5, 2015.

CUPANI, A. **Filosofia da Tecnologia: um convite**. Florianópolis : Editora da UFSC, 2016.

CUNHA, R. B. Alfabetização científica ou letramento científico?: interesses envolvidos nas interpretações da noção de scientific literacy. **Revista Brasileira de Educação**, v. 22, n. 68, p. 169–186, mar. 2017.

DUARTE, S. E. Física para Ensino Médio usando simulações e experimentos de baixo custo: um exemplo abordando a dinâmica da rotação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 29, n. esp. p. 525-542, 2012.

FEENBERG, A. **A Teoria Crítica de Andrew Feenberg: racionalização democrática, poder e tecnologia**. Brasília: CDS/UnB/Capes, 2010.

FEENBERG, A. **Entre a Razão e a Experiência: ensaios sobre tecnologia e modernidade**. MITPress: Massachusetts, 2017..

FEENBERG, A. **Tecnologia, Modernidade e Democracia**. MITPress: Massachusetts, 2015.

FIGUEIRA, J. S. Easy Java simulations: modelagem computacional para o ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 613–618, dez. 2005.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 259–272, set. 2003.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 1974.

FREITAS, N. K. Representação, Simulação, Simulacro e Imagem na Sociedade Contemporânea. **Polêm!ca**, v. 12, n. 2, jun. 2013.

FREITAS, C. C. G.; SEGATTO, A. P. Ciência, tecnologia e sociedade pelo olhar da Tecnologia Social: um estudo a partir da Teoria Crítica da Tecnologia. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 12, n. 2, p. 302–320, jun. 2014.

GARCIA, B.; OLIVEIRA, A. P.; LORENZETTI, L.; ZANLORENZI, M. A. As pesquisas sobre Educação Ciência, Tecnologia e Sociedade/Ambiente e alfabetização científica e tecnológica socializadas no ENPEC (2011-2017). *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática*. v. 16, n. 37, p. 151-163, 2020.

GENOVESE, C. L. C.; GENOVESE, L. G. R; CARVALHO, W. L. P. Questões sociocientíficas: origens, características, perspectivas e possibilidades de implementação no ensino de ciências a partir dos anos iniciais do Ensino Fundamental. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, Belém, v. 15, n. 34, jul/dez, 2019.

GROSSI, M. G. R; COSTA, J. W; SANTOS, A. J. **A exclusão digital**: o reflexo da desigualdade social no Brasil. *Nuances, Presidente Prudente*, v. 24, n. 2, p. 68-85, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14572/nuances.v24i2.2480>. Acesso em: jan. 2021.

GRÜNE-YANOFF, T.; WEIRICH, P. The Philosophy and Epistemology of Simulation: A Review. **Simulation & Gaming**, v. 41, n. 1, p. 20–50, fev. 2010.

HECKLER, V.; SARAIVA, M. F. O.; OLIVEIRA, K. S. Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 29, n. 2, p. 267-273, 2007.

HORKHEIMER, M. Teoria Tradicional e Teoria Crítica. In: HORKHEIMER, M.; ADORNO, T. *Textos Escolhidos*, p. 31-68. São Paulo, Abril Cultural, 1983.

HURD, P. D. Scientific literacy: New minds for a changing world. **Science Education**, v. 82, n. 3, p. 407–416, jun. 1998.

KLEIN, D. R.; CANEVESI, F. C. S.; FEIX, A. R.; GRESELE, J. F. P.; WILHELM, E. M. de S. Tecnologia na educação: evolução histórica e aplicação nos diferentes níveis de ensino. *EDUCERE - Revista da Educação, Umuarama*, v. 20, n. 2, p. 279-299, jul./dez. 2020.

LAUGKSCH, R. C. Scientific literacy: A conceptual overview. **Science Education**, v. 84, n. 1, p. 71–94, jan. 2000.

LENHARD, J.; KÜPPERS, G.; SHINN, T. Computer Simulation: Practice Epistemology, and social dynamics. In: LENHARD, J.; KÜPPERS, G.; SHINN, T. **Simulation: pragmatic construction of reality**. Dordrecht: Springer, 2006.

LUNETTA, V. N.; HOFSTEIN, A. Simulations in science education. **Science Education**, v. 65, n. 3, p. 243–252, jul. 1981.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. DE. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 77–86, jun. 2002.

MARTINS, I. P; PAIXÃO M. F. Perspectivas atuais Ciência-Tecnologia-Sociedade no ensino e na investigação em educação em ciência. In: AULER, D. (org.). **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora UnB, 2011. p. 73- 97.

MILLER, J. D. Scientific Literacy: a Conceptual and Empirical Review. *Daedalus*. v. 112, n. 2, p. 29-48, 1983.

MILLER, J. D. The measurement of civic scientific literacy. *Public Understanding of Science*. 7, p. 203-223, 1998.

MITCHAM, C. **Thinking through technology: the path between engineering and philosophy**. Chicago: University of Chicago Press, 1994.

NOBRE, M. **A Teoria Crítica**. Rio de Janeiro: Zahar, 2004.

PECK, S. L. Simulation as experiment: a philosophical reassessment for biological modeling. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 19, n. 10, p. 530–534, out. 2004.

PEIXOTO, J. Tecnologia e mediação pedagógica: perspectivas investigativas. In: KASSAR, M. de C. M.; SILVA, F. de C. T. (Orgs.). *Educação e pesquisa no Centro-Oeste: políticas públicas e formação humana*. 1ed. Campo Grande: Editora da UFMS, 2012, v. 1, p. 283-294.

PEIXOTO, J. Relações entre sujeitos sociais e objetos técnicos uma reflexão necessária para investigar os processos educativos mediados por tecnologias. **Revista Brasileira de Educação**, v. 20, n. 61, p. 317–332, jun. 2015.

PIETROCOLA, M.; BROCKINGTON, G. Recursos Computacionais disponíveis na internet para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea. III Encontro Nacional de Educação Científica. 2003.

PIRAS, A.; GONZÁLES, D. A. A.; Jugando a la Pandemia entre los newsgames y la simulación lúdica. *Estudios Pedagógicos XLVI*. n. 3, p. 123-140, 2020.

REIS, G. DE A.; CAVALCANTE, L. V. DA S.; OLIVEIRA, E. C. O conceito de Alfabetização Científica e a possibilidade de interações entre cinco competências gerais da Base Nacional

Comum Curricular - BNCC. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e831986507, 31 jul. 2020.

RIBEIRO, L. C. L. C. et al. Sequência didática sobre genética utilizando Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) para alfabetização científica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e143921786, 1 jan. 2020.

ROSENBERG, N. A Historiografia do progresso técnico. In: **Por dentro da caixa-preta: Tecnologia e Economia**. Campinas: Unicamp, 2006.

ROSA, G. A. DA; TREVISAN, A. L. Filosofia da tecnologia e educação: conservação ou crítica inovadora da modernidade? **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 21, n. 3, p. 719–738, nov. 2016.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no Ensino de Ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. *Ciência & Ensino*. v. 1, n. esp. 2007.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. v. 2(2), p. 1-23, 2002.

SANTOS, E. O.; SILVA, I. P. DA. Revisão acerca do tema Simulações Computacionais no ensino de Química (2008 – 2017). **Debates em Educação**, v. 12, n. 27, p. 841, 22 jun. 2020.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, ANA MARIA P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, p. 59–77, 2011.

SHAMOS, M. H. **The myth of scientific literacy**. New Brunswick, N.J: Rutgers University Press, 1995.

SOARES-LEITE, W. S.; NASCIMENTO-RIBEIRO, C. A. A inclusão das TICs na educação brasileira: problemas e desafios. **Magis**, v. 5, n. 10, p. 173–187, 2012.

SOUSA, F.; TRAVAIN, S.; ASSIS, G. **Simulação: Plataforma Web de Simuladores Voltados ao Ensino de Física**. Anais do XXX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2019). **Anais...** In: XXX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION). Brasília, Distrito Federal, Brasil: Brazilian Computer Society (Sociedade Brasileira de Computação - SBC), 11 nov. 2019. Disponível em: <<https://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/8751>>. Acesso em: 3 nov. 2021

SOARES-LEITE, W. S.; NASCIMENTO_RIBEIRO, C. A. do (2012). A inclusão das TICs na educação brasileira: problemas e desafios. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 5 (10), 173-187.

SOUZA, A. C. L.; GONÇALVES, C. B. O uso de Tecnologias na Educação e no Ensino de Ciências a partir de uma pesquisa bibliográfica. *Revista da Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática*. v. 7, n. 3, set/dez 2019.

TEIXEIRA, F. M. Alfabetização científica: questões para reflexão. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 19, n. 4, p. 795–809, 2013.

VIEIRA, L. P.; AGUIAR, C. E. Verificação da Lei de Malus com um smartphone. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009.

VINTURI, E. F.; VECCHI, R. O.; IGLESIAS, A.; GHILARDI-LOPES, N. P. Sequências Didáticas para a promoção da Alfabetização Científica: relato de experiência com alunos do Ensino Médio. *Experiências em Ensino de Ciências*. v. 9, n. 3, 2014.

VIZZOTTO, P. A.; PINO, J. C. D. O uso do teste de Alfabetização Científica básica no Brasil: uma revisão da literatura. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 22, p. e15846, 2020.

WALSH, T. Creating interactive physics simulations using the power of GeoGebra. **The Physic Teacher**. 55, 2017.

WIEMAN, C. E.; PERKINS, K. K.; ADAMS, W. K. Oersted Medal Lecture 2007: Interactive simulations for teaching physics: What works, what doesn't, and why. **American Journal of Physics**, v. 76, n. 4, p. 393–399, abr. 2008.

WINSBERG, E. Simulations, models, and theories: complex physical systems and their representations. **Philos. Sci.** v. 68, p. 442–454, 2001.

WINSBERG, E. Simulated experiments: methodology for a virtual world. **Philos. Sci.** v. 70, p. 105–125, 2007.

APÊNDICE I

Relação dos artigos selecionados para a revisão.

ANDRADE, M. A.; COSTA, S. S.C. O uso de simulações computacionais pra o ensino de Óptica no Ensino Médio. v. 1 n. 2, 2006.

BALEN, O.; NETZ, P. A. Simulação no ensino de modelos de sistemas gasosos. Acta Scientiae. v. 7, n. 2, p. 29-39. jul/dez 2005.

CARDOSO, S. O. O.; DICKMAN, A. G. Simulação Computacional aliada à Teoria da Aprendizagem Significativa: uma ferramenta para Ensino e Aprendizagem do Efeito Fotoelétrico. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. 2012.

FANARO, M. A.; OTERO, M. R.; MOREIRA, M. A. Teoremas-en-acto y conceptos-enacto en dos situaciones relativas a la noción de sistema cuántico. Rev. bras. de Pesquisa em Educação em Ciências. v. 9, n. 3. 2009.

FANARO, M. A.; OTERO, M. R.; ARLEGO, M. Teaching the foundations of quantum mechanics in secondary school: a proposed conceptual structure. Investigações em Ensino de Ciências. v. 14, n. 1. 2009.

FERREIRA, J. V.; ANDRÉS, M. Un Módulo con simulaciones interactivas didácticas para la comprensión conceptual de un modelo físico en un trabajo de laboratorio de física en la universidad. Investigações em Ensino de Ciências, v. 23, n. 1, abr. 2018.

FERREIRA, V. A.; BOS, A. S.; TAROUCO, L. M. R.; BECKER, F. Operatoriedade cognitiva e experimentação virtual imersiva de Eletricidade. Novas Tecnologias na Educação. v. 17, n. 1, 2019.

FERREIRA, V. A.; DIAS, L. F.; FERREIRA, V. L. D. Modelagem Computacional Semiquantitativa de Sistemas Físicos: Uma experiência no Ensino Médio. Revista Novas Tecnologias na Educação, Porto Alegre, v.13 n.1, jul. 2015.

GONZALES, E. G.; ROSA, P. R. S. Aprendizagem Significativa de conceitos de circuitos elétricos utilizando um ambiente virtual de ensino por alunos da educação de jovens e adultos. Investigações em Ensino de Ciências. v.19 , n. 2, p. 477-504, 2014.

MACÊDO, J. A.; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S.F. Simulações Computacionais como ferramentas para o Ensino de conceitos básicos de Eletricidade. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.29 n.esp.1, p.562-613, set. 2012.

MENDES, J. F.; COSTA, I. F.; SOUSA, C. M.S.G. O uso do software Modellus na integração entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais de tópicos de mecânica. Revista Brasileira de Ensino de Física, Brasília, v.34 n.1, 2012.

MENDES, E. S.; REHFELDT, M. J. H. NEIDE, I. G. Exploração de simulações como forma de estimular o aprendizado de conceitos da Cinemática Escalar. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia. v. 10, n. 2, p. 1-29, 2017.

MONTEIRO, M. A. A.; MONTEIRO, I. C. C.; GERMANO, J. S. E. A utilização de recursos multimídias em aulas de Física a partir do referencial teórico de Vigotski. REVISTA CIÊNCIAS & IDEIAS. v. 1, n. 1, out/mar 2009.

MOREIRA, L. P. B. SERRANO, A. Representações Mentais de Concepções Espontâneas dos Estudantes após utilização de Softwares. *Novas Tecnologias na Educação*. v. 11, n. 13, 2013.

MORO, F. T.; NEIDE, I. G.; REHFELDT, M. J. H. Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 33, n. 3, p. 987-1008, 2016.

NASCIMENTO, N. R.; BARROS, M. P. Dos casarões às edificações sustentáveis: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a Física Térmica. *Experiências em Ensino de Ciências*. v. 15, n. 2, 2020.

NASCIMENTO, R. D.; GOMES, A. D.T. A relação entre Conhecimento Conceitual e o Desempenho de Estudantes em Atividades Investigativas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 18, n. 3, dez. 2018.

NETO, P. A. F.; MOURA, F. A. G. A.; RIBEIRO, G. P. Simulação de energia fotovoltaica: uma sequência didática alternativa para o ensino da eletrodinâmica. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*. v. 11, n. 4, p. 311-332, 2020.

NETO, J. S.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do interferômetro de Mach-Zehnder. *Rev. bras. de Ensino de Física*. 2011.

NETTO, J. S.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Dificuldades e Estratégias para a compreensão do conceitos de Emaranhamento Quântico: Um estudo na formação inicial de professores. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. v. 36, n.1, 2019.

PAULA, H. F.; TALIM, S. L. Uso coordenado de Ambientes Virtuais e outros recursos mediacionais no Ensino de Circuitos Elétricos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Belo Horizonte, v.29 n.esp.1, p.614-650, 2012.

PEIXOTO, D. E. Ambiente de aprendizagem aprimorado por tecnologia (TEAL): perspectivas atuais para o Ensino de Física. *Experiências em Ensino de Ciências*. v. 15, n. 2, 2020.

PIEPER, F. C. ANDRADE NETO, A. S. Evidências da emergência de drivers hiperculturais durante o aprendizado de conceitos de eletromagnetismo em alunos do Ensino Médio após a utilização de simulações computacionais. *Acta Scientiae*, Canoas, v.17 n.3, p.792-812, set/dez. 2015.

PESSANHA, M. PIETROCOLA, M. O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em um design. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. v. 16, n. 2, p. 361-388, 2016.

REBELLO, A. P.; RAMOS, M. G. Simulação Computacional e Maquetes na Aprendizagem de Circuitos Elétricos: um olhar sobre a sala de aula. \b *Experiências em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.4 n.1, p. 23-33, 2009.

ROCHA, J. R.; ANDRADE NETO, A. S. Um Estudo de Caso exploratório sobre a internalização de conceitos sobre eletrostática: A influência da Hipercultura e Mediação Digital, v. 11 n. 3, 2013.

RODRIGUES, J. J. V. Contribuições para a compreensão do campo magnético por meio de simulações e atividades experimentais integradas. *Revista Tecnologias na Educação*. v. 19, 2017.

RODRIGUES, J. J. V.; NEIDE, I. G. Contribuições para o entendimento da indução eletromagnética por meio de atividades experimentais e computacionais integradas. *Experiências em Ensino de Ciências*. v. 13, n. 1, 2018.

RODRIGUES, J. J. V.; QUARTIERI, M. T.; MARCHI, M. I.; PINO, J. C. Simulações computacionais e mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa. *Experiências em Ensino de Ciências*. v. 13, n. 5, 2018.

SANTOS, J. C.; DICKMAN, A. G. Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 41, n. 1, 2019.

SCHIMIGUEL, J. SANCHES, W. E. ANDREASI, M. R. SIQUEIRA, P. H. A Aplicação de Animações no Ensino de Física. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, Porto Alegre, v.11 n.1, jul.2013.

SERRANO, A.; ENGEL, V. Uso de Simuladores no Ensino de Física: Um estudo da produção Gestual de Estudantes Universitários. *Novas Tecnologias na Educação*. 2012.

SERRANO, A. WOLFF, J. F.S. A Influência das Simulações no Aprendizado de Colisões Mecânicas em Física. *Acta Scientiae*, Canoas, v.16 n.4, p.25-46, 2014.

SILVA, N. C. Laboratório Virtual de Física Moderna: sistema para Espectrometria Gama. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v.32 n.2, p.542-562, ago. 2015.

SOARES, A. A.; MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G. Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 32, n. 2, 2015.

SOUSA, J. M.; MALHEIROS, A. P. S.; FIGUEIREDO, N. Desenvolvendo práticas investigativas no Ensino Médio: o uso de um Objeto de Aprendizagem no estudo da Força de Lorentz. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 32, n. 3, 2015

SOUZA, E. J.; MELLO, L. A. O uso de jogos e simulação computacional como instrumentos de aprendizagem: campeonato de aviões de papel e o ensino de Hidrodinâmica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 34, n. 2, p. 530-554, ago.2017.

VARGAS, J. S.; GOBARA, S. T. Elaboração e utilização de Sinais de Libras para os conceitos de Física: Aceleração, Massa e Força. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*. v.8, jan-abr. 2015.

VASCONCELOS, C. O. L.; LEÃO, M. F. Uso de experimentos com material concreto e simulações PhET no estudo de cinemática na Educação de Jovens e Adultos. *Revista Tecnologias na Educação*. v. 23, dez 2017.

VERBENO, C. H.S.; SILVA, R. M.A.; MAZIERO, R.; GOMES, T. S.; FERRACIOLI, L. A Modelagem no Ensino de Física: Um Estudo Exploratório sobre o Oscilador Harmônico Simples. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, Ponta Grossa, v.9 n.2, p.24-42, mai-ago. 2016.

WEISS, J. M.; ANDRADE NETO, A. S. Uma Investigação a respeito da utilização de Simulações Computacionais no Ensino de Eletrostática. *Experiências em Ensino de Ciências*, Canoas, v.1, n.1, p.43-54, 2006.

YAMAMOTO, I.; BARBETA, V. Simulações de Experiências como Ferramentas de Demonstração Virtual em Aulas de Teoria de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 2, jun. 2001.

APÊNDICE II

Artigo	Ano	Periódico	Autores	Área	Nível	Conteúdo	Simulador	Fundamentação Teórica	Código Iramuteq
1	2001	Rev. bras. de Ensino de Física	YAMAMOTO, I.; BARBETA, V.	Física	Superior	Mecânica	Interactive Physics	Tradicional	**** *artigo_01 *ano_2001 *per_10 *Q_1 *sim_5
2	2005	Acta Scientiae	BALEN, O.; NETZ, P. A.	Física	Superior	Calor e Termodinâmica	Modellus	Mudança Conceitual	**** *artigo_02 *ano_2005 *per_01 *Q_1 *sim_7
3	2006	Experiências em Ensino de Ciências	WEISS, J. M.; ANDRADE NETO, A. S.	Física	Médio	Eletricidade e Magnetismo	Modellus	Mudança Conceitual	**** *artigo_03 *ano_2006 *per_17 *Q_2 *sim_7
4	2006	Experiências em Ensino de Ciências	ANDRADE, M. A.; COSTA, S. S.C.	Física	Médio	Luz e Visão	Software autoral	Modelos Mentais e Modelos Conceituais	**** *artigo_04 *ano_2006 *per_17 *Q_2 *sim_9
5	2009	Ciência & Ideias	MONTEIRO, M. A. A.; MONTEIRO, I. C. C.; GERMANO, J. S. E.	Física	Médio	Mecânica	Interactive Physics	Teoria sócio-histórica	**** *artigo_05 *ano_2009 *per_22 *Q_2 *sim_5
6	2009	Experiências em Ensino de Ciências	REBELLO, A. P.; RAMOS, M. G.	Física	Médio	Eletricidade e Magnetismo	Crocodile Physics	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_06 *ano_2009 *per_17 *Q_2 *sim_2
7	2009	Rev. bras. Pesquisa em Educação em Ciências	FANARO, M. A.; OTERO, M. R.; MOREIRA, M.	Física	Médio	Física Quântica	Doppelspalt	Campos Conceituais	**** *artigo_07 *ano_2009 *per_11 *Q_1 *sim_3
8	2009	Investigações em Ensino de Ciências	FANARO, M. A.; OTERO, M. R.; ARLEGO, M.	Física	Médio	Física Quântica	Doppelspalt	Estruturas Conceituais	**** *artigo_08 *ano_2009 *per_07 *Q_1 *sim_3
9	2011	Rev. bras. de Ensino de Física	NETO, J. S.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.	Física	Médio/Técnico	Física Quântica	Mach-Zehnder	Construtivismo	**** *artigo_09 *ano_2011 *per_05 *Q_1 *sim_6
10	2012	Novas Tecnologias na Educação	SERRANO, A.; ENGEL, V.	Física	Superior	Física Quântica	Modellus/Mach-Zehnder	Campos Conceituais	**** *artigo_10 *ano_2012 *per_24 *Q_2 *sim_67
11	2012	Caderno bras. de Ensino de Física	MACÊDO, J. A.; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S.F.	Física	Médio	Eletricidade e Magnetismo	Phet	Momentos Pedagógicos	**** *artigo_11 *ano_2012 *per_04 *Q_1 *sim_8
12	2012	Caderno bras. de Ensino de Física	PAULA, H. F.; TALIM, S. L.	Física	Médio/Técnico	Eletricidade e Magnetismo	Phet	Teoria sócio-histórica	**** *artigo_12 *ano_2012 *per_04 *Q_1 *sim_8
13	2012	Caderno bras. de Ensino de Física	CARDOSO, S. O. O.; DICKMAN, A. G.	Física	Médio	Física Quântica	Phet	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_13 *ano_2012 *per_04 *Q_1 *sim_8
14	2012	Rev. bras. de Ensino de Física	MENDES, J. F.; COSTA, I. F.; SOUSA, C. M.S.G.	Física	Médio	Mecânica	Modellus	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_14 *ano_2012 *per_05 *Q_1 *sim_7
15	2013	Novas Tecnologias na Educação	SCHIMIGUEL, J. SANCHES, W. E. ANDREASI, M. R. SIQUEIRA, P. H.	Física	Médio	Mecânica	Software autoral	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_15 *ano_2013 *per_24 *Q_2 *sim_9

16	2013	Novas Tecnologias na Educação	ROCHA, J. R.; ANDRADE NETO, A. S.	Física	Superior	Eletricidade e Magnetismo	Phet	Campos Conceituais	**** *artigo_16 *ano_2013 *per_24 *Q_2 *sim_8
17	2013	Novas Tecnologias na Educação	MOREIRA, L. P. B. SERRANO, A.	Física	Superior	Eletricidade e Magnetismo	Phet	Campos Conceituais	**** *artigo_17 *ano_2013 *per_24 *Q_2 *sim_8
18	2014	Acta Scientiae	SERRANO, A. WOLFF, J. F.S.	Física	Superior	Mecânica	Modellus	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_18 *ano_2014 *per_01 *Q_1 *sim_7
19	2014	Investigações em Ensino de Ciências	GONZALES, E. G.; ROSA, P. R. S.	Física	Médio/EJA	Eletricidade e Magnetismo	Modellus	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_19 *ano_2014 *per_07 *Q_1 *sim_7
20	2015	Rev. bras. de Ensino de Ciência & Tecnologia	VARGAS, J. S.; GOBARA, S. T.	Física	Médio	Mecânica	Phet	Teoria sócio-histórica	**** *artigo_20 *ano_2015 *per_09 *Q_1 *sim_8
21	2015	Novas Tecnologias na Educação	FERREIRA, V. A.; DIAS, L. F.; FERREIRA, V. L. D.	Física	Médio	Modelagem	WlinkIt	Modelagem Computacional Semiquantitativa	**** *artigo_21 *ano_2015 *per_24 *Q_2 *sim_9
22	2015	Acta Scientiae	PIEPER, F. C. ANDRADE NETO, A. S.	Física	Superior	Eletricidade e Magnetismo	FallingMagnet	Mediação Cognitiva	**** *artigo_22 *ano_2015 *per_01 *Q_1 *sim_9
23	2015	Caderno bras. de Ensino de Física	SILVA, N. C.	Física	Superior	Física Nuclear	Software autoral	Tradicional	**** *artigo_23 *ano_2015 *per_04 *Q_1 *sim_9
24	2015	Caderno bras. de Ensino de Física	SOARES, A. A.; MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G.	Física	Médio	Física Nuclear	Phet	Teoria sócio-histórica	**** *artigo_24 *ano_2015 *per_04 *Q_1 *sim_8
25	2015	Caderno bras. de Ensino de Física	SOUSA, J. M.; MALHEIROS, A. P. S.; FIGUEIREDO, N.	Física	Médio	Eletricidade e Magnetismo	Cienciamao	Objeto de Aprendizagem	**** *artigo_25 *ano_2015 *per_04 *Q_1 *sim_9
26	2016	Revista bras. de Ensino de Ciência e Tecnologia	VERBENO, C. H.S.; SILVA, R. M.A.; MAZIERO, R.; GOMES, T. S.; FERRACIOLI, L.	Física	Médio	Mecânica	SQRLab	Quantitativa	**** *artigo_26 *ano_2016 *per_09 *Q_1 *sim_9
27	2016	Revista bras. de Pesquisa em Educação em Ciências	PESSANHA, M. PIETROCOLA, M.	Física	Médio	Física Nuclear	Simulações	Design-based research	**** *artigo_27 *ano_2016 *per_11 *Q_1 *sim_9
28	2016	Caderno bras. de Ensino de Física	MORO, F. T.; NEIDE, I. G.; REHFELDT, M. J. H.	Física	Médio	Calor e Termodinâmica	Phet/ Energy2D	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_28 *ano_2016 *per_04 *Q_1 *sim_84
29	2017	Revista bras. de Ensino de Ciência e Tecnologia	MENDES, E. S.; REHFELDT, M. J. H. NEIDE, I. G.	Física	Médio	Meca	Modellus	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_29 *ano_2017 *per_09 *Q_1 *sim_7
30	2017	Rev. Tecnologias na Educação	RODRIGUES, J. J. V.	Física	Médio/Técnico	Eletricidade e Magnetismo	Phet	Teoria sócio-histórica	**** *artigo_30 *ano_2017 *per_20 *Q_2 *sim_8
31	2017	Rev. Tecnologias na Educação	VASCONCELOS, C. O. L.; LEÃO, M. F.	Física	Médio/EJA	Mecânica	Phet	Tradicional	**** *artigo_31 *ano_2017 *per_20 *Q_2 *sim_8

32	2017	Caderno bras. de Ensino de Física	SOUZA, E. J.; MELLO, L. A.	Física	Médio	Mecânica	Modellus	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_32 *ano_2017 *per_04 *Q_1 *sim_7
33	2018	Experiências em Ensino de Ciências	RODRIGUES, J. J. V.; NEIDE, I. G.	Física	Médio/Técnico	Eletricidade e Magnetismo	Não identificado	POE	**** *artigo_33 *ano_2018 *per_17 *Q_2 *sim_9
34	2018	Experiências em Ensino de Ciências	RODRIGUES, J. J. V.; QUARTIERI, M. T.; MARCHI, M. I.; PINO, J. C.	Física	Médio/Técnico	Mecânica	Phet	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_34 *ano_2018 *per_17 *Q_2 *sim_8
35	2018	Rev. bras. de Pesquisa em Educação em Ciências	NASCIMENTO, R. D.; GOMES, A. D.T.	Física	Médio	Mecânica / Calor e Termodinâmica	Software autoral	Conhecimento Conceitual	**** *artigo_35 *ano_2018 *per_11 *Q_1 *sim_9
36	2018	Investigações em Ensino de Ciências	FERREIRA, J. V.; ANDRÉS, M.	Física	Superior	Eletricidade e Magnetismo	Software autoral	Campos Conceituais	**** *artigo_36 *ano_2018 *per_07 *Q_1 *sim_9
37	2019	Novas Tecnologias na Educação	FERREIRA, V. A.; BOS, A. S.; TAROUÇO, L. M. R.; BECKER, F.	Física	Médio	Eletricidade e Magnetismo	3D OpenSim	Epistemologia Genética	**** *artigo_37 *ano_2019 *per_24 *Q_2 *sim_1
38	2019	Rev. bras. de Pesquisa em Educação em Ciências	NETTO, J. S.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F.	Física	Superior	Física Quântica	Mach-Zehnder	Teoria sócio-histórica	**** *artigo_38 *ano_2019 *per_11 *Q_1 *sim_6
39	2019	Rev. bras. de Ensino de Física	SANTOS, J. C.; DICKMAN, A. G.	Física	Médio	Eletricidade e Magnetismo	Phet	Tradicional	**** *artigo_39 *ano_2019 *per_10 *Q_1 *sim_8
40	2020	Rev. de Ensino de Ciências e Matemática	NETO, P. A. F.; MOURA, F. A. G. A.; RIBEIRO, G. P.	Física	Médio	Eletricidade e Magnetismo	SunData	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_40 *ano_2020 *per_13 *Q_1 *sim_9
41	2020	Experiências em Ensino de Ciências	NASCIMENTO, N. R.; BARROS, M. P.	Física	Médio	Calor e Termodinâmica	Energy2D	Aprendizagem Significativa	**** *artigo_41 *ano_2020 *per_17 *Q_2 *sim_4
42	2020	Experiências em Ensino de Ciências	PEIXOTO, D. E.	Física	Médio	Eletricidade e Magnetismo	Phet	Metodologias Ativas	**** *artigo_42 *ano_2020 *per_17 *Q_2 *sim_8