

## Instrumentalização e simulações computacionais no ensino de Física: uma revisão de literatura apoiada na teoria crítica da tecnologia<sup>+,\*</sup>

---

*Ângelo Antônio Santos de Oliveira<sup>1</sup>*

Escola Sesi Campinas

Goiânia – GO

*Cinthia Leticia Carvalho Roversi Genovese<sup>1</sup>*

*Luiz Gonzaga Roversi Genovese<sup>1</sup>*

Universidade Federal de Goiás

Goiânia – GO

### Resumo

No Ensino de Física há uma percepção difusa de que características associadas às tecnologias são imediatamente transpostas para atividades em sala de aula. Com as Simulações Computacionais (SC) não é diferente. Muitas vezes enaltecidas por seu fácil acesso e uso interativo, parece faltar uma fundamentação teórica que dê sustentação ao seu uso. Neste sentido, esta pesquisa parte do ponto de vista da Teoria Crítica da Tecnologia para construir uma revisão de literatura em periódicos da área de Ensino de Ciências, que buscou caracterizar e problematizar referenciais teóricos que guiam os usos das SC enquanto tecnologia para o Ensino de Física. 42 artigos foram selecionados e formaram o corpus textual, que foi posteriormente analisado por meio do software de análise textual IRAMUTEQ (Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires). A análise textual via IRAMUTEQ revelou que as SC são predominantemente abordadas como ferramentas neutras, com forte associação à teoria da Aprendizagem Significativa. Contudo, identificou-se a partir da leitura da Teoria Crítica da Tecnologia, potenciais práticas de ressignificação das SC, integrando dimensões técnicas e sociais no ensino de Física.

---

<sup>+</sup> Computational simulations in Physics teaching: a literature review supported by the critical theory of technology

\* Recebido: 19 de julho de 2023.

Aceito: 13 de abril de 2025.

<sup>1</sup> E-mails: [angeloantonio@discente.ufg.br](mailto:angeloantonio@discente.ufg.br); [cinthialeticia@ufg.com.br](mailto:cinthialeticia@ufg.com.br); [lgenovese@ufg.com.br](mailto:lgenovese@ufg.com.br)

**Palavras-chave:** *Simulações Computacionais; Teoria Crítica da Tecnologia; Análise Textual; IRAMUTEQ; Ensino de Física.*

## **Abstract**

*In Physics Teaching, there is a diffuse perception that characteristics associated with technologies are immediately transferred to classroom activities. The same applies to Computer Simulations (CS). Often praised for their easy access and interactive use, there seems to be a lack of theoretical foundation to support their use. In this sense, this research adopts the standpoint of Critical Theory of Technology to conduct a literature review in scientific journals in the field of Science Education, aiming to characterize and problematize the theoretical frameworks that guide the use of CS as a technology for Physics Teaching. Forty-two articles were selected and formed the textual corpus, which was subsequently analyzed using the textual analysis software IRAMUTEQ (Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires). Textual analysis using IRAMUTEQ revealed that Computer Simulations (CS) are predominantly approached as neutral tools, with strong associations to Meaningful Learning theory. However, Critical Theory of Technology suggests potential practices for re-signifying CS, integrating technical and social dimensions in Physics Teaching.*

**Keywords:** *Computer Simulations; Critical Theory of Technology; Textual Analysis; IRAMUTEQ; Physics Teaching.*

## **I. Introdução**

Tecnologias são marcas temporais e espaciais que se manifestam no conhecimento sistematizado, na arte, na economia, na natureza e nas relações sociais, seja pela aceleração que promovem (Rosa, 2019), seja pelo alcance que permitem (Castells, 1999), ou ainda, pelas transformações extremas que realizam (Hobsbawm, 1995).

Desta maneira, há estudos centrados na análise das relações entre diferentes esferas da atividade humana e as tecnologias, como também aqueles voltados à compreensão de como essas interações moldam ou não as tecnologias e seus significados. Em boa medida, tais estudos se apoiam num campo de conhecimento denominado Filosofia da Tecnologia que procura caracterizar analítica, ética, política, estética e metodologicamente o fenômeno humano de fazer objetos e eventos segundo regras para resolver problemas o mais eficazmente possível, baseadas na *techné* (Bunge, 2000; 2013).

Mitcham (1994), um dos fundadores dessa disciplina, apoiado em outros estudiosos (Ernest Kapp, Friedrich Dessauer, Juan David Garcia Bacca, Lewis Mumford, José Ortega y Gasset, Martin Heidegger, Jacques Ellul e muitos outros), apresenta quatro modos de manifestação da tecnologia, a saber, conhecimento tecnológico, volição tecnológica, objetos tecnológicos (artefatos) e atividades tecnológicas (produção e uso)<sup>2</sup>, sintetizados na Fig. 1.

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, enfatizando o aspecto humano da tecnologia.

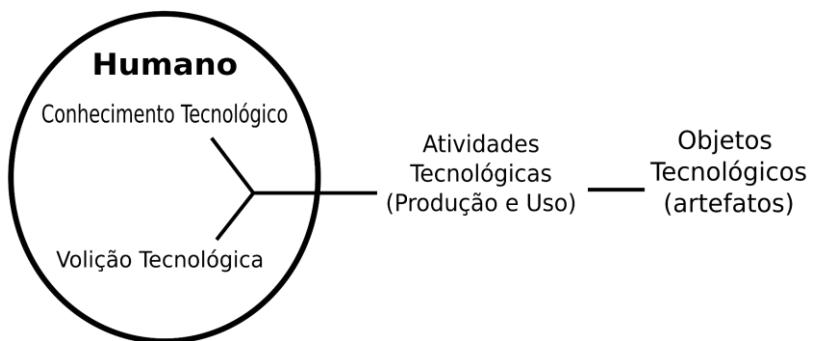


Fig. 1 – Modos de manifestação da tecnologia segundo Mitcham (1994).

Nessa compreensão, a tecnologia, por ser um empreendimento humano, constrange e promove determinadas atitudes na sua interação com os sujeitos e o meio, sendo, portanto, uma prática social, assim como o Ensino de Física. Este, também é influenciado e influencia as tecnologias, pois as práticas educativas no interior do Ensino de Física estão cada vez mais permeadas por tecnologias, principalmente as digitais, que, muitas vezes, prometem revolucionar as atividades em sala de aula, como é o exemplo das Simulações Computacionais (SC<sup>3</sup>) (Medeiros; Medeiros, 2002; Moro; Neide; Rehfeldt, 2016; Dias; Castro; Coelho, 2021). É possível perceber a influência de Cientistas e Engenheiros nesse processo, haja vista que há tempos utilizam simulações como modelos para analisar e lidar com os fenômenos naturais e sociais.

<sup>2</sup> *Conhecimento Tecnológico*: 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. *Volição Tecnológica*: determinada atitude ou propósito do ser humano na sua relação com a realidade e tecnologia. *Objetos tecnológicos*: artefatos materiais, como ferramentas, máquinas e outros produtos. *Atividade tecnológica*: evento no qual o conhecimento e a vontade se unem para trazer os artefatos para a existência ou para usá-los (Mitcham, 1994).

<sup>3</sup> A sigla SC foi empregada para tornar a leitura fluída, contudo, quando o *design* metodológico exigiu rigor e cuidado analítico, as expressões “simulação”, “simulações”, “computacional”, “computacionais”, “simulação computacional” e “simulações computacionais” foram utilizadas neste estudo.

No Ensino de Ciências, Lunetta e Hofstein (1981) apontam que o desenvolvimento e aplicação das SC correspondem a uma variedade de situações. Alguns exemplos podem ser encontrados em programas de treinamento, como os de pilotos de avião, astronautas e na formação de condutores de veículos, ou na forma de entretenimento, como jogos e outras mídias. É comum que no Ensino de Ciências sejam usadas como forma de ilustrar conceitos, fenômenos e sistemas complexos, limitando seu uso a uma abordagem instrumental (Lunetta; Hofstein, 1981; Medeiros; Medeiros, 2002).

Com o uso dos computadores poderosos, as SC ganharam novo patamar, mas também passaram a ser definidas como uma representação de um sistema que pode ser modelado matematicamente por meio de fórmulas ou algoritmos. Contudo, elas podem ser compreendidas por outras dimensões da relação do sujeito com a SC (Lunetta; Hofstein, 1981).

As SC, embora frequentemente definidas como representações matemáticas de sistemas modelados por algoritmos e equações, não podem ser reduzidas apenas a um recurso técnico ou instrumental. Conforme discutido por Winsberg (1999; 2001), sua complexidade metodológica exige uma reflexão epistemológica que vai além da simples confiabilidade dos cálculos. As SC não apenas substituem soluções analíticas por cálculos numéricos, mas também transformam estruturas teóricas em conhecimento aplicável a sistemas físicos específicos, o que implica um processo ativo de construção do conhecimento científico. Assim, longe de serem mera imitações da realidade, as SC operam como instrumentos de mediação entre teoria e experimento, demandando um olhar crítico sobre seus pressupostos, limitações e impactos na produção do saber.

Os processos de ensino e aprendizagem proporcionam para os alunos e professores situações problemáticas, baseadas na realidade, que implicam a participação ativa no desenvolvimento, problematização, tomada de decisão e resolução. Nessa perspectiva, as SC no Ensino de Ciências se tornam um processo criativo de interação com modelos que representam algum aspecto da realidade (Lunetta; Hofstein, 1981).

No geral, no Ensino de Física é destacado o papel fundamental dos laboratórios no processo de aprendizagem e, no computador, essa importância é demonstrada nos estudos que buscam refletir sobre aspectos experimentais por meio das SC (Wieman *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2019). Apesar de existir a compreensão de que a experimentação no ensino não pode ser substituída pelos simuladores, não é raro que argumentos como praticidade, personalização, interatividade e baixo custo, sejam utilizados para defender o uso da SC como alternativa aos laboratórios (Yamamoto; Barbeta, 2001; Andrade; Costa, 2006; Mendes; Costa; Sousa, 2012).

Com essa expectativa, alguns professores vêm empregando as SC, na crença de que atividades realizadas no computador possam prover o ambiente ideal para um ensino personalizado, adequando-se ao ritmo individual dos alunos (Medeiros; Medeiros, 2002).

Mediante o exposto, é apropriado que busquemos investigar quais são as perspectivas teóricas que guiam as pesquisas que fazem uso das SC no Ensino de Física e se elas favorecem a superação da visão instrumentalista. Assim, esta pesquisa objetiva ampliar a compreensão do

uso das SC, contribuindo para a sua caracterização enquanto tecnologia e como elas se relacionam com os aspectos teóricos defendidos pelos autores de artigos publicados em periódicos especializados.

Nesse sentido, busca-se responder à pergunta: Quais e como referenciais teóricos têm guiado as pesquisas na área de Ensino de Física que fazem uso das SC? Para tanto, foi realizado um levantamento bibliográfico em periódicos da área de Ensino de Ciências e Tecnologia, de modo a identificar e agrupar um conjunto de artigos que contemplam a temática SC no Ensino de Física. Esse conjunto de artigos compuseram *o corpus textual*, que foi tratado e, posteriormente, analisado à luz da análise textual com auxílio do software IRAMUTEQ.

Neste momento, é significativo destacar que a reflexão sobre a análise oriunda do software IRAMUTEQ se deu a partir de um ponto de vista particular sobre a tecnologia: a Teoria Crítica da Tecnologia, apresentada na seção a seguir.

## II. Teoria Crítica da Tecnologia

Mitcham (1994), a partir de seus estudos sobre o controle humano da tecnologia, sinaliza a prevalência de uma visão instrumental quando as análises do fabrico e do uso da tecnologia estão centradas nos objetos que, por sua vez, determinam os sujeitos. Situação que se modifica quando os aspectos de fabrico e uso da tecnologia estão centrados na volição, de tal maneira que se passa de uma visão passiva e unilateral para uma mais crítica e dialética entre os sujeitos e os produtos técnicos; o que permite levantar questionamentos sobre o determinismo e a autonomia da tecnologia.

Feenberg (2015), um dos representantes da perspectiva crítica da tecnologia, argumenta que na tradição contemporânea da filosofia da tecnologia, existem quatro abordagens que caracterizam a relação entre valores e poderes humanos com as tecnologias. Abordagens essas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Perspectivas contemporâneas de Tecnologia.

A Tecnologia é:	Autônoma	Controlada Humanamente
Neutra (separação completa dos meios e fins)	<b>Determinismo</b> (teoria da modernização)	<b>Instrumentalismo</b> (fé liberal no progresso)
Valorativa (os meios formam um modo de vida que inclui os fins)	<b>Substantivismo</b> (meios e fins ligados em sistemas)	<b>Teoria Crítica</b> (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 poderes humanos. O eixo vertical refere-se à relação da tecnologia com os valores, que pode assumir duas alternativas: por um lado compreendida como neutra, portanto, não existe uma relação entre os meios e os fins e, por outro, como valorativa, ou seja, os meios e os fins são intrínsecos uns aos outros. Essa percepção não é trivial, visto que os objetos técnicos são construções compostas por vários elementos causais, não tendo um específico que caracterize algum propósito. Entretanto, como Feenberg 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” (2015, p. 126).

O segundo eixo, o da horizontal, indica uma diferenciação da tecnologia quanto ao controle. Aqui duas alternativas também são possíveis: a primeira, indica que a tecnologia é controlada humanamente e; a segunda, sinaliza que a tecnologia é autônoma. O autor deixa claro, dizer que a tecnologia é autônoma não é o mesmo que dizer que ela se desenvolve sozinha, pois 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. Ou seja, se o próximo estágio *evolutivo* independe da vontade dos indivíduos e 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 interseção desses eixos, Feenberg (2015), identifica quatro percepções modernas de tecnologia, a saber, o Instrumentalismo, o Determinismo, o Substantivismo e a Teoria Crítica. O Instrumentalismo une o entendimento de que a tecnologia é neutra de valores com a interpretação de que ela seria controlável humanamente. Essa perspectiva moderna comum apoia a visão liberal do progresso, que considera os artefatos principalmente como ferramentas usadas pela espécie humana para atender às suas necessidades, sejam elas biológicas ou artificiais. A ênfase é colocada na eficiência e no lucro como principais objetivos da busca por soluções tecnológicas.

No Determinismo, acredita-se que a tecnologia não é controlada humanamente, mas pelo contrário, ela controla os humanos por meio da configuração societal que se submete as exigências de eficiência e progresso de forma neutra. Essa é a visão comumente assumida pelas ciências sociais desde Marx, na qual a direção histórica é decorrente do avanço tecnológico. Nessa concepção, os deterministas argumentam que a tecnologia utiliza dos conhecimentos do mundo natural para se servir dos aspectos da natureza humana, como as necessidades e as capacidades básicas (Feenberg, 2015).

No cruzamento da autonomia tecnológica com a percepção valorativa da tecnologia, encontra-se o Substantivismo, termo que foi escolhido para descrever o contexto que atribui valores substantivos à tecnologia. Em oposição ao determinismo, que vê na tecnologia uma promessa otimista e progressiva de futuro, os substantivistas argumentam contrariamente à tese da neutralidade, já que identificam valores associados à tecnologia que excluem outros, a

exemplo do poder e eficiência, que não raro, controlam os humanos e os deixam infelizes (Feenberg, 2015).

Por fim, a última percepção tecnológica é a da Teoria Crítica, na qual Feenberg é um representante e, por isto, foi adotado como referencial teórico para este trabalho. Essa interpretação reconhece os efeitos desastrosos do desenvolvimento tecnológico apontados pelo substantivismo, contudo vislumbra a possibilidade de maior liberdade, transformação e criticidade na tecnologia.

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. Em relação ao substantivismo que percebe os valores contidos na tecnologia como exclusivos dela, a Teoria Crítica os entende como socialmente especificados, incorporados. Controle e eficiência são, desta forma, adequações abstratas que não exaurem os sentidos que podem ser atribuídos à tecnologia, mas essa posição não significa que ela deva ser percebida como neutra, apesar da eficiência ser objetivo em todos os domínios em que se aplicam a tecnologia. Em outras palavras, “[...] a eficiência molda todas as possibilidades da tecnologia, mas não determina os valores percebidos dentro daquela moldura” (Feenberg, 2010, p. 62).

Nesse caminho, o processo de adaptação 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 encontram. 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, a tecnologia deixa de ser somente determinante e passa também a ser determinada, tanto por fatores técnicos quanto por fatores sociais (Feenberg, 2010; 2015).

Diante desse entendimento, 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 tecnológico. Os produtos da técnica, portanto, são entendidos a partir da análise das circunstâncias sociopolíticas dos grupos envolvidos no processo de desenvolvimento tecnológico. Nessa percepção, as formas dos artefatos são restritas 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.

O projeto tecnológico reflete os fatores sociais que operam na racionalidade predominante, mas Feenberg (2010; 2015; 2017), acredita ser possível redefinir marcas das relações de classe no desenho da própria tecnologia, enxergando na mediação técnica uma fonte de poder e disputa nas sociedades modernas. Para sustentar esse ponto, ele comprehende a essência da tecnologia a partir de um aspecto duplo, que representa um entrelaçamento entre as dimensões funcionais e sociais da tecnologia.

Portanto, uma definição que busque a essência da tecnologia só pode ser descrita na relação intrínseca do significado social com a rationalidade 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).*

Na instrumentalização primária, os objetos técnicos são extraídos de seus contextos originais e são postos à análise e à manipulação. Esse processo busca revelar potencialidades que cumpram aspectos funcionais em novos sistemas que servem determinado propósito. Nessa instrumentalização, o processo de descontextualização pode ser feito reiteradamente com os mesmos elementos, adequando-os a diferentes configurações técnicas.

Na instrumentalização secundária, as escolhas 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, ela se transforma para se adequar às demandas sociais e políticas. No nível secundário, os artefatos configuram a base de um modo de vida. Nesse nível, a instrumentalização indica que à reintrodução do objeto técnico no contexto é o 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 e solidárias ameaça a exploração máxima dos recursos naturais, significando que “[...] são obstáculos não apenas ideológicos, mas incorporados a projetos tecnológicos” (Feenberg, 2010, p. 230). O autor comprehende que somente uma crítica aos projetos dominantes podem contribuir para revelar os potenciais de determinada tecnologia, de modo que os desenhos técnicos privilegiados sejam revistos em contextos amplos, que destaque os aspectos sociais associados à estilos de vida incorporados nos próprios projetos tecnológicos.

A partir destas percepções, 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 (Feenberg, 2010).

### **III. SC aplicadas no Ensino de Física: uma revisão**

A metodologia deste levantamento partiu da Revisão Sistemática de Literatura apresentada por Okoli (2019), desta forma os critérios estabelecidos para a seleção dos periódicos e dos artigos foram determinados objetivando uma análise acessível e concisa. A busca pelos periódicos foi realizada na plataforma Sucupira da Capes, tendo como parâmetro de classificação o Qualis Periódicos do quadriênio 2017-2020, da área de Ensino.

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 baseou-se em dois critérios: i) periódicos nacionais; ii) revistas com foco na divulgação de pesquisas nas áreas de Ensino de Ciências, Ensino de Física e as que atuam na interface tecnologia-educação. Desta maneira, foram encontrados 25 periódicos: sete avaliados com Qualis A1, cinco Qualis A2, um Qualis A3, sete Qualis A4, quatro Qualis B1 e um Qualis B2.

A seleção inicial dos artigos nesses periódicos foi realizada via marco temporal de modo a respeitar uma produção consistente sobre a temática. Desta forma, foram selecionados os artigos do período compreendido entre 2000 e 2020. A reduzida produção associada à década de 90 do século passado não foi considerada por marcar o início da popularização da informática no ensino e das primeiras políticas públicas sobre o tema (Brasil, 1997; 1999). A seleção dos artigos prosseguiu por meio de buscadores dos próprios periódicos. Para tanto, foram utilizados os termos em português “simulação” e “simulações” de forma combinada com “computacional” e “computacionais”. Encontrou-se 150 artigos que apresentavam as palavras-chave em qualquer parte do texto. Com o objetivo de refinar os artigos encontrados, parâmetros especificadores foram estabelecidos para nova seleção: i) pesquisas na área de Ensino de Física; ii) SC como foco do estudo; iii) atividades práticas nas quais as SC foram escolhidas, aplicadas e avaliadas em um contexto educacional. Tendo estes critérios no horizonte, foram analisados títulos, resumos e, quando necessário, o texto em sua totalidade, o que resultou na seleção de 42 artigos.

A Tabela 1 apresenta informações sobre os periódicos vinculados aos 42 artigos selecionados. Destaque para a concentração de artigos nos periódicos: Caderno Brasileiro de Ensino de Física e Experiências em Ensino de Ciências. A maioria dos artigos são de Qualis A2 e estão fortemente ligados ao conteúdo específico das disciplinas que compõem a área de Ensino de Ciências, com destaque a da Física. Tal característica sinaliza forte vínculo entre simulação e o conteúdo específico e menor com questões mais gerais como a natureza da ciência, por exemplo.

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

<b>Periódicos</b>	<b>ISSN</b>	<b>Qualis</b>	<b>Artigos encontrados</b>	<b>Artigos selecionados</b>
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
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2175-7941	A1	22	8
Investigações em Ensino de Ciências	1518-8795	A1	4	3
Areté   Revista Amazônica de Ensino de Ciências	1984-7505	A1	0	0
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	1984-2686	A1	7	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
Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	1982-873X	A2	12	3
Revista de Ensino de Ciências e Matemática	2179-426X	A2	6	1
Revista Ciência & Ideias	2176-1477	A3	2	1
Revista de Educação, Ciências e Matemática	2238-2380	A4	3	0
Abakós	2316-9451	A4	0	0
Ciência & Ensino	1980-8631	A4	0	0
Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista	2237-4450	A4	0	0
Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica	2236-2150	A4	1	0
Revista Brasileira de História da Ciência	2176-3275	A4	0	0
Revista Renote	1679-1916	A4	23	6
Experiências em Ensino de Ciências	1982-2413	B1	16	7
Revista Educação & Tecnologia	2317-7756	B1	0	0
Revista Tecnologias na Educação	1984-4751	B1	6	2
Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia	2238-8079	B1	1	0
Revista Ciência em Tela	1984-154X	B2	0	0

Periódicos	ISSN	Qualis	Artigos encontrados	Artigos selecionados
Total	-	-	150	42

Fonte: Oliveira, 2022.

De forma a aprofundar o estudo, os artigos, entendidos como o principal meio de comunicação científica moderna (Ziman, 1979), passaram por análise textual via software IRAMUTEQ – *Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires* –, já que representam e manifestam os principais debates, controvérsias, disputas e interesses dos diversos agentes que compõem o campo da pesquisa no Ensino de Física. 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, aqui potencializada por meio de software.

Desta maneira, o processo de unitarização<sup>4</sup> foi realizado a partir de uma seção específica dos artigos e com o auxílio do software de análise textual. Em busca de relacionar aspectos teóricos e pedagógicos dos artigos com a Teoria Crítica da Tecnologia foram selecionados trechos referentes aos *referenciais teóricos por eles utilizados*. Para isso, foi realizada uma leitura sistemática e fichamento dos artigos, objetivando caracterizar as seções que vão participar da construção do *corpus textual* de análise a ser escrutinado pelo software IRAMUTEQ. Cabe destacar que nos artigos nos quais não havia seções ou subseções com títulos explicitando a apresentação do referencial teórico, os trechos do texto foram selecionados e inseridos no *corpus textual* quando, de uma maneira ou de outra, apresentavam argumentos que abordavam questões teóricas que guiaram a pesquisa.

O IRAMUTEQ foi desenvolvido no idioma francês por Pierre Ratinaud em 2009, e é vinculado ao software R. Baseado em linguagem de programação, permite fazer análises estatísticas sobre o *corpus textual* 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 *corpus textual*, formado por textos provenientes das seções selecionadas, foi inserido e tratado pelo IRAMUTEQ.

O *corpus textual* foi constituído pelos trechos dos 42 artigos selecionados, sendo cada um deles uma unidade de texto (UT). Cada unidade foi separada através da linha de comando \*\*\*\*\*, seguido 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. Tudo foi transscrito no *LibreOffice*, pacote de

---

<sup>4</sup> Processo de fragmentação do texto em unidades de significado.

*código aberto* que conta com editor de textos e salvo no formato UTF-8, padrão de unificação de caracteres.

Posteriormente, o *corpus textual* foi tratado pelo IRAMUTEQ através da criação e comparação de *segmentos de texto* (ST), que permite classificar e analisar a força associativa das palavras presentes neles. E não menos importante, medir a força associativa entre as palavras por meio do teste do qui-quadrado<sup>5</sup>, que permite criar as classes categoriais. Fundamentado na forma reduzida das palavras, o teste indicou a força associativa de cada palavra a sua respectiva classe, ou seja, quanto maior o qui-quadrado maior é a relação associativa e, pelo contrário, quanto menor for o valor do qui-quadrado, menor será essa relação associativa (Souza *et al.*, 2018).

O software oferece também 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: A estatística textual fornece o número de textos e segmentos de texto, frequência média das palavras e classificação grammatical com base no dicionário das formas reduzidas. A CHD permite obter classes de ST que, ao mesmo tempo, apresentam vocabulário semelhante entre si e vocabulário diferente dos ST das outras classes. A AFC, por sua vez, fornece representação gráfica que permite visualizar a proximidade entre classe e palavras (Salviati, 2017).

Os parâmetros para análise podem ser ajustados para permitir diferentes enfoques, classificando as palavras em *formas ativas* e *formas suplementares*<sup>6</sup>. As formas gramaticais podem ser submetidas a esta classificação a fim de realçar aspectos específicos das UT selecionadas, como ações e estados ao posicionar os verbos como formas ativas, por exemplo.

#### **IV. Análise textual dos referenciais teóricos**

O *corpus textual* construído com as seções e trechos que se referem ou fazem menção aos *referenciais teóricos* foi inicialmente tratado pelo software IRAMUTEQ e, em seguida, as informações geradas foram articuladas com os conceitos da Teoria Crítica da Tecnologia. Como dito, o programa permitiu selecionar a classe grammatical foco da análise, portanto, aqui buscou-se enfatizar os sujeitos representados no texto, como autores, concepções teóricas (conceitos, noções...), professores e alunos, expressos por meio de substantivos e, por isso, foram designados como *forma ativa*, enquanto as demais classes gramaticais foram configuradas como *formas suplementares*.

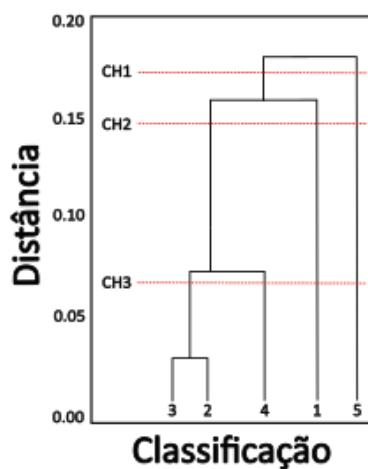
---

<sup>5</sup> Teste estatístico para avaliar a associação existente entre variáveis qualitativas.

<sup>6</sup> Dentro do software as palavras podem ser diferenciadas como ativas, suplementares e eliminadas, de acordo com a classe grammatical selecionada.

O *corpus textual* foi dividido em 1209 segmentos de texto, sendo que 85,28% foram aproveitados na classificação. As formas ativas tiveram 1889 ocorrências, enquanto as suplementares 1638 ocorrências. Por fim, 639 formas ativas tiveram qui-quadrado com valor maior que 3,28, constituindo o grupo de palavras mais importantes de cada classe.

A Classificação Hierárquica Descendente (CHD) permite visualizar as classificações feitas pelo software a partir dos ST analisados. Nela, os conjuntos são repartidos de acordo com as formas reduzidas das palavras, destacando palavras com vocabulários semelhantes entre si e diferentes de outras presentes nas demais classes (Camargo; Justo, 2013; Salviati, 2017; Ramos *et al.*, 2018). O dendrograma da Fig. 2 mostra a classificação dos substantivos em 5 classes distribuídas em 3 níveis de hierarquia.



*Fig. 2 – Dendrograma das 5 classes com as respectivas hierarquias, gerado pelo IRAMUTEQ.*

As linhas pretas, elaboradas pelo software, apresentam as classificações a partir de ramificações. As linhas vermelhas, elaboradas pelos autores deste estudo, indicam as hierarquias, três para ser mais preciso: Classificação Hierárquica 1 (CH1); Classificação Hierárquica 2 (CH2) e Classificação Hierárquica 3 (CH3).

O diagrama da Fig. 3 mostra os aspectos essenciais das relações entre as classes. Os círculos representam a hierarquia dos agrupamentos de palavras dentro da estrutura textual analisada na CHD, partindo do exterior (nível mais alto), composto por palavras associadas a contextos mais gerais e distantes, indo em direção ao interior (nível mais baixo), formado por palavras relacionadas a contextos mais específicos e próximos.

A primeira hierarquia (CH1), separa a *classe 5* das demais. Esta, representa 17,2% do *corpus textual* 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, a *classe 4* possui a segunda maior

representação (23,4%), dentro da classificação, os ST dessa classe se distanciam dos sentidos atribuídos pelos ST das duas últimas classes.

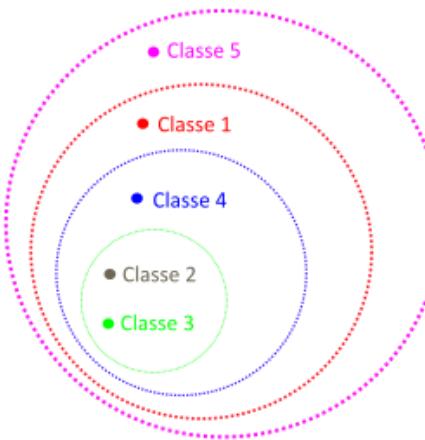
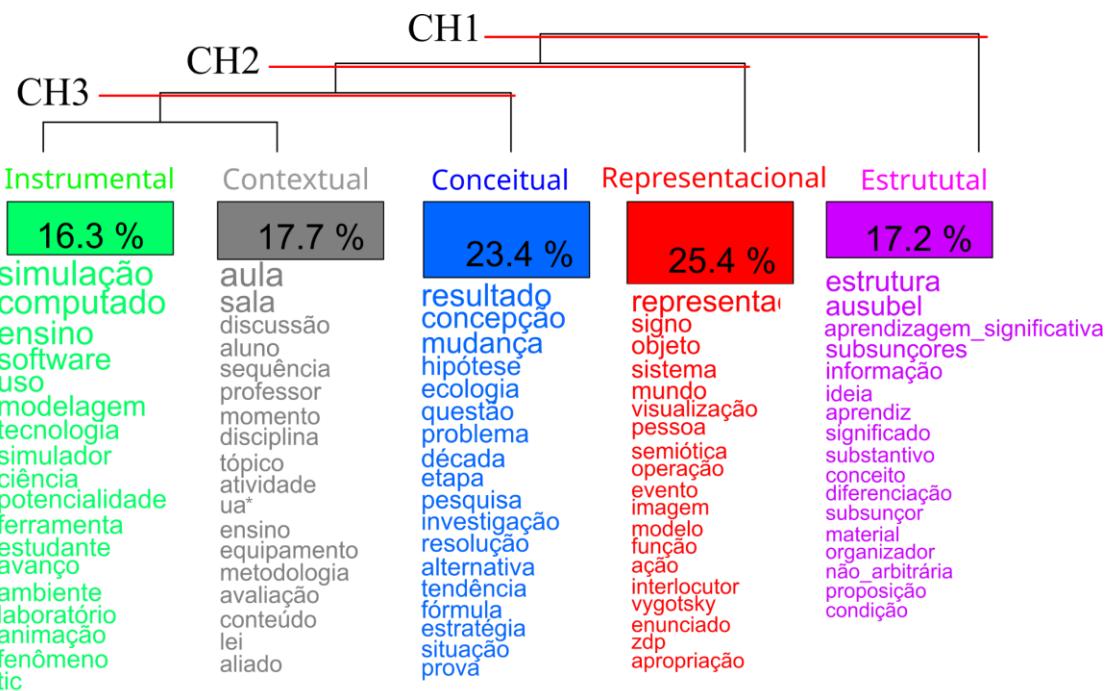


Fig. 3 – Diagrama representando a posição das classes dentro da hierarquia.

Na classificação mais inferior dentro da CHD, encontram-se as *classes 2 e 3*, que juntas, representam 38% das palavras analisadas. Como a distância é representada no eixo Y da Figura 2, é possível notar a maior distância das *classes 2 e 3* em relação à *classe 5*, encontrada na CH1. A proximidade das *classes 2 e 3* significa que estão em contextos nos quais seus ST têm vocabulários semelhantes, ou seja, os substantivos de ambas as classes possuem significados parecidos dentro dos contextos em que foram analisadas (Ramos; Lima; Rosa, 2018).

A interpretação e nomenclatura das classes foi realizada pelos pesquisadores a partir das bases teórico-metodológicas adotadas, ou seja, buscou-se construir conhecimento por meio da relação com a tecnologia na perspectiva crítica. Nesse sentido, a leitura fundamentada dos pesquisadores foi articulada as análises provenientes do software IRAMUTEQ. Dessa articulação, as classes apresentadas na Fig. 4 foram nomeadas buscando relacioná-las com aspectos estruturais da Teoria Crítica da Tecnologia.

A primeira hierarquia (CH1), separa a classe denominada *estrutural* das demais. Esta representa 17,2% do documento analisado. Recebe essa denominação, pois reúne as palavras que aparecem nos contextos em que há conceitos e definições referentes às teorias educacionais que guiaram e estruturaram os estudos referidos nos artigos. As principais palavras indicam a predominância de uma perspectiva teórica construtivista, dado que *estrutura*, *aprendizagem*, *aprendiz* e *significado*, que compõem o léxico típico dessa perspectiva (Piaget, 1970; 1990; 1996; Vygotsky, 1998; 2001; Ausubel, 2003; Villani, 1997; Moreira, 1982; 2005; 2006), aparecem com maior frequência (quanto maior o tamanho das letras que compõem a palavra, maior é a frequência com que ela na classe).



*Fig. 4 – Dendrograma com as palavras mais importantes de cada classe, gerado pelo IRAMUTEQ.*

O IRAMUTEQ destaca os ST característicos de cada classe baseado no qui-quadrado, ele mede a força associativa de cada ST com a classe em que está inserido e os ranqueia com base em uma pontuação. Os principais ST característicos da *classe estrutural* podem ser vistos no Quadro 2.

Quadro 2 – ST característicos da classe *estrutural*.

Segmento de Texto (ST)	Pontuação	Autores
[...] uma vez que o <b>material</b> seja potencialmente significativo dentro dos critérios lógicos, esse irá se relacionar com a <b>estrutura</b> cognitiva do aluno de maneira substantiva e não arbitrária [...]	231.39	Gonzales e Rosa (2014).
[...] assim, o aluno não pode ser visto como um receptor de <b>conhecimento</b> , ele deve ser considerado como agente da construção de sua própria <b>estrutura</b> cognitiva [...]	177.72	Rodrigues, Quartieri, Marchi e Pino (2018).
[...] a <b>estrutura</b> cognitiva deve dispor de <b>conceitos subsunções</b> com os quais a nova <b>informação</b> deve interagir e ser ancorada por eles [...]	158.34	Mendes, Costa e Sousa (2012).

Fonte: Oliveira, 2022.

No caso em questão, predomina a perspectiva da Aprendizagem Significativa, inclusive com o nome do principal autor, David Ausubel, aparecendo como a segunda palavra mais importante nessa classe. Esse resultado, proveniente da CH1, está coerente com a composição do *corpus textual*, que é constituído das UT correspondentes às seções teóricas dos artigos selecionados.

Aprofundando a análise desse resultado, foi possível observar nos artigos estudados a presença desse e de outros referenciais teóricos, contudo, prevalecendo, de modo geral, a perspectiva construtivista. Sendo mais específico, a Aprendizagem Significativa foi o referencial teórico mais recorrente, com presença em dez artigos que, por sua vez, evidencia uma forte preocupação com a maneira como os alunos estruturam, reorganizam e constroem seus conhecimentos. A teoria dos Campos Conceituais foi empregada em cinco artigos, e da Mudança Conceitual em dois. No campo sociointeracionista, a Teoria Sócio-Histórica apareceu em cinco artigos, ressaltando a importância da mediação e da interação social no processo de ensino-aprendizagem. Apesar da presença de quatro artigos que ainda se baseiam em uma abordagem Tradicional, sua relevância foi menor em comparação a outras abordagens. Além disso, referenciais relacionados a Metodologias Ativas e Tecnologias Educacionais, como Modelagem Computacional Semiquantitativa (um artigo), Objeto de Aprendizagem (um artigo) e *Design-Based Research* (um artigo), indicam uma tendência crescente na adoção de práticas contemporâneas. Esses achados reforçam a transição para modelos que priorizam a construção ativa do conhecimento e o protagonismo do estudante.

Na segunda classificação (CH2), a classe que se destaca é a *representacional*, que recebe esse nome, visto que as palavras *representação*, *objeto* e *signo* aparecem nos ST relacionados às perspectivas do sujeito sobre o mundo ou como o mundo se apresenta para ele. Esta classe é a mais significativa na composição do *corpus textual*, com 25,4% de representatividade entre as palavras analisadas. Essa constatação pode ser explicada pela preocupação dos autores com a visão dos alunos sobre os modelos estudados, novamente reforçando a predominância de um discurso voltado à aprendizagem centrada no aluno, o sujeito ativo da aprendizagem (Silva, 1996; Villani, 1997; Moreira, 2011) e, em como ele enxerga o mundo. O Quadro 3 mostra os principais ST característicos da classe *representacional*.

A distância vertical entre as classificações CH1 e CH2, mostrada na Figura 2, destaca a proximidade entre as classes *estrutural* e *representacional*. Se de um lado da CHD essas classes reúnem os temas relacionados à teoria, do outro estão as classes que caracterizam aspectos práticos e como estes se relacionam com a teoria e as atividades relacionadas as SC. Portanto, é possível interpretar na estrutura dos artigos selecionados uma divisão entre teoria e prática, indicada pelas distâncias verticais que mostram a aproximação da CH1 e CH2 e distanciamento destas com a CH3.

Quadro 3 – ST característicos da classe *representacional*.

Segmento de Texto (ST)	Pontuação	Autores
[...] a maneira particular de cada indivíduo processar e interpretar as informações que chegam até ele consiste em <b>representações</b> internas ou <b>representações</b> mentais que podem ser analógicas concretas representando algo específico do <b>mundo</b> exterior [...]	89.67	Andrade e Costa (2006)
[...] <b>representações</b> em três <b>dimensões</b> são reduzidas para duas <b>dimensões</b> e desta para uma <b>dimensão</b> [...]	66.26	Sousa, Malheiros e Figueiredo (2015).
[...] também de modo preliminar, como o resultado de uma interação entre três <b>elementos</b> , um desses <b>elementos</b> é um objeto material ou imaterial que funciona como uma <b>representação</b> e, desse modo, substitui outro <b>elemento</b> que atua [...]	65.45	Paula e Talim (2012).

Fonte: Oliveira, 2022.

Na CH3, a classe *conceitual* se destaca das demais. Segunda maior representação (23,4%), recebe esse nome, pois expõe os contextos em que as palavras ativas (sujeitos, concepções teóricas...) foram associadas aos conceitos trabalhados nas atividades que empregavam as SC para lidar com problemas ligados à Física, que exigiam a elaboração de estratégias e procedimentos por parte dos envolvidos. Nela, os ST apresentam conjecturas que apoiam as visões teóricas escolhidas e destacadas na classe *estrutural*, na medida que busca associar conceitos da classe *Estrutural* com atividades ligadas a uma perspectiva construtivista. Os principais ST característicos da classe *conceitual* são mostrados no Quadro 4.

As últimas duas classes dizem respeito ao desenvolvimento de atividades em sala de aula. Essas, quando somadas, refletem 38% das palavras da análise. As duas também são as que mais estão distantes da classe *estrutural*, encontrada na CH1. A proximidade das classes *instrumental* e *contextual* mostra que estão em contextos que seus ST têm vocabulários semelhantes, ou seja, os substantivos de ambas as classes possuem significados parecidos dentro dos contextos em que foram analisadas (Ramos; Lima; Rosa, 2018).

Do ponto de vista da perspectiva da Teoria Crítica da Tecnologia, a análise da relação entre as duas classes pode ser elucidada a partir da perspectiva da teoria da instrumentalização defendida por Feenberg (2010; 2015; 2017), uma vez que é possível associar cada classe ao que o autor entende como *significado social* e *racionalidade funcional*.

Quadro 4 – ST característicos da classe *conceitual*.

Segmento de Texto (ST)	Pontuação	Autores
[...] quando se podem medir e analisar informações obtidas fisicamente a partir de observações reais com a finalidade de se alcançar um <b>resultado</b> aplicável ao mundo, a compressão do fenômeno físico envolvido fica amplamente mais clara [...]	68.24	Rodrigues (2017).
[...] em outro trabalho foi observado que a <b>mudança</b> conceitual ocorria devido à dinâmica de abaixar o status das <b>concepções alternativas</b> e elevar as <b>concepções</b> científicas [...]	46.69	Gonzales e Rosa (2014).
[...] de modo que é imprescindível que o educando visualize a <b>situação</b> , observe e analise os <b>resultados</b> para perceber e mudar o seu pensamento, não apenas acatar o que o professor diz [...]	44.63	Souza e Mello (2007).

Fonte: Oliveira, 2022.

O significado social pode ser caracterizado pela participação ativa e inventiva dos sujeitos no desenho tecnológico, ou seja, o professor e os alunos não só modificam os significados das SC, como o ambiente de sala e si próprios. Mesmo que de forma limitada, os artigos analisados chegaram a sinalizar a capacidade desses sujeitos ressignificarem as SC durante a realização das atividades, em outras palavras, mesmo que em casos esporádicos, estavam imersos na instrumentalização secundária (Feenberg, 2010). De maneira mais específica, as SC ligadas ao emprego do computador em um ambiente virtual (Gonzales; Rosa, 2014), a modelagem ou a atividade de pesquisa (Mendes; Costa; Sousa, 2012) no contexto escolar promoveram, aos envolvidos, a tomada de atitudes e promoção de dinâmicas diversificadas, muito diferentes daquelas posturas passivas e atividades rotineiras presentes quando se trabalhavam as SC em moldes expositivos (Monteiro; Monteiro; Germano, 2009). 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 descontextualizados (Feenberg, 2017), ou seja, quando há a expectativa de que as SC substituem parcialmente ou completamente as situações experimentais, reduzindo a complexidade pedagógica a meros protocolos técnicos, e as SC são compreendidas por suas características técnicas e representacionais (Pieper, 2015; Silva, 2015). Nessa perspectiva, desconsidera-se que a mediação tecnológica, quando desvinculada de contextos significativos, pode reforçar uma lógica instrumentalizante, na qual o potencial crítico e criativo dos sujeitos é coagido pela primazia da eficiência e da padronização.

A classe *instrumental*, recebeu essa denominação, pois contém palavras e ST que estão em concordância com a noção de instrumentalidade abordada na Filosofia Crítica da Tecnologia. E, não menos importante, conter a palavra *simulação* como a forma ativa mais relevante. É possível perceber que ela se relaciona com as palavras *ensino*, *modelagem* e *software*, que tem forte influência dentro da classificação, indicando aspectos da racionalidade funcional, que qualifica o uso instrumental das SC. Os ST característicos da classe que exemplificam essa posição podem ser vistos no Quadro 5.

Quadro 5 – ST característicos da classe *instrumental*.

Segmento de Texto (ST)	Pontuação	Autores
[...] dessa maneira, se entende o papel do <b>computador</b> no <b>Ensino de Física</b> como facilitador do <b>processo de ensino</b> e aprendizagem, uma <b>ferramenta</b> que aliada à outra <b>simulação</b> computacional serve como apoio pedagógico para a diversificação do <b>ensino</b> dessa disciplina [...]	63.22	Cardoso e Dickman (2012).
[...] as <b>simulações</b> contribuem de diversas formas, dependendo do grau de interação entre o <b>estudante</b> e o <b>software</b> ; dentre elas podemos citar [...]	62.03	Soares, Moraes e Oliveira (2015).
[...] as <b>Simulações Computacionais</b> e os <b>softwares</b> livres são exemplos de <b>recursos</b> tecnológicos que podem ser utilizados para o <b>ensino</b> , pois possibilitam a aprendizagem ativa e significativa principalmente quando o aluno realiza a <b>modelagem</b> de dados reais obtidos [...]	59.26	Neto, Moura e Ribeiro (2020).

Fonte: Oliveira, 2022.

Esta classe mostra a simulação num contexto em que suas características técnicas e funcionais são mostradas como qualidades inerentes, passíveis de transferência direta, sem modificações, para o ambiente da sala de aula. Neste sentido, Feenberg (2010) aponta que no contexto capitalista, as tecnologias educacionais tendem a se especializar e serem avaliadas em termos de custo e conteúdo. Para o autor, nesse sistema há a promoção da automatização da comunicação num sentido único do gestor, que visa a entrega de dados e conteúdo, reduzindo o ensino ao acesso à informação sequenciada. Em contrapartida, o autor defende um sistema alternativo, no qual as tecnologias presentes na educação favoreçam um ambiente comunicativo aberto no lugar de sistemas automatizados baseados em administração técnica e burocrática.

A *classe instrumental* está intimamente ligada à racionalidade funcional por causa do desenvolvimento das atividades com SC. Nessa interpretação, ela é associada com a primeira instrumentalização apresentada por Feenberg (2010; 2015; 2017), na qual a tecnologia é descontextualizada do seu ambiente social, vista como fruto de uma racionalidade técnica pura.

Por outro lado, a apreensão do significado social que acompanha os referenciais teóricos presentes nos artigos, pode ser identificada na interpretação da *classe contextual*, caracterizada pelos ST em que as palavras dessa classe se relacionam com a configuração social em que as SC são trabalhadas. Mesmo que as palavras e ST destacados como os principais dessa classe, mesmo não se referindo à SC propriamente dita, evidenciam novamente a presença da concepção determinista da tecnologia, subdeterminando os sujeitos aos usos dos artefatos (Feenberg, 2010; 2015; 2017). Abaixo, no Quadro 6, estão destacados os ST característicos da *classe contextual*.

Quadro 6 – ST característicos da classe *contextual*.

Segmento de Texto (ST)	Pontuação	Autores
[...] o <b>professor</b> trabalha as <b>dificuldades</b> dos <b>alunos</b> ao invés de apresentações sobre o <b>conteúdo</b> da <b>disciplina</b> ; segundo Moran (2015) a <b>aula</b> invertida basicamente consiste em concentrar o <b>conteúdo</b> básico no <b>ambiente</b> virtual deixando as <b>atividades</b> mais complexas para a <b>sala de aula</b> [...]	178.41	Peixoto (2020).
[...] conceitos, trabalho colaborativo, formulação e teste de hipóteses para a <b>sala de aula</b> ; as <b>atividades</b> experimentais investigativas representam uma estratégia para permitir que os <b>alunos</b> ocupem uma posição mais ativa no processo de construção do conhecimento e que o <b>professor</b> passe a ser <b>mediador</b> ou facilitador desse processo [...]	90.48	Moro, Neide e Rehfeldt (2016).
[...] de acordo com Monteiro (2010), a demonstração experimental é uma <b>atividade</b> que tem sido pouco explorada em <b>sala de aula</b> , em parte pelas <b>dificuldades</b> enfrentadas pelo <b>professor</b> em ter à sua disposição os <b>equipamentos</b> de demonstração [...]	77.66	Cardoso e Dickman (2012).

Fonte: Oliveira, 2022.

Os ST exemplificam os contextos, principalmente, o de sala de aula que apresentam as atividades ligadas as SC e o papel realizado pelo professor. Dessa forma, a tecnologia tende

a se especializar na individualização do ensino (Feenberg, 2010; 2015; 2017). Tal situação configura uma tendência de automação, que Feenberg (2010) já sinalizava para a educação no contexto do projeto capitalista. O autor também explica o papel que a tecnologia desempenha nesse contexto.

*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 à entrega de dados e de programas poderiam servir a semelhante projeto* (Feenberg, 2010, p. 171).

Assim, cabe se perguntar quais funções as SC teriam nesse projeto. Apesar de alguns autores dos artigos analisados manifestarem que os experimentos realizados em laboratório não podem ser substituídos pela SC (Yamamoto; Barbata, 2001; Andrade; Costa, 2006; Mendes; Costa; Sousa, 2012), é comum a argumentação de que eles podem ser utilizados 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.

Outra contribuição da *classe contextual*, que diverge da anterior, é a compreensão de que os sujeitos podem ser caracterizados por possuírem atitudes diversificadas frente ao uso das tecnologias. Nela, os objetos são entendidos como meios que podem ser modificados pelos sujeitos para resolverem particularidades da atividade educacional. Essa classe, portanto, mostra aspectos da instrumentalização secundária, já que destaca a ação transformadora dos sujeitos sobre as SC, ressignificando-as segundo o contexto no qual são empregadas. Nesse sentido, Feenberg (2010) defende que em um sistema alternativo, no qual 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).

Como mencionado, a interpretação da classificação com base na Teoria Crítica da Tecnologia apresentada por Feenberg (2010; 2015; 2017), permite associar as classes *instrumental* e *contextual* aos momentos da dupla instrumentalização. No geral, na perspectiva técnica que guia os artigos, as SC aparecem em contextos relacionados à primeira instrumentalização, ou seja, pela descontextualização das mesmas frente às teorias pedagógicas e pelo reducionismo, que descartam dos fenômenos estudados as 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 de menor importância, reduzindo-os ao que o autor entende como qualidades primárias, que permitem integrar a tecnologia em uma rede técnica já existente. Não por acaso, Feenberg indica que à “[...] medida que tudo da realidade fica abaixo do signo da técnica, o real é progressivamente reduzido a tais qualidades primárias” (2010, p. 225).

Desse modo, os sujeitos se adequam ao uso das SC e aos referenciais teóricos indicados, como visto até o momento e, nesse sentido, estão sob a égide do determinismo tecnológico. Isso ocorre, porque a escolha da SC e a estrutura da atividade presentes nos artigos impelem que os autores tenham determinadas atitudes, como, por exemplo, a escolha do conceito físico fica subordinado à SC que está pronta e disponível para uso. Logo, ao se posicionar estratégicamente em relação ao objeto técnico disponível, os autores se adequam às propriedades inerentes da SC a favor do objetivo do seu estudo (Feenberg, 2010), o que promove, de antemão, a instrumentalização primária no *design* das atividades realizadas e analisadas nos artigos.

E é exatamente nesse ponto que reside a importância de algumas palavras da classe *contextual*, no caso, aula e alunos e seus respectivos ST. Primeiro, porque, revela que os autores dão certa importância ao contexto em que se desenvolveu o uso das SC e, segundo, pois abre a possibilidade de se promover a instrumentalização secundária via participação dos alunos e seus conhecimentos prévios nas atividades, mesmo que a maioria dos ST dessa classe indiquem a instrumentalização primária na perspectiva construtivista. Tal possibilidade se manifesta quando os autores elaboram uma mediação pedagógica com foco na aprendizagem ativa, que valoriza o conhecimento prévio dos alunos e o contexto no qual se trabalham as SC: a sala de aula.

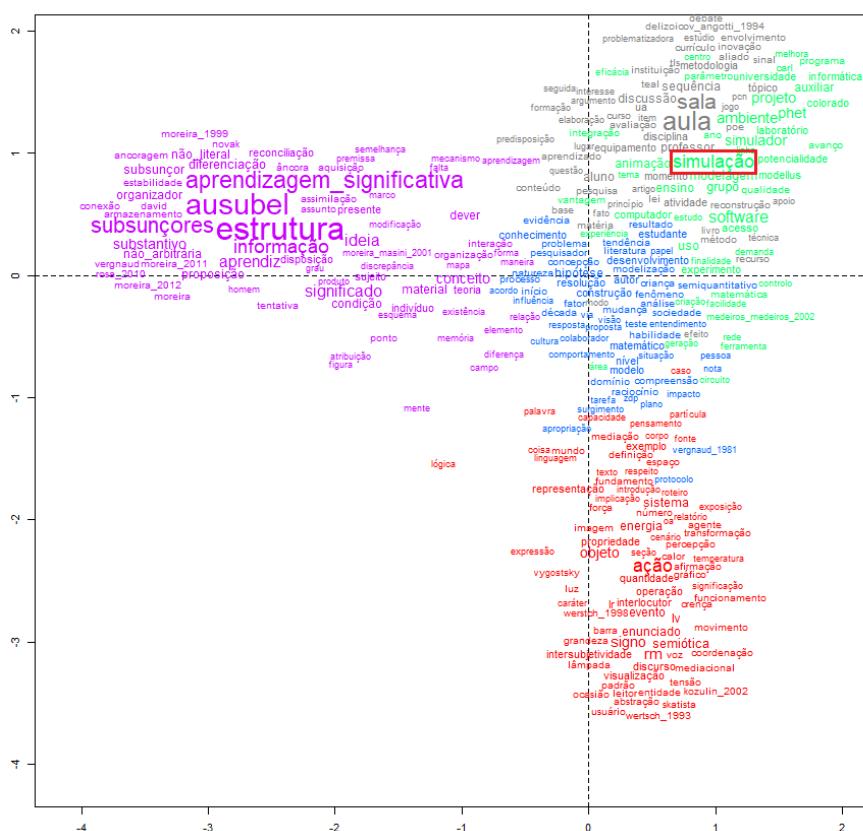
Assim, a análise lexical via IRAMUTEQ revela uma tensão na classe *contextual*, pois, ao mesmo tempo que apresenta marcas da instrumentalização secundária, manifestadas no protagonismo e na capacidade dos alunos em interferirem na dinâmica do emprego das SC na sala de aula, devido às suas concepções e papel ativo, exibe também, aspectos da instrumentalização primária, já que as atividades pedagógicas levadas à cabo pelo professor evidenciam que os alunos têm atitudes mais reativas do que críticas, quando interagem com as SC e a resolução de tarefas. De qualquer maneira, essa tensão possibilita que alunos, professores e atividades com SC estejam situados na dimensão da instrumentalização secundária, mesmo aparecendo com menor frequência nos ST do que a instrumentalização primária.

Este fenômeno se torna especialmente significativo quando observamos o distanciamento entre a classe *contextual* e a classe *estrutural* (onde se concentram os referenciais teóricos, como a Aprendizagem Significativa). A lacuna entre teoria e prática revela uma paradoxal centralidade passiva do aluno: embora frequentemente mencionado como foco das atividades, sua atuação permanece, em grande medida, circunscrita a protocolos predefinidos, caracterizando as SC como instrumentos de transmissão unidirecional. Essa

constatação exige uma ressignificação das SC, transcendendo sua função técnica imediata (instrumentalização primária) para potencializá-las como ferramentas de mediação crítica (instrumentalização secundária), nas quais alunos e professores co-constroem significados.

Desse modo, considerando as abordagens apresentadas no Quadro 1, a classe *contextual* tem engendrada dentro de si, mesmo que de forma potencial, a abordagem substantivista, que destaca a capacidade dos diferentes sujeitos e do contexto transformarem a tecnologia. Assim, as SC não podem ser compreendidas somente a partir de características técnicas, uma vez que seu uso reflete os interesses da escola, dos alunos e dos autores, que possuem o domínio da perspectiva teórica, ao menos, é o que sinalizam os ST presentes no *corpus textual*.

Por fim, foi realizada a Análise Fatorial de Correspondência (AFC), objetivando ilustrar a visão interseccional das duas classes e como aspectos teóricos da Teoria Crítica da Tecnologia proporcionam uma interpretação em termos da instrumentalização primária e secundária. Na Fig. 5 a palavra *simulação* está destacada para ilustrar que os referenciais teóricos levantados apresentam as SC em um contexto complementar entre as classes *conceptual* (palavras em azul), *instrumental* (palavras em verde) e *contextual* (palavras em cinza).



*Fig. 5 – AFC gerado pelo do IRAMUTEQ mostrando o nível de correspondência entre as palavras de cada classe.*

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 direita do gráfico e a *teoria* na parte esquerda. A SC se encontra na parte prática, do lado oposto às palavras que estruturam a teoria em que se embasam os artigos, isto é, existe uma grande distância entre os referenciais teóricos que guiam os estudos e as SC, novamente evidenciando a abordagem instrumental com que são tratadas.

Na vertical, a CH2 permite interpretar o eixo classificando a parte inferior 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 superior 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 SC 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, a AFC ilustra a percepção dos autores que, ao se referirem às SC, a contextualizam segundo 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 levar para o ambiente educacional.

Os resultados apresentados indicam, em um primeiro momento, uma visão que associa as SC a um processo de descontextualização e reducionismo, principalmente a classe representacional, que se alinha à primeira instrumentalização proposta por Feenberg (2010). Nessa perspectiva, as SC são compreendidas como ferramentas técnicas que simplificam a realidade, destacando apenas as qualidades primárias dos fenômenos estudados, enquanto descartam aspectos contextuais e pedagógicos, consoante com a primeira visão de SC apresentada por Winsberg (1999; 2000). Essa abordagem reflete um determinismo tecnológico, no qual o uso das SC condiciona as escolhas e atitudes dos autores e educadores, subordinando-se a uma racionalidade técnica que prioriza a eficiência e a integração em redes tecnológicas (Feenberg, 2010; 2015; 2017). Contudo, os aspectos contextuais da classe contextual sinalizam, quando considerada, a possibilidade de se promover a instrumentalização secundária. Dito de outra maneira, os autores dos trabalhos se apropriam e empregam os referenciais teóricos de cunho construtivista na perspectiva da instrumentalização primária, enquanto, a realidade escolar, devido à sua complexidade abre perspectivas para alunos e professores trabalharem as SC na perspectiva da instrumentalização secundária.

## V. Considerações Finais

Certamente, as SC no Ensino de Física podem ser abordadas de inúmeras maneiras sob diferentes perspectivas. Entretanto, a Teoria Crítica da Tecnologia fornece fundamentações teóricas pertinentes para a análise da influência de tecnologias na educação. Essa interpretação possibilitou uma leitura ampla sobre como os referenciais teóricos têm guiado as pesquisas que utilizam as SC no Ensino de Física.

Por meio do tratamento do *corpus textual* realizado pelo IRAMUTEQ, via CHD, foi possível identificar e analisar que nos artigos o uso das SC está fortemente associado à teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003), conforme indica a classe *estrutural*. As SC mobilizadas nessa perspectiva construtivista, foram apresentadas e entendidas, nessa classe, como meios neutros e eficazes que vinculam o aluno ao conteúdo, visando a promoção da mudança ou aprendizagem conceitual. Entendimento que descontextualiza e reduz as SC a uma de suas dimensões técnicas, a instrumentalização primária, na qual impera a racionalidade funcional. Esse viés também se manifesta nas classes *representacional* e *conceitual*, evidenciando a prevalência da abordagem instrumental (que prioriza eficiência e neutralidade) no emprego das SC.

Por fim, as análises da classe *instrumental*, em menor medida, e da classe *contextual*, em maior medida, fornecem um horizonte alternativo ao uso da SC na perspectiva da racionalidade funcional, pois indicam a possibilidade de ascender à dimensão da instrumentalização secundária, já que destacam as características sociais incorporadas nas tecnologias, marcadas, até então, por seus aspectos técnicos. E mais. Abre a perspectiva para alunos e professores fazerem valer suas vontades e interesses nas atividades ligadas ao uso inventivo e crítico, portanto, contextualizado das SC no Ensino de Ciências e, em particular, nas atividades que abordam leis, princípios e conceitos da Física no contexto escolar.

## Referências bibliográficas

ANDRADE, M. A.; COSTA, S. S. C. O uso de simulações computacionais para o ensino de Óptica no Ensino Médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 2, p. 1-10, 2006. Disponível em: <https://if.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/128>. Acesso em: 30 mar. 2025.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimento**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

BUNGE, M. **Ciência e desenvolvimento**. São Paulo: Perspectiva, 2000.

BUNGE, Mário. **Pseudociência e Ideologia**. São Paulo: Laetoli Editorial S.L., 2013.

CAMARGO, B. V.; JUSTO, A. M. *Tutorial IRAMUTEQ*: versão em português. Florianópolis: Laboratório de Psicologia Social da Comunicação e Cognição (LACCOS), Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em:  
[https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-389X2013000200016](https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X2013000200016). Acesso em: 30 mar. 2025.

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. 2, p. 891-910, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp2p891>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CARVALHO, A.; TELES, A.; VIANA, D.; SILVA, F. J.; COUTINHO, L.; TEIXEIRA, S. Objetos Digitais de Aprendizagem no Ensino de Física Básica: um estudo de caso com simuladores virtuais em uma escola de ensino público estadual. **RENOTE**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 263-272, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.22456/1679-1916.99481>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

DIAS, N.; CASTRO, G.; COELHO, A. Simulação interativa do interferômetro de Michelson usando o GeoGebra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0205>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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.

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. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/91/63>. Acesso em: 30 mar. 2025.

HOBSBAWM, E. **Era dos extremos**: o breve século XX (1914-1991). São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

LUNETTA, V. N.; HOFSTEIN, A. Simulations in science education. **Science Education**, v. 65, n. 3, p. 243-252, jul. 1981. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.3730650302>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-47442002000200002>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000200011>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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

MONTEIRO, M. A. A.; MONTEIRO, I. C. de 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, p. 1-10, 2009. Disponível em:  
<https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/reci/article/view/32>. Acesso em: 30 mar. 2025.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes. 1982.

MOREIRA, M. A. Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 4, n. 1, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.22409/resa2011.v4i1.a21094>. Acesso em: 30 mar. 2025.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2005.

MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação na Sala de Aula**. Brasília: Editora da UnB, 2006.

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.  
DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p987>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. DOI: 10.26843/renigma.v11i4.2377. Acesso em: 30 mar. 2025.

OKOLI, C. Guia para realizar uma revisão sistemática de literatura. **EaD em Foco**, v. 9, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18264/eadf.v9i1.748>. Acesso em: 30 mar. 2025.

OLIVEIRA, A. A. **Simulações Computacionais no Ensino de Física**: Contribuições da Filosofia da Tecnologia à Alfabetização Científica e Tecnológica. 2022. 80 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/12393>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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**, v. 29, n. esp. 1, p. 614-650, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp1p614>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/729/696>. Acesso em: 30 mar. 2025.

PIAGET, J. **Epistemologia Genética**. Petrópolis: Vozes, 1970.

PIAGET, J. **A formação do símbolo na criança**: imitação, jogo e sonho, imagem e representação. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

PIAGET, J. **Biologia e conhecimento**: ensaio sobre as relações entre as regulações orgânicas e os processos cognitivos. Petrópolis: Vozes, 1996.

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**, v. 17, n. 3, p. 792-812, set./dez. 2015. Disponível em: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/1720>. Acesso em: 30 mar. 2025.

RAMOS, M. G.; LIMA, V. M. R.; ROSA, M. P. A. **Contribuições do software IRAMUTEQ para a Análise Textual Discursiva**. In: CIAIQ2018 - Congresso Ibero-Americanano em

Investigação Qualitativa, 7., 2018, Brasil. Atas CIAIQ2018 - Investigação Qualitativa em Educação. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:  
<https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/14665>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. Disponível em: <https://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2017/07/Art6-vol19-julho-2017.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. Disponível em:

<https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/120>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ROSA, H. **Aceleração**: uma crítica social da modernidade. São Paulo: Editora Unesp, 2019.

SALVIATI, M. E. **Manual do aplicativo IRAMUTEQ**. Planaltina, DF: [s.n.], 2017. Disponível em: <http://www.iramuteq.org/documentation/fichiers/anexo-manual-do-aplicativo-iramuteq-par-maria-elisabeth-salviati>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p915>. Acesso em: 30 mar. 2025.

SILVA, N. C. Laboratório Virtual de Física Moderna: sistema para Espectrometria Gama. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32 n. 2, p. 542-562, ago. 2015. DOI: [10.5007/2175-7941.2015v32n2p542](https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n2p542). Acesso em: 30 mar. 2025.

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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO**, XXX, 2019, Brasília, Distrito Federal. Disponível em:  
<https://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/8751>. Acesso em: 3 nov. 2021

SOUSA, J. M.; SANTOS MALHEIROS, A. P. dos; 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, p. 988-1006, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p988>. Acesso em: 30 mar. 2025.

SILVA, T. T. Desconstruindo o construtivismo pedagógico. In: SILVA, T. T. (Org.). **Identidades terminais**: as transformações na política da pedagogia e na pedagogia da política. Petrópolis: Vozes, 1996. p. 213-235. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/231922>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p530>

SOUZA, M. A. R.; WALL, M. L.; THULER, A. C. M. C.; LOWEN, I. M. V.; PERES, A. M. O uso do software IRAMUTEQ na análise de dados em pesquisas qualitativas. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 52, e03312, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/reeusp/a/pPCgsCCgX7t7mZWfp6QfCcC/?lang=pt>. Acesso em: 30 mar. 2025.

VIGOTSKI, L. S. **La genialidad y otros textos inéditos**. Bueno Aires: Editorial Almagesto Colección Inéditos, 1998. p. 13-36.

VIGOTSKI, L. S. Aprendizagem e desenvolvimento intelectual na idade escolar. In: VIGOTSKI, L. S.; LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N. (Orgs.). **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. São Paulo: Editora Ícone, 2001. p. 103-118.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. A. Construtivismo, conhecimento científico e habilidade didática no ensino de ciências. **Revista da Faculdade de Educação**, São Paulo, v. 23, n. 1-2, p. 196-214, jan./dez. 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-25551997000100011>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.2815365>. Acesso em: 30 mar. 2025.

WINSBERG, E. Simulations, models, and theories: complex physical systems and their representations. **Philosophy of Science**, v. 68, p. 442-454, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1086/392927>. Acesso em: 30 mar. 2025.

WINSBERG, E. Simulated experiments: methodology for a virtual world. **Philosophy of Science**, v. 70, p. 105-125, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1086/367872>. Acesso em: 30 mar. 2025.

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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172001000200013>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ZIMAN, J. **Conhecimento público**. Belo Horizonte: Editora Itatiaia, 1979.



**Direito autoral e licença de uso:** Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](#).