

# ARTICULAÇÕES ENTRE COMPLEXIDADE E MEIO AMBIENTE: PROPOSTAS PARA O ENSINO DE FÍSICA

Giselle Watanabe-Caramello

*Universidade Federal do ABC e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo/IFSP*  
gisellewatanabe@gmail.com

Maria Regina Dubeux Kawamura

*Instituto de Física da Universidade de São Paulo/IFUSP*  
kawamura@if.usp.br

**RESUMO:** A perspectiva complexidade no tratamento das questões longe do equilíbrio vem ganhando espaço nas reflexões acerca das aulas de Ciências. Isso se deve, principalmente, pela dificuldade de se encontrar respostas exatas aos problemas dinâmicos e complexos, a exemplo das mudanças climáticas. Diante disso, esse artigo evidencia a necessidade de uma mudança na perspectiva de ciência para tratar tais questões e propõe uma estratégia de ensino, pautada nas organizações temática e conceitual e percursos temáticos, que pode levar à incorporação do olhar da complexidade no contexto das aulas de Física. Dos resultados, destaca-se a importância de se tratar a questão socioambiental incorporando a complexidade num contexto mais amplo, a saber, da educação, do ensino e da epistemologia, por meio de escolhas orientadas pelas ênfases dinâmica, temporal, entrópica e inter-relações.

**PALAVRAS- CHAVE:** complexidade, ensino de Física, meio ambiente, sequências de ensino.

## INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

As questões socioambientais, nas últimas décadas, vêm sendo preocupação das esferas sociais, incluindo a escola. Diferentes autores tem discutido vem destacando a importância de trazer para esse contexto a temática socioambiental, em especial, ao tratar dos impactos e dos custos financeiros e sociais das distintas opções energéticas. Na Física, o assunto pode ser abordado, por exemplo, a partir dos conceitos da Termodinâmica, em especial, considerando a importância do calor na origem e manutenção da vida, sua influência na dinâmica nos fenômenos climáticos; além da questão energética e os possíveis impactos no meio. Mas como essas questões estão sendo abordadas na escola? De forma geral, elas são tratadas como um problema com causas e soluções bem determinadas, o que, do ponto de vista da ciência contemporânea, não é legítimo diante da complexidade e dinâmica de sistemas abertos, como é o caso da Terra.

Diante disso, fica evidente a necessidade de: (i) promover uma educação capaz de lidar com situações em transformação, dinâmicas e complexas, presentes na realidade e vivência dos indivíduos, de forma que esse cidadão seja capacitado para enfrentar situações em que compõem os problemas contemporâneos; (ii) incorporar outras estratégias nas escolas para que os professores possam lidar com os temas socioambientais; (iii) incorporar a perspectiva da complexidade nos discursos relacionados

---

às questões dinâmicas e longe das certezas, significando tratar tais questões para além da descrição dos fenômenos, buscando outra forma de abordagem do próprio conhecimento científico. Essa busca se faz fundamental porque a visão de uma ciência limitada aos seus aspectos mais tradicionais, pautados exclusivamente nas Físicas Clássica e Quântica, tal como comparece frequentemente nos livros didáticos, parece insuficiente para essa discussão, demandando, portanto, novas abordagens.

Assim, partindo do pressuposto de que as questões socioambientais podem ser a porta de entrada para incorporar, nas aulas de Física, a perspectiva da complexidade e considerando as preocupações identificadas em (i), (ii) e (iii), o objetivo desse artigo é apresentar uma estratégia de ensino capaz de incorporar a perspectiva da complexidade, tomando como exemplo a temática das mudanças climáticas.

## **MARCO TEÓRICO: A PERSPECTIVA DA COMPLEXIDADE PARA TRATAR OS TEMAS SOCIOAMBIENTAIS**

Analisando o desenvolvimento da Física notam-se sucessivas e diferentes abordagens que ocorreram ao longo de sua história, sejam por rupturas com as próprias teorias ou a partir de novos instrumentais que foram introduzidos para ampliar ou fundamentar determinado conhecimento. Considerando esse desenvolvimento, identificam-se pelo menos três perspectivas da ciência - determinações, indeterminações e complexidade – que implicam em formas distintas de analisar e compreender o mundo (CINI, 1994).

A perspectiva das determinações (ou reducionismo/determinismo), ganhou papel de destaque diante de sua capacidade de inspirar confiança e certeza, tanto à comunidade científica quanto sociedade em geral. Nessa perspectiva, as escolhas delimitadas e a ênfase ao mecanicismo são aspectos que influenciam na resolução precisa de um problema: a partir das condições iniciais, é possível prever a evolução do sistema.

A perspectiva das indeterminações, associada à abordagem introduzida pela Mecânica Quântica, tem como principal característica a habilidade de encontrar respostas aos problemas sem que o objeto analisado seja concreto e visível, passível de experimentação direta. Com isso, é possível notar que o desenvolvimento dessa perspectiva de ciência não deriva necessariamente de observações diretas, mas de postulados ou princípios gerais, propostos por razões teóricas.

A perspectiva da complexidade busca estudar os sistemas em que os seus aspectos particulares impedem as generalizações. Assim, trata de situações longe do equilíbrio nas quais se destacam aspectos como o acaso, caos, sistemas recursivos e desordem. Nesse contexto, tais aspectos tornam-se objetos da ciência e, portanto, passíveis de serem estudados. Uma das principais características dessa perspectiva é a incorporação em seu discurso da imprevisibilidade, conduzindo às reflexões sobre o fim das certezas (PRIGOGINE, 1996; PRIGOGINE e STENGERS, 1984). Além disso, e quase como fundamento dessa abordagem, considera-se que ‘o todo não se reduz à soma das partes’, o que leva à interpretação de que a totalidade tem propriedades peculiares que não ficam explícitas na análise isolada das partes de um sistema, e vice-versa. Assim, a perspectiva da complexidade, sem deixar de lado as explicações pautadas no teor científico, procura promover reflexões que se aproximam de uma realidade longe das certezas.

## **METODOLOGIA**

A metodologia e análise da pesquisa foram baseadas numa reflexão teórica aportada em diferentes estratégias. Tais estratégias referem-se às investigações, de cunho concreto, realizadas com alunos e professores; e análise de espaços curriculares, tomando como referência os livros didáticos e currículos es-

---

colares, em diversos trabalhos de investigação (por exemplo, Watanabe-Caramello e Kawamura, 2009; 2011; 2012). Desse conjunto emergiu a percepção de que o conhecimento físico escolar contribui para uma visão estática da natureza, incompatível com sua própria realidade.

Para fazer frente a essa compreensão, buscou-se investigar o papel da complexidade e da Física do não equilíbrio, tendo como principais referenciais teóricos Morin (2007), Prigogine (1996), Prigogine e Stengers (1984) e Gould (1997). Por fim, visando o contexto da sala de aula, aprofundou-se as reflexões acerca dos trabalhos com temas, tomando-se como referência Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) e García (1998).

## **RESULTADOS: ELEMENTOS ESTRUTURADORES DAS AÇÕES EM SALA DE AULA**

A partir dessa base teórica e das reflexões que se estabeleceram nas práticas desenvolvidas, identificou-se a abordagem de temas nas aulas de Física como uma possibilidade de incorporação da perspectivada da complexidade.

Como resultado da articulação entre os aspectos identificados, propomos uma abordagem temática em que a orientação das ações toma por base a seleção de percursos temáticos de interesse em temas ambientais específicos. A construção desses percursos requer, no entanto, a análise dos conhecimentos científicos envolvidos no tema e do levantamento dos aspectos sócio ambientais mais relevantes referentes ao assunto. Assim, essa abordagem deve tomar como referência dois níveis distintos, os quais denominamos *organização temática* e *organização conceitual*. Na organização temática estão dispostos os aspectos do universo cotidiano, individual ou social, bem como aspectos políticos, econômicos e ambientais. Essa organização é elaborada de modo a sistematizar o universo de possibilidades de assuntos que envolvem o tema em questão, ao mesmo tempo em que apresenta e explora seus horizontes, podendo vir a constituir-se, para os professores, numa visão geral dos assuntos que poderão ser trabalhados em sala de aula. Não se trata, certamente, de uma sistematização única ou bem definida, mas de uma estrutura móvel, para um elenco dinâmico de aspectos, sendo permanentemente construída e reconstruída. Na organização conceitual estão dispostos os conhecimentos científicos disciplinares com intersecção curricular, que aparecem com grande potencial para explicar questões sobre o tema, de forma estruturada, explicitando suas mútuas relações. São exemplificadas, nesse trabalho, organizações temáticas e conceituais para o tratamento de dois temas: aquecimento global e questão da água.

Com base nessas estruturas, nossa proposta consiste no estabelecimento de *percursos temáticos* que envolvem escolhas realizadas nas organizações temática e conceitual. Essas organizações, como visto, representam de forma organizada, os aspectos e idéias relativas ao tema a partir de um enfoque global, isto é, do reconhecimento desse tema em diferentes espaços; já os percursos temáticos refletem as escolhas dos professores diante do universo de possibilidades trazidos por essas organizações.

Diante das organizações temática e conceitual, os professores fazem suas escolhas, tomando como referência elementos que melhor atendem suas necessidades. A nosso entender, quando o assunto trata-se das mudanças climáticas, essas escolhas devem ser norteadas por elementos da complexidade, orientados pelas *ênfases* (WATANABE-CARAMELLO, 2012).

As ênfases explicitam aspectos que nortearão as escolhas dos professores frente às organizações temática e conceitual. Em outras palavras, elas orientam os percursos temáticos. Elas transcendem aos temas específicos e conteúdos presentes nas aulas tradicionais de Ciências e Física, estando mais voltadas às abordagens do que aos conceitos. Ou seja, elas não se reduzem aos conceitos, ainda que os incorporem, podendo ser caracterizada como uma forma de abordagem que expressa intenções do professor, alunos e escola. Assim, para além da estruturação dos temas e conceitos que são levados à sala de aula como forma de tratar a problemática socioambiental, nos parece clara a necessidade de

---

privilegiar determinadas ênfases nas abordagens utilizadas. As ênfases que surgem a partir das nossas investigações evidenciam desde aspectos dinâmicos, temporais, entrópicos até as inter-relações que se estabelecem nos sistemas abertos, predominantemente recorrentes nas situações que envolvem a questão socioambiental.

Apenas como exemplo de possibilidades de trabalho em sala de aula, apresentamos um percurso temático por nós desenvolvido sobre as mudanças climática construído a partir dos elementos levantados nas organizações temática e conceitual. Esse percurso está orientado pela ênfase temporal, que privilegia aspectos históricos e suas influências no desenvolvimento dos sistemas. Isso significa, por exemplo, ter clareza que 'estabilidade' alcançada no meio atual é fruto de uma história de milhares de anos, assim como perceber que as interferências no meio hoje podem implicar em alguma mudança no futuro.

## CONCLUSÕES

De forma ampla, podemos concluir que as estratégias mencionadas nesse trabalho podem promover outro olhar da ciência, o da complexidade, para tratar as questões de natureza aberta. Mas isso só será contemplado se houver uma preocupação dos professores em promover mudanças mais amplas, pautando-se em discursos menos reducionista e determinista. Isso implicará incorporá-la no contexto da educacional, do ensino e da própria epistemologia.

No contexto da educação, implica (i) promover outra visão de ciência em que a simplificação e redução são elementos da complexificação e (ii) considerar a complexidade da temática ambiental no âmbito social, econômico, político e cultural, ou seja, ter clareza de que os problemas ambientais também tem interferências em outras esferas que compõem a sociedade e, portanto, não pode ser tratados apenas pelos viés científico.

No contexto do ensino, considerando os espaços de ação para a inserção da questão socioambiental na escola, incorporando seu estatuto, função e currículo atual, assim como dos obstáculos a serem superados. Incluiu, também, as perspectivas para a ação de professores, com ênfase em sua autonomia, explicitando possibilidades para a elaboração de seus percursos temáticos, ou sequencias didáticas. De forma geral, podemos dizer que o desenvolvimento do olhar da complexidade no contexto dessa dimensão implicou no tratamento da questão socioambiental pelo viés temático, longe da linearidade dos currículos. (abordagem temática e complexificação do conhecimento).

No contexto da epistemologia, consideramos a questão da complexidade nas Ciências Naturais e dos elementos que a caracteriza em uma abordagem de temas socioambientais, superando as abordagens da Física Clássica, ou mesmo Moderna, especialmente no que diz respeito ao reducionismo e à impossibilidade de previsões deterministas sobre a evolução de sistemas dinâmicos físicos. Vale lembrar que a abordagem aqui defendida procura incorporar na linguagem escolar uma visão menos simplificadora, sem desconsiderar completamente a natureza do conhecimento presente nos livros didáticos. De forma geral, podemos dizer que na Dimensão Epistemológica o foco está (i) na incorporação da linguagem da complexidade implicando lidar com o acaso, o caos e a dualidade ordem-desordem; (ii) na consideração dos Princípios da Termodinâmica não apenas como uma porta de entrada para as discussões de natureza dinâmica e complexa, mas pela possibilidade de trazer às reflexões os conceitos de flecha do tempo, os acontecimentos e o papel do acaso, além da irreversibilidade sob a perspectiva da entropia; (iii) na compreensão e entendimento dos sistemas vivos, implicando em lidar com as dinâmicas que envolvem sistemas abertos, dissipativos, desordem para gerar ordem, tempo limitante e construtivo, limite dos sistemas vivos e ciclo da vida.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CINI, M. (1994). *Un paradiso perduto*. Itália: Editora Feltrinelli.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. (2002). *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez.
- GARCÍA, J. E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Espanha: Díada Editora S. L.
- GOULD, S. J. (1997). 'O que é vida?' Como um problema histórico. In: Murphy e O'Neill (Org.). *O que é a vida? 50 anos depois*. São Paulo: Editora UNESP.
- MORIN, E. (2007). *Introdução ao pensamento complexo*. 3ª ed. Porto Alegre: Sulina.
- PRIGOGINE, I. (1996). *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: Editora da UNESP.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. (1984). *A nova aliança*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- WATANABE-CARMELLO, G. (2012). *Aspectos da complexidade: contribuições da Física para a compreensão do tema ambiental*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- WATANABE-CARMELLO, G., KAWAMURA, M. R. D. (2012) *A complexidade nas questões sócio-ambientais: dimensão temporal*. VII Seminário Ibérico/ III Seminário Iberoamericano CTS en la enseñanza de las Ciencias las, Madri.
- (2011). *Questões ambientais: a demanda por novas abordagens no ensino de Física*. In: XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Paraná: Foz do Iguaçu.
- (2009). *Questões ambientais: em busca de perspectivas para a compreensão da complexidade*. *Enseñanza de las Ciencias*, v.Extra, p.3126 - 3129.