

## TEORIA DO CAOS: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA

## CHAOS THEORY: A DIDATIC ABORDATION

Lucas Alberto de Souza Fernandes<sup>1</sup>, Valkíria Carla Long<sup>2</sup>, Maria Salete Vaceli Quintilio<sup>3</sup>, Luciana Aparecida Dellela<sup>4</sup>, Solange Vitória Alves<sup>5</sup>, Vandete Pereira Lima<sup>6</sup>

1. Licenciado em Física. Universidade do Oeste Paulista. São Paulo, Brasil.

2. Licenciada em Física. Universidade do Oeste Paulista. São Paulo, Brasil.

3. Física. Doutora em Ciências (Astronomia). Faculdade de Ciências e Educação Sena Aires. Goiás, Brasil. [saletevaceli@senaaires.com.br](mailto:saletevaceli@senaaires.com.br)

4. Pedagoga. Mestre em Pedagogia. Faculdade Ideal de Brasília. Distrito Federal, Brasil.

5. Pedagoga. Mestre em Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais. Distrito Federal, Brasil.

6. Pedagoga. Mestre em Educação Física. Universidade Tuiuti do Paraná. Paraná. Brasil.

## RESUMO

A dificuldade em aprender física é uma realidade incontestável nas escolas públicas e particulares. Embora presentes no cotidiano, os fenômenos físicos ainda são de difícil visualização para a maioria dos alunos fora da sala de aula. Portanto, é necessária a contextualização dos conceitos e fenômenos físicos para a realidade cotidiana dos alunos. A teoria do caos argumenta que qualquer interferência num sistema harmônico tende a desorganizá-lo. Para alunos do ensino médio trata-se de conceitos extremamente complexos. O objetivo deste trabalho é propor uma transposição didática, metodologia que permite levar teorias científicas como esta para as salas de aula. Este estudo envolveu o levantamento bibliográfico na literatura e nos meios eletrônicos, a fim de conhecer o tema. Uma transposição didática foi proposta visando uma abordagem mais acessível da Teoria do Caos aos alunos do Ensino Médio. Diferentemente de uma contextualização, onde exemplificamos um fato com exemplos do dia a dia, a transposição didática aparece como uma forma de "digerir" um estudo científico, apresentando-os de forma mais simples. A utilização desta estratégia didática vem de encontro à inclusão da Física Moderna no Ensino Médio, prevista pelos Parâmetros Curriculares Nacionais.

**Descritores:** Ensino de Física; Transposição didática; Teoria do caos.

## ABSTRACT

The difficulty in learning physics is an indisputable reality in public and private schools. Although present in everyday life, physical phenomena are still difficult to visualize for most students outside the classroom. Therefore, it is necessary to contextualize the concepts and physical phenomena for the daily reality of the students. Chaos theory argues that any interference in a harmonic system tends to disrupt it. For high school students, these are extremely complex concepts. The objective of this work is to propose a didactic transposition, methodology that allows to take scientific theories like this to the classrooms. This study involved the literature review in the literature and in the electronic means, in order to know the theme. A didactic transposition was proposed aiming at a more accessible approach of Chaos Theory to high school students. Unlike a contextualization, where we exemplify a fact with examples from day to day, didactic transposition appears as a way to "digest" a scientific study, presenting them in a simpler way. The use of this didactic strategy is in line with the inclusion of Modern Physics in High School, predicted by the National Curricular Parameters.

**Descriptors:** Physics Teaching; Didactic transposition; Chaos theory.

**Como citar:** Fernandes LAS, Long VC, Quintilio MSV, Dellela LA, Alves SV, Lima VP. Teoria do caos: uma abordagem didática. Rev Inic Cient Ext. 2018; 1(Esp.3):294-9.

## INTRODUÇÃO

A dificuldade em aprender física é uma realidade incontestável nas escolas públicas e particulares. Embora presentes no cotidiano, os fenômenos físicos ainda são de difícil visualização para a maioria dos alunos fora da sala de aula. Portanto, se faz necessário a contextualização dos conceitos e fenômenos físicos para a realidade cotidiana dos alunos. O professor precisa tomar um conceito ou teoria física escrito em linguagem científica e traduzi-lo para uma linguagem mais acessível ao aluno, fazendo analogia com objetos e fatos com que ele convive diariamente. Isto é, descrito de maneira muito simples, a transposição didática.

Trata-se de construir uma sequência ou relação didática para apoiar e alavancar a aula. Para isso, o professor parte de um problema a partir do qual traça um caminho e uma estratégia a fim de construir os conhecimentos e, então buscar a sua solução.

E temos, então, as teorias extremamente complexas da Física moderna, que estão sempre divulgadas na mídia. Entre elas, a Teoria do Caos.

Para entendermos esse tema, uma incógnita para muitos estudantes, e professores, é preciso conhecer Edward Lorenz, matemático e meteorologista, que defendia que pequenos acontecimentos num ponto do planeta podem originar grandes mudanças no ponto oposto, o chamado “efeito borboleta”.

A partir daí, busca-se fazer uma mudança de linguagem, compondo uma abordagem acessível que possa se aplicada numa sequência didática aos alunos do Ensino Médio.

Ao planejar uma aula, o professor já possui uma ideia do conjunto de conceitos que pretende ensinar, mas os alunos ainda não possuem essa relação. É necessário que o professor transforme esses saberes disciplinares, estabelecendo relações didáticas, para saberes que possam ser compreendidos pelos alunos. Ou seja, que ele busque uma aproximação entre o seu discurso e o discurso de seus alunos, mediando a relação entre estes e os conhecimentos que se pretende ensinar. Esse processo chama-se contextualização.<sup>1</sup>

Segundo Ricardo<sup>1</sup>, a contextualização pode ser vista sob três enfoques: o primeiro como elemento motivador da aprendizagem, apoiado pelas próprias Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, as DCNEMs.<sup>2</sup> O segundo enfoque precede, de certa forma, a interdisciplinaridade, na medida em que favorece a interação de vários tipos de ciências. Tal enfoque também é apoiado pelos Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCNs+).

O terceiro enfoque, que articula os dois primeiros, está relacionado justamente à Transposição Didática, termo cunhado por Chevallard<sup>1</sup>, que lida com as várias transformações que o saber científico passa até chegar à sala de aula.

Ricardo<sup>1</sup> conta que Chevallard, baseado em ideias de Michel Verret, em 1975, desenvolveu a noção de transposição didática analisando o caminho percorrido desde os saberes produzidos pelos cientistas até chegar aos professores e às salas de aula. Chevallard mostrou que não se trata apenas de simplificações, mas de um “novo saber reorganizado e com modificações sofridas ao longo desse percurso, de modo que estejam aptos a serem ensinados”.

Entretanto, a credibilidade do rigor científico assegurado pela pesquisa científica não é garantida para o seu ensino. É necessário atenção e cuidado na hora de usar tal método ao criar uma relação que permita uma abordagem didática de uma teoria complexa.

Assim, para uma aprendizagem significativa, Perrenoud<sup>3</sup> destaca que um dos desafios do professor é justamente organizar e dirigir situações de aprendizagem, onde elaborar sequências didáticas que serão seguidas torna-se recurso fundamental.

Para a relação didática, é necessário escolher uma situação-problema, que pode vir de uma notícia ou um documentário. A partir daí, a escolha da estratégia, uma transposição didática, por exemplo, e a finalização.

Assim, este estudo tem por objetivo propor uma Transposição didática que resulte numa abordagem acessível da teoria do caos e que possa ser apreendida por alunos do ensino médio.

## MÉTODO

O tema escolhido, a Teoria do Caos, envolve uma matemática complexa e conceitos aparentemente abstratos. Um levantamento bibliográfico em revistas científicas e na internet foi realizado a fim de estabelecer a relevância do tema e obter conhecimento científico sobre o assunto. Após esse estudo, buscou-se exemplos de fenômenos onde tal teoria pode ser aplicada. A partir daí, o professor tem subsídios para explicar a Teoria do Caos e transformar o “saber científico” em “saber ensinado”. Com isso, define-se uma metodologia baseada na transposição didática.

Vale lembrar que, diferentemente de uma contextualização, onde exemplificamos um fato com exemplos do dia a dia, a transposição didática aparece como uma forma de “digerir” um estudo científico, apresentando-os de forma mais simples aos alunos do ensino médio. Assim, a transposição didática busca selecionar e inter-relacionar o conhecimento científico adequando-o às reais possibilidades cognitivas dos estudantes.

A utilização desta estratégia didática é uma ferramenta muito útil que vem de encontro à inclusão da Física Moderna no Ensino Médio, prevista pelos PCNs.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Transposição didática: entendendo a teoria do caos

Caos, de acordo com o dicionário da Academia Brasileira de Letras (2012), significa confusão de todos os elementos ou ainda, grande desordem. Na mitologia, Caos é o início de tudo, antes de existir a Ordem (Cosmo).

Em Física, o Caos implica que uma mínima alteração dentro de um sistema organizado poderia ocasionar consequências desconhecidas, catastróficas e desorganizadas, ou ainda, imprevisíveis.

O centro da teoria do caos, também chamada de ciência da complexidade, que inclui a meteorologia, a termodinâmica, a epidemiologia e a dinâmica não-linear, é a descoberta de que, “escondidas dentro da imprevisibilidade, há profundas estruturas de ordem”.<sup>4</sup> Seus modelos são aplicados a sistemas tais como o movimento dos olhos, a flutuação de populações animais, modificações econômicas, etc.

Borman<sup>5</sup> define sistemas caóticos como aqueles que apresentam irregularidades e extrema sensibilidade às condições iniciais. Parecem completamente aleatórios, mas são essencialmente deterministas. Isto é, podem ser descritos por equações matemáticas normalmente simples. Porém, se não se conhece as condições iniciais, é inviável prever o que vai acontecer. E conhecer as condições iniciais é geralmente impossível.

Neste contexto, alguns autores apontam que o nome Teoria do Caos é inadequado, pois caos significa justamente a ausência de ordem. A Teoria do Caos teve seu marco inicial em 1960, com o meteorologista norte americano Edward Norton Lorenz, que estudava movimentos de massas de ar.

Ao rodar uma simulação de seu modelo no computador disponível na época, bastante disputado e lento, Lorenz introduziu um valor impresso obtido anteriormente, a fim de continuar os cálculos a partir daquele ponto e economizar tempo. No entanto, os valores que ele introduziu tinham um número menor de casas decimais que o padrão da máquina. Após poucas interações, os gráficos que obteve não coincidiam com os anteriores. Descartando a possibilidade de defeito no computador ou erro de digitação, Lorenz concluiu que se tratava de uma propriedade daquele sistema de equações: a enorme sensibilidade do sistema às condições iniciais. Ou seja, a simples diminuição de alguns dígitos nos dados iniciais provocara um grande desvio nos resultados! Devemos salientar que Lorenz já esperava esse comportamento, ao contrário do que muitos historiadores divulgam, de que ele teria se surpreendido após ir tomar um café, ou que teria introduzido no computador os números impressos casualmente faltando algarismos.<sup>5-6</sup>

Lorenz utiliza o computador como um recurso de modelagem científica, onde ele deixa de ser apenas uma calculadora gigante e começa a fazer parte do método experimental. Com isso, Lorenz introduz duas inovações: ele consegue provar a propriedade da sensibilidade (dependência) às condições iniciais (conhecida como efeito borboleta) e desenhar o gráfico do “atrator<sup>1</sup>” sugerida por Poincaré (Fig.1). As conclusões apresentadas por Aubin e Dalmenico<sup>6</sup> num trabalho de 1963, podem ser resumidas em duas fundamentais: 1) a sensibilidade às condições iniciais é uma característica intrínseca de certos sistemas dinâmicos não-lineares e 2) equações simples podem gerar comportamentos complexos.

Um fato curioso é que essas conclusões passaram despercebidas por quase 10 anos por ter sido publicada no *Journal of The Atmospheric Sciences*, uma revista de Meteorologia pouco consultada pelos físicos e matemáticos.<sup>6</sup>

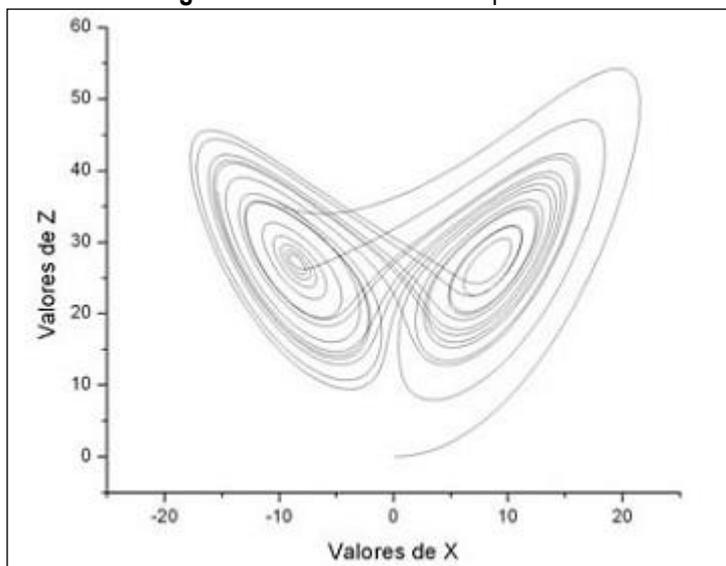
A metáfora da borboleta que provoca um tornado nasceu em uma palestra apresentada por Lorenz em um congresso em 1972, intitulada “*Previsibilidade: A Batida das Asas de uma Borboleta no Brasil provoca um Tornado no Texas?*”. O autor não responde à questão que levanta, mas a borboleta viria a se transformar num símbolo de sensibilidade às condições iniciais. O sucesso dessa metáfora se

---

<sup>1</sup> Atrator é o ponto ou região para onde evolui o sistema quando o número de iterações tende a infinito.

deve também à aparência de borboleta na representação do atrator de Lorenz no plano XZ (Fig.1), uma feliz coincidência muito conveniente, e à grande repercussão do livro de James Gleick, onde o “Efeito Borboleta” aparece como título do primeiro capítulo.<sup>7</sup>

Figura 1. Atrator de Lorenz no plano xz.



Fonte: Ferrari.<sup>6</sup>

Lorenz notou que, para períodos curtos de tempo como um ou dois dias, essas pequenas variações tinham efeitos desprezíveis, mas em períodos mais longos, em um mês ou mais, as mudanças no sistema organizado produziram efeitos caóticos imprevisíveis. Assim, por exemplo, o movimento de uma placa tectônica próximo de sua origem pode não produzir nenhum efeito mensurável, mas a sua propagação energética a quilômetros dali poderia produzir efeitos devastadores, tais como tsunamis. Lorenz percebeu, portanto, a dificuldade em se fazer previsões a longo prazo, exemplificando sua descoberta com a famosa metáfora do efeito borboleta, na qual o bater das asas de uma borboleta num continente poderia causar um tufão no outro.<sup>7</sup>

Assim, é considerado um sistema caótico aquele que mantém suas características diante de pequenas perturbações, isto é, é globalmente estável apesar de localmente imprevisível.<sup>8</sup>

Com o tempo, cientistas concluíram que a mesma imprevisibilidade aparecia em quase tudo, do ritmo dos batimentos cardíacos às cotações da Bolsa de Valores. No século XX, em meados da década de 70, o matemático polonês Benoit Mandelbrot (1924 – 2010) deu um novo impulso à teoria ao notar que as equações de Lorenz batiam com as que ele próprio havia feito quando desenvolveram os fractais, figuras geradas a partir de fórmulas que retratam matematicamente a geometria da natureza, como o relevo do solo ou as ramificações de nossas veias e artérias.

O termo fractal indica um objeto geométrico que nunca perde sua estrutura, independentemente da linha de visada, e tem um padrão repetitivo, auto-semelhante: ao ser dividido em partes, cada uma delas é exatamente igual à original.<sup>9</sup>

A junção do experimento de Lorenz com a matemática de Mandelbrot indica que o caos parece estar na essência de tudo, moldando o Universo.

A teoria do Caos busca, no aparente acaso, uma ordem determinada por leis precisas e aparece em processos aparentemente casuais, como crescimento populacional e flutuações do mercado financeiro, como já dito.<sup>9</sup>

Além dos supra citados, a teoria do Caos não é exclusiva das ciências exatas, mas surge em vários campos, inclusive nas Ciências biológicas e Humanas.

Assim fazendo nossa construção proposta da transposição didática, transformamos os conceitos teóricos em exemplos de casos da aplicação da Teoria do caos.<sup>10-11</sup>

1. Na Matemática, esta teoria abriu um novo campo na área de sistemas de equações não-lineares; a análise de dados aleatoriamente dispersos impulsionou a evolução do tratamento estatístico e da noção de probabilidade. Por outro lado, a Geometria Fractal aprofundou a ideia intuitiva de infinito. De certo modo, o estudo de fractais deu início à “verdadeira” Matemática computacional, aquela que não tem solução analítica.

2. Na Física, o conceito de Caos traz uma nova luz sobre a entropia, que mede também a complexidade de um sistema, e sobre os fundamentos da Mecânica Quântica, principalmente um de seus conceitos mais complexos, o Princípio de Incerteza de Heisenberg, o qual limita a precisão de medidas simultâneas de certas grandezas físicas correlacionadas, como posição/velocidade e energia/tempo. Werner K Heisenberg (1901 – 1976) desenvolveu um dos pilares da Física Quântica, juntamente com Niels Bohr (1885 – 1962) e Erwin Schrödinger (1887 – 1961).  
O caos gera novas figuras fractais, que podem representar inúmeros processos físicos, tais como cristalização, deposição eletrolítica, mistura de fluidos com diferentes viscosidades, e outros.  
O próprio conceito de Caos tem potencial para ser encontrado em cada vez mais sistemas físicos, pois os sistemas dinâmicos não-lineares representam uma área de intensa pesquisa em Física.
3. A Astronomia é fecunda em sistemas caóticos, desde o sistema solar até as maiores estruturas do Universo. Descobriu-se que as órbitas dos astros tem uma evolução caótica em intervalos de tempo da ordem de centenas de milhões de anos. Um exemplo em nosso próprio Sistema Solar encontra-se no cinturão de asteroides entre Marte e Júpiter: porque os asteroides não se juntaram para formar um planeta: a interação gravitacional de 3 corpos já é complexa o suficiente para gerar o Caos.
4. Na Biologia tem-se usado esta teoria para fazer previsões em relação à evolução genética das espécies que acontecerá na Terra, simulações realistas de formas de vida artificiais e uma nova abordagem da atividade cerebral. Os programas de televisão que mostram espécies futuras que habitarão a Terra fazem suas previsões baseadas na Teoria do Caos.
5. Na Sismologia, embora a Teoria do Caos não ofereça a possibilidade da previsão de tremores, tem permitido a cartografia de falhas sísmicas, através do estudo da distribuição caótica da localização e intensidade dos terremotos.
6. Na Medicina, a variabilidade de frequências cardíacas é modulada pelo Sistema Nervoso Autônomo, que exibe comportamento não-linear, e, portanto caótico. Assim, com base nesta teoria descobriu-se que se houver uma pequena falha no padrão fractal (caótico), o bater do coração deixa de ser perfeitamente periódico, podendo indicar uma insuficiência cardíaca ou outra anomalia cardíaca. O sistema pulmonar também exibe características fractais.
7. Na Ecologia, a Geometria Fractal é usada para resolver problemas de dinâmica do transporte de energia em meios fluidos (hidrodinâmica).
8. Em Ciências Humanas e Ciências Políticas tem-se usado a teoria para tentar prever o comportamento de multidões.
9. Na Economia, a Teoria do Caos permite estudar a evolução da bolsa de valores: as ações se comportam de forma aparentemente aleatória a curto prazo, mas apresentam um certo padrão a médio e longo prazo. Em 1997, dois americanos receberam o Prêmio Nobel de Economia por terem conseguido desenvolver uma fórmula que permite prever aplicações financeiras a partir da Teoria do Caos.
10. Na Linguística, a evolução das línguas e dialetos tem sido estudada com base na Teoria do Caos.
11. Em mineração, a Teoria do Caos é usada para medir a densidade dos minerais, a evolução de terrenos e a descontinuidade nas rochas.
12. Na Arte, a geometria fractal revolucionou o realismo visual, sendo usada na criação de imagens espetaculares e de mundos bizarros para jogos, animações e filmes, com detalhe variável de acordo com a escala.
13. No Cinema, a aplicação de uma metodologia que envolve fractais tem revolucionado os filmes de ficção científica, dando-lhes muito mais realismo, uma vez que computacionalmente já é possível desenvolver cenários “do nada”, ou melhor, da Matemática fractal. Um bom exemplo disto está no filme Avatar, em que os cenários, obviamente, foram todos criados computacionalmente.

Muitos outros exemplos podem ser encontrados, bastará que se esteja à procura do Caos.

Além dos diversos livros publicados, este tema está presente em diversos outros meios de comunicação: filmes, reportagens de televisão, histórias em quadrinhos, Internet, etc. Macau e Gregori<sup>12</sup>, publicaram um artigo intitulado “Surfando no Caos” onde mostram uma aplicação da Teoria do Caos na definição de trajetórias na exploração espacial. Muitas revistas científicas e de divulgação científica publicam inúmeros artigos dedicados a esse tema, com diversos outros exemplos.

## CONCLUSÃO

A abordagem proposta ensina como o caos está presente nos fenômenos mais diversos, tanto na natureza como no cotidiano da humanidade. Assim, a descrição de sistemas complexos pode ser entendida de maneira mais simples com a analogia do efeito borboleta: uma borboleta que bate as asas aqui, causa uma movimentação do ar que pode levar a uma cadeia de eventos e pode gerar um efeito gigantesco em outro local.

Entendendo que o Caos permeia o Universo, e entendendo a impossibilidade de prever com 100% de segurança os fenômenos e eventos descritos pela Teoria do Caos, o professor pode então construir sua sequência didática, transformando a linguagem formal da ciência para uma linguagem mais acessível aos estudantes do Ensino Médio, que tem a Física Moderna incluída no seu currículo.

## REFERÊNCIAS

1. Ricardo EC. Problematização e contextualização no ensino de física. In: Carvalho et al. (org). **Ensino de Física**. Coleção Ideias em Ação. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
2. Brasil. Ministério da Educação, Secretaria da Educação média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC, SEMTEC, 1999.
3. Perrenoud P. **Dez novas competências para ensinar**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
4. Ferreira VR. **Mongólia: uma narrativa caótica?** Dissertação de mestrado em Letras. Rio de Janeiro: PUC. 2008.
5. Wood Jr. T. Caos: a criação de uma nova ciência? **Rev. Adm. de Empresas**, São Paulo: 33(4): 94-105. Jul/Ago. 1993.
6. Ferrari PC. **Temas contemporâneos na formação docente a distância: uma introdução à teoria do caos**. Tese de doutorado em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis: UFSC. 2008.
7. Gleick J. **Caos: a construção de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Campus, 1990.
8. Dana S. Cosmos ou caos. **Augusto Guzzo Revista Acadêmica**, São Paulo, 4: 27-32, Ago. 2012. ISSN 2316-3852. [acesso em 30 dez 2013]. Disponível em [http://www.fics.edu.br/index.php/augusto\\_guzzo/article/view/101](http://www.fics.edu.br/index.php/augusto_guzzo/article/view/101)
9. Oliveira LCB de, Mendes EA. Estudo da teoria do caos e dos fractais, e dos sistemas complexos e suas possíveis aplicações em Matemática. **Exacta**, São Paulo, 4(especial): 99-101. 25 nov. 2006.
10. Resende AI, Neves C, Castanheira S. Geometria Fractal e Teoria do Caos. 2004. [acesso em 30 nov 2013]. Disponível em <http://www.mat.uc.pt/~mcag/FEA2004/Geometria%20Fractal%20e%20Teoria%20do%20Caos.pdf>
11. Lopes M. **Teoria do Caos**. 2011. [acesso em 30 nov 2013]. Disponível em <http://sophiaofnature.wordpress.com/2011/04/25/teoria-do-caos/>
12. Macau EEN, Grebogi C. Surfando no Caos. **Ciência Hoje**, São Paulo: 34(204), 2004.