



## A teoria do caos nas ciências da natureza

### The chaos theory in the nature Science

Thamyres Sabrina Gonçalves<sup>1</sup>

Página | 2571

<sup>(1)</sup>ORCID: 0000-0002-6433-6334, Geógrafa, Mestre em Ciência Florestal, Doutora em Produção Vegetal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. campus JK localizado na cidade de Diamantina/MG, BRAZIL. E-mail: [sabrina5thamy@yahoo.com.br](mailto:sabrina5thamy@yahoo.com.br).

Todo o conteúdo exposto neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

*Recebido em: 23 de abril de 2020; Aceito em: 11 de maio de 2020; publicado em 10 de 10 de 2020. Copyright© Autor, 2020.*

**RESUMO:** A teoria do caos em ecologia foi um importante avanço dessa ciência em termos de método científico, pois, muito do que se pensava e fazia de análise estatística foi repensado a partir das propostas da equação logística originada pela ideia da teoria do caos. Nesse contexto, é importante compreender as contribuições e as limitações que a dinâmica caótica em sistemas naturais ou em dados ecológicos pode ter para a ecologia. O objetivo desse trabalho foi fazer uma revisão de como a teoria do caos e suas propostas teóricas, estatísticas e metodológicas influenciaram na ecologia. Os resultados da revisão apontam para uma compreensão de que a teoria do caos possui muitas limitações para a ecologia por vários motivos diferentes, e que em contrapartida também traz importantes contribuições e apresenta perspectivas interessantes para novos estudos e pesquisas em ecologia e biologia da conservação. Conclui-se aqui que a teoria do caos foi apenas um passo na ideia de repensar a estatística em ecologia e que muito ainda precisa ser questionado e acrescentado para que se possa de fato dizer se o caos em sistemas naturais existe ou não.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistemas caóticos, estatística, dinâmicas naturais, ecologia, conservação.

**ABSTRACT:** Chaos theory is important advancement of this science in terms of scientific method, because much of what is thought in statistical analysis was rethought from the logistic equation originated for idea of chaos theory proposed. In this context, it is important to understand the contributions and the limitations that the chaotic dynamics in natural systems. The aim of this study was to review how chaos theory and his theoretical, statistical and methodological proposals influence. The results of the review indicate an understanding that chaos theory has many limitations for ecology for several different reasons, and that in turn also makes important contributions and offers interesting perspectives for further studies and research in management and conservation biology.

**KEYWORDS:** caotic systems, statistic, dynamic natural, ecology, conservation.

## INTRODUÇÃO

A construção da ciência se dá por meio do debate acerca das teorias e métodos de se fazer e se pensar cientificamente, faz-se necessário perguntar-se antes de rever sobre as contribuições da dinâmica caótica: porque discutir sobre a teoria do caos? Quiçá seja a busca por esta resposta o questionamento fundamental existente por traz dos objetivos de uma pesquisa sobre a influência da existência ou não do caos na ciência. O significado do caos foi discutido por Ferr (2012), no qual se conceitua o caos como uma diferença sistemática entre as condições de início e término de um sistema, onde a dinâmica caótica se dá entre o começo e o fim.

A teoria do caos adveio da meteorologia quando Lorenz (1962) ao analisar os dados climatológicos no Instituto Internacional de Meteorologia de Massachusett descobriu que pequenos números a direita de uma vírgula poderiam fazer uma diferença enorme nos resultados finais da previsão climática, daí concluiu que o estado inicial de um sistema possui fortes influências na condição final da dinâmica sistemática deste.

A teoria do caos foi popularizada e ainda hoje é muito conhecida como efeito borboleta (MARQUEZI, 2008), que prediz que o bater de asas de uma borboleta no Brasil provoca um tornado no Texas. Certamente essa frase enigmática tem um objetivo muito mais para impactar do que de provar necessariamente que um tornado no Texas tenha sido causado pelo bater de asas de uma borboleta no Brasil, já que foi apresentada ao mundo em uma reunião da Sociedade Americana para o Progresso da Ciência.

No tratamento estatístico desses dados percebeu-se então que sistemas naturais, como o clima, poderiam às vezes se comportar de forma não linear em relação à sistemática de seus processos. Nesse contexto, boa parte da discussão sobre a teoria do caos no campo da estatística se dá por meio da análise de sistemas não lineares (PALIS, 1994; KATO & BELLINI, 2010; FERR, 2012). Palis (1994) considera que esse campo teve início com o grande matemático francês Henri Poincaré, há mais de 100 anos, mas que sua origem está claramente vinculada à mecânica celeste e, nesse sentido, pode-se mencionar Newton, Galileu e muitos outros como pioneiros.

Apesar de teorias matemáticas, informacionais e estatísticas existirem desde que o ser humano começou a pensar (FONSECA-FILHO, 2007), a teoria do caos especificamente teve seu surgimento em grande parte devido à evolução tecnológica e ao avanço técnico-científico com a geração de novos computadores, cada vez mais modernos que processavam cada vez mais informações em menos tempo e espaço,

porque assim foi possível testar o caos, ou seja, avaliar quantitativamente os dados para descobrir se de fato existe um caos controlando o sistema. Convém lembrar que dados biológicos são quase sempre muito complexos, a quantidade de amostras muito grande e a necessidade de repetições proeminente (PILLAR, 1996).

Dentre esses vários pesquisadores interdisciplinares que existem na ciência está o físico teórico Robert May, que embora tivesse uma formação voltada para o estudo das ciências exatas, se interessou pela biologia durante sua formação acadêmica após a graduação, no mestrado, doutorado e pós-doutorado, onde conviveu com muitos biólogos (KATO & BELLINI, 2010). Sabendo ele da existência da teoria do caos, passou a acreditar que esta muito poderia contribuir no estudo de ecologia de organismos, ou na verdade, que ao se considerar a possibilidade de existência do caos, poderia ser mais bem compreendido em relação ao funcionamento de sistemas naturais, fez-se então uma união entre a física teórica e a ecologia quantitativa que levou May (1974) a publicar o artigo clássico da possível existência de um caos natural em fenômenos ecológicos.

A partir da teoria do caos a ecologia quantitativa ganhou possibilidades para novas abordagens, visões e formas de ver e principalmente de analisar os fenômenos ecológicos, e mesmo que a teoria do caos tenha sido a princípio e ainda hoje seja muito pouco aceita, considerada e valorizada pelos cientistas em geral, é indubitável que ela trouxe uma nova era da análise para a ecologia quantitativa, pois mudou a forma de pensar dos pesquisadores sobre os sistemas ecológicos.

Os modelos caóticos se aplicam muito bem a sistemas biológicos provavelmente pelas relações entre imprevisibilidade e aleatoriedade, que possuem, todavia uma dinâmica sistemática de funcionamento, ou seja, são sistemas cuja evolução temporal se processa de maneira aparentemente aleatória, porém regida por uma lei determinística. As concepções epistemológicas da teoria do caos atribuem três características básicas a um sistema que possa ser dito como caótico, a primeira destas refere-se à unicidade do sistema, a segunda um aspecto de imprevisibilidade e a outra confere certa regularidade ao sistema caótico (Fig.1).

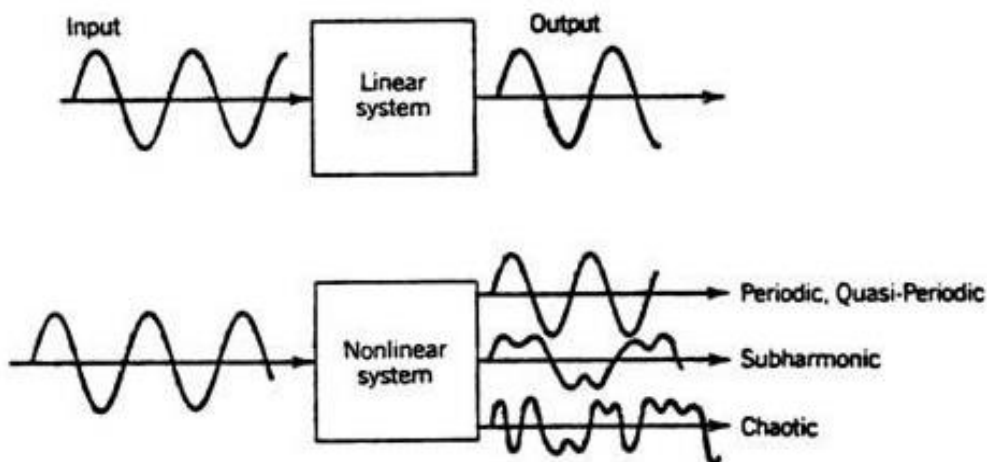


Figura 1: Sistemas caóticos e a não linearidade. Fonte: Kato & Bellini, 2010.

Um dos aspectos mais interessantes da teoria do caos é de fato a relação entre seu desenvolvimento e fortalecimento como teoria e a evolução de conceitos e sistemas de ordem técnica, científica e tecnológica que possam dar base ao entendimento de como funcionam os sistemas biológicos que são naturalmente caóticos. Nessa perspectiva, a discussão ganhou nos últimos anos grandes contribuições dos estudos com modelagem, e a partir daí foi possível inserir a técnica da modelagem ao estudo experimental dos sistemas ecológicos com comportamento caótico conforme abordam Giacomini (2007) e Lima (2012) ambos defendendo a utilização da modelagem ecológica para trabalhos com biologia de espécies, ecologia de populações e de comunidades.

No caso dos sistemas caóticos os testes se aplicariam a comparar a dinâmica entre a linearidade e a não linearidade no sistema. Em uma análise das contribuições da teoria do caos para o conhecimento da realidade dos sistemas da natureza, Laccalle (2011) discute sobre a busca de linearidade, colocando que a natureza e os sistemas naturais, o que inclui os biológicos, ecológicos enfim, sempre foram regidos por uma dinâmica caótica e que a necessidade humana de buscar padrões, de simplificar as coisas é que de certo modo impôs a ciência, sobretudo a estatística essa tendência de analisar os sistemas biológicos como lineares, enquanto a dinâmica da natureza como um todo, esteve desde sempre associada a um sistema caótico determinístico, ou seja, que apesar de estar inserido em toda aquela concepção integralista da Teoria de Gaia é um sistema controlado por eventos caóticos em sua dinâmica de evolução temporal.

O objetivo desse artigo é trazer uma discussão sobre a relevância da teoria do caos para a ciência, com enfoque na ecologia e nas ciências da natureza, com intuito de apontar suas possíveis contribuições para o manejo e conservação de espécies. A metodologia de pesquisa é pautada por uma revisão bibliográfica qualitativa, de importantes trabalhos sobre a teoria e os principais pesquisadores do tema no Brasil e no mundo.

### A TEORIA DO CAOS: APLICÁVEL, ACEITÁVEL, ÚTIL?

Em se tratando de sistemas não lineares, a teoria do caos pode ser pensada como uma abordagem teórica complementar ou como alternativa à teoria das probabilidades (Figura.2), no tocante à modelagem e ao entendimento de sistemas cujas séries temporais sugiram comportamento aparentemente aleatório (Figura.3).

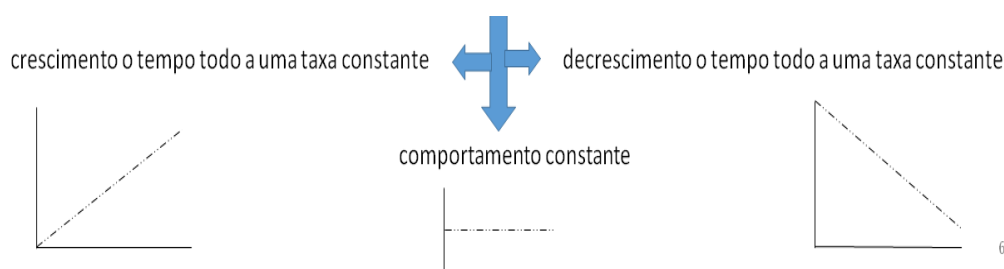


Figura 2: os três tipos de comportamento sistemático possíveis em um sistema linear.

Fonte: Autora.

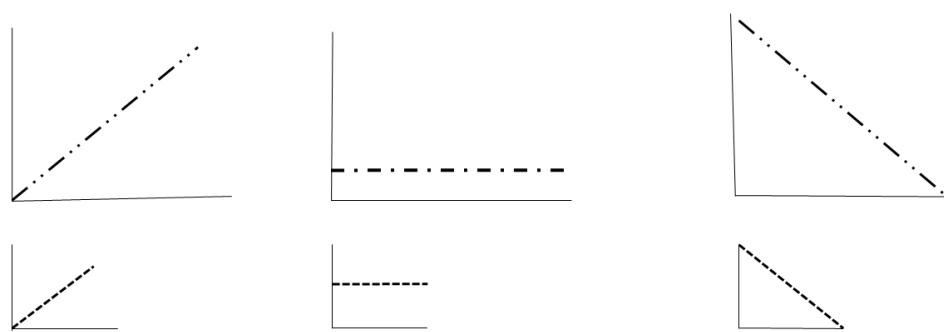


Figura 3: Distinção entre sistemas com dinâmica caótica e os simplesmente lineares.

Fonte: Autora.

Uma das maiores dificuldades na aceitação da teoria do caos deve-se ao caráter quantitativista que ela apresenta. Mas essa é a maior contribuição dessa teoria para a análise ecológica, uma mudança de paradigmas na ecologia quantitativa, pois, provido de um conceito preciso o caos pode ser mensurado, e deixa então de ser apenas uma visão

filosófica da natureza que é entendida como uma ideia que pode até fazer sentido, mas que não pode ser mensurada. Os sistemas caóticos ser mensurados, testados, experimentados e até modelados, daí a importância da ecologia para a própria teoria e vice versa.

A principal métrica utilizada para tal fim denomina-se expoente de Lyapunov, em uma linguagem quantitativa os expoentes de Lyapunov são os parâmetros matemáticos que nos permitem calcular o efeito borboleta, ou seja, conhecer a real possibilidade estatística em termos de intensidade, temporalidade e frequência com que o bater das asas de uma borboleta no Brasil pode efetivamente ter a probabilidade de causar um terremoto no Texas. Já na linguagem qualitativa diz-se que esses expoentes podem ser positivos, indicando assim um comportamento caótico no sistema, ou negativos e nulos, representando, portanto, a estabilidade sistemática e o comportamento cíclico de um sistema não caótico. Esses expoentes medem o quanto a condição inicial do sistema variou e influenciou no estado final (Figura 4), o quanto o fim é sensível ao início (Figura 5), e para medirmos o quão sensível é o sistema é necessário medirmos a taxa com a qual dois pontos muito próximos se distanciam mediante a evolução do sistema (Figura 6).

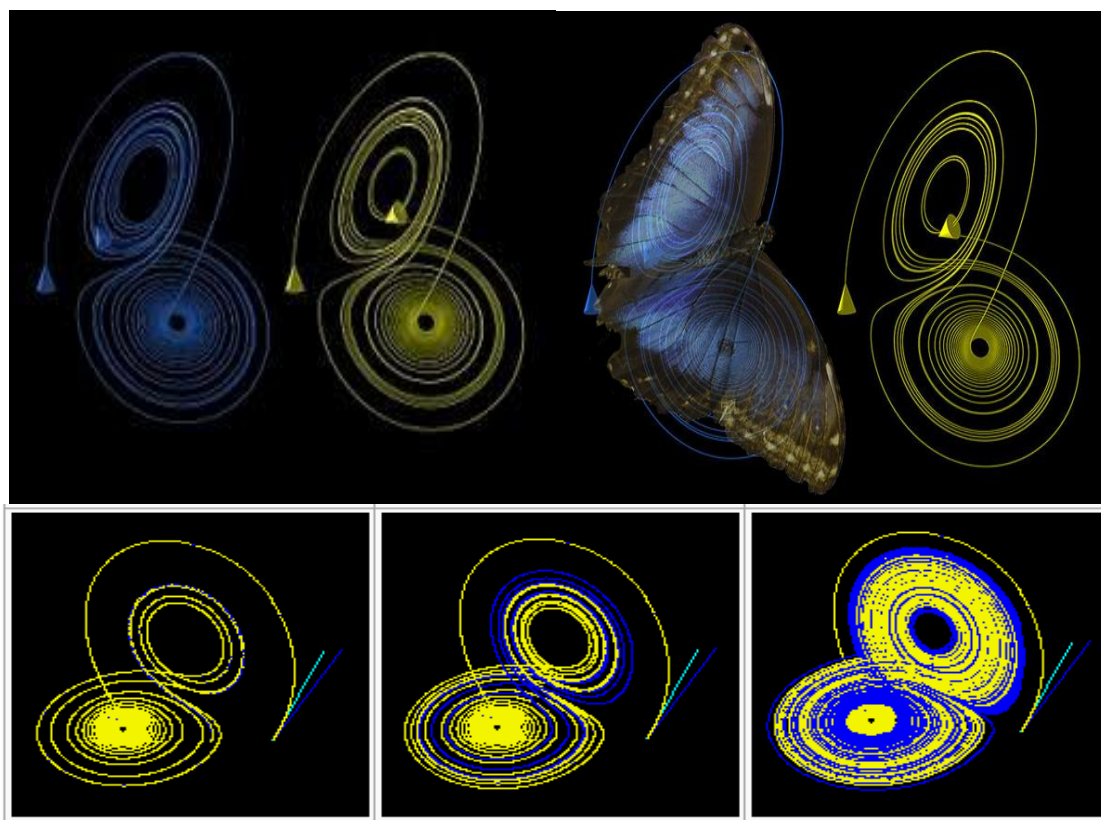


Figura 4: Aparência de uma borboleta na modelagem geométrica do sistema caótico que mais tarde chamou-se efeito borboleta e sua evolução temporal em visão tridimensional.

Fonte: autora.

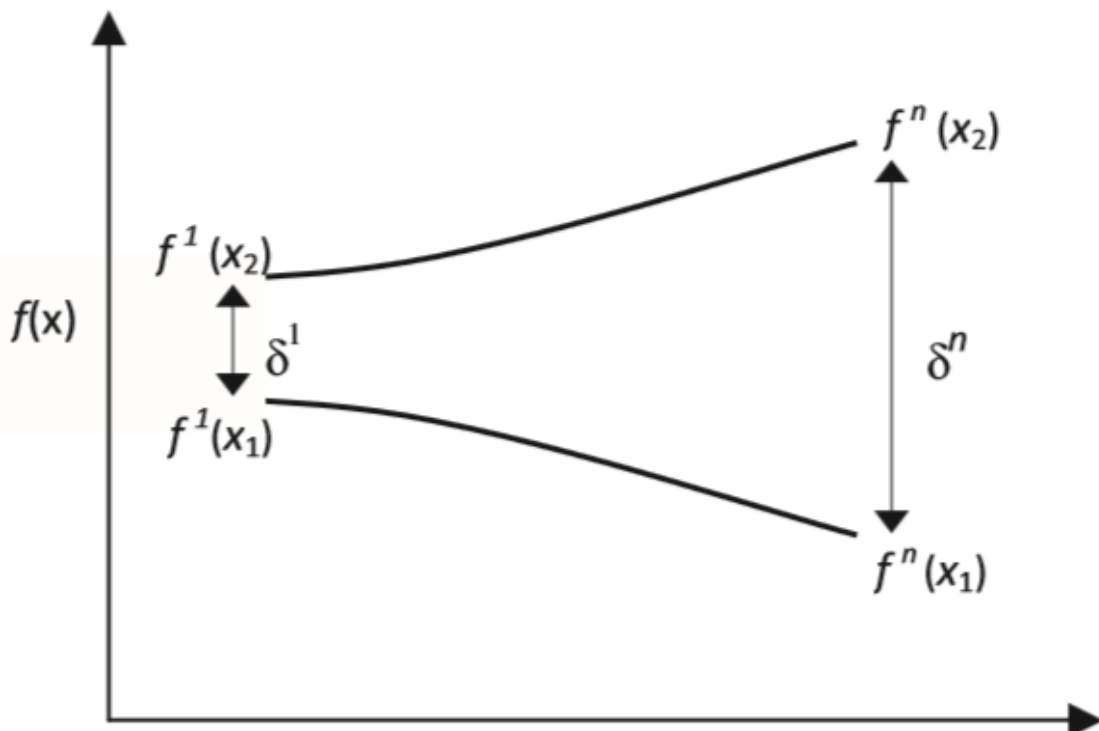


Figura 5: Divergência exponencial de duas órbitas inicialmente próximas em um sistema caótico Fonte: Kato & Bellini, 2010.

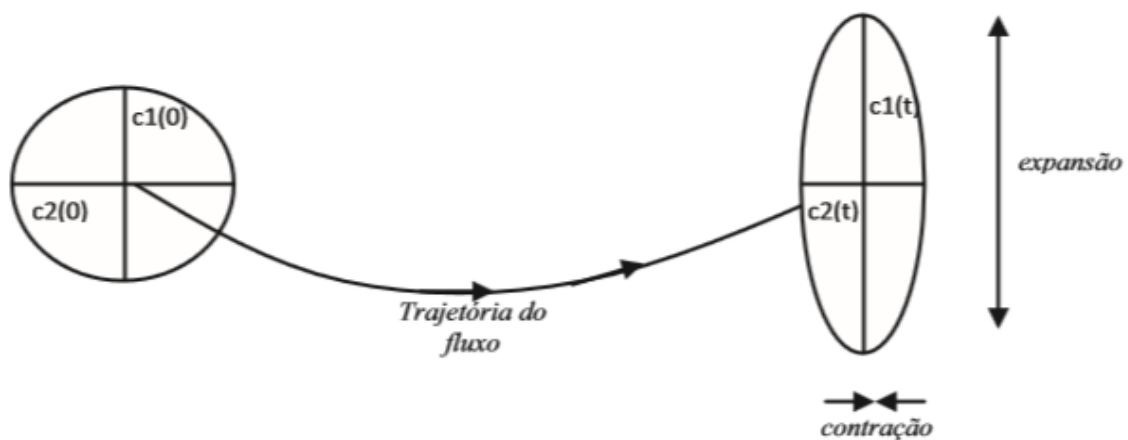


Figura 6: Uma visão geométrica da aplicação dos expoentes de Lyapunov com base na taxa de expansão dos eixos de uma hipersfera sobre uma base ortonormal (base vetorial ortogonal e com vetores de comprimento unitário), que se desenvolve segundo as variações de um fluxo. Fonte: Kato & Bellini, 2010.

Outro grande problema da teoria do caos na ecologia em relação a sua aceitabilidade relaciona-se ao fato de que o caos está associado a um comportamento diferente no sistema, e isso pode ser percebido, especialmente em análises quantitativas, surge então uma importante e necessária preocupação: e se toda vez que os dados apresentarem comportamento não linear o pesquisador chamar isso de caos?

Ao contrário do que se pode parecer, que o caos é um processo de simples desconexão na evolução temporal de dados, este é um processo amplamente complexo, no qual é necessário muito cruzamento de dados entre trabalhos empíricos experimentais e repetições dos cálculos analíticos que devem estar absolutamente embasados em uma equação matemática que dê suporte as conclusões de existência de caos no sistema.

Possivelmente o motivo pelo qual muitos pesquisadores, mesmo os das ciências exatas, não admitem o uso de análises de sistemas ecológicos com base na dinâmica caótica, seria o medo de que a banalização da teoria do caos pudesse servir como alternativa para análises estatísticas erradas. No entanto, é importante a possibilidade de pensar o planeta como um geossistema não linear, e essa oportunidade deve ser dada aos novos e futuros pesquisadores, inclusive pelo fato de que isso deva levá-los a um estado de criticidade da própria ciência.

Mas é preciso que o pesquisador tenha condições de compreender que a simples inspeção visual de séries temporais de dados coletados não é um método suficientemente rigoroso para identificar comportamento caótico num sistema. Que quando os resultados de suas análises apresentarem correlações negativas, nulas ou mesmo quando não houver quaisquer correlações entre conjuntos de dados, isso não quer dizer necessariamente a existência de uma dinâmica caótica no sistema. Na verdade a teoria do caos precisa ser tratada com absoluta responsabilidade pelo pesquisador, para que não se consolide a desqualificação da própria ciência conforme discutem Felicio & Onça (2010) sobre a ideia de caos ambiental no planeta Terra.

Dentre as tantas dificuldades de se identificar ou de provar a real existência de um caos em sistemas ecológicos, está à possibilidade de que o caos natural seja confundindo com a estocasticidade. Ferr (2012) explica que a diferença está no fato de que embora ambos sejam imprevisíveis, tal imprevisibilidade ocorre por diferentes motivos, pois, sistemas aleatórios ou estocásticos são imprevisíveis em função do acaso, já sistemas caóticos são imprevisíveis porque produzem informação exponencialmente à medida que o tempo passa, porém é praticamente impossível distinguir visualmente essa diferença, por isso é tão importante uma equação logística para fundamentar a análise de um sistema previsivelmente caótico. Os métodos tradicionais de análises de séries temporais que se baseiam em análises do espectro de potência, ou da função de auto correlação, também não permitem essa distinção. Por isso, é necessário o uso de técnicas especiais de análises de séries temporais construídas especificamente para tal finalidade.



## A ORIGEM DA EQUAÇÃO LOGÍSTICA QUE QUANTIFICA A DINÂMICA CAÓTICA

Robert May é um engenheiro químico com especialização em física teórica e matemática aplicada, que apesar de ser um profissional das ciências exatas se interessou muito pelas ciências biológicas nos estudos de pós-graduação. Kato & Bellini (2012) falam que ele entrou na biologia pela porta dos fundos, ao conviver com biólogos em suas aulas no mestrado, doutorado e pós-doutorado, o que mostra por um lado a importância e por outro as dificuldades que a própria ciência têm em lidar com a interdisciplinaridade na formação de cientistas, um desafio que precisa ser vencido para o progresso da ciência.

No meio desses estudos May percebeu que a dinâmica caótica seria bastante aplicável ao estudo de ecologia de organismos, especialmente na dinâmica de populações. Daí veio seu interesse que o manteve ativo por muitos anos no Departamento de Zoologia da Universidade de Oxford na Inglaterra. Mas afinal o que seria a equação logística?

Thomas Malthus com sua teoria (MALTHUS, 1798), que embora bastante criticada foi e ainda é o grande referencial para o estudo da dinâmica demográfica de populações, dizia que há uma divergência paramétrica entre o crescimento populacional e a disponibilidade de recursos, de modo que a população tende a crescer em unidade geométrica enquanto o recurso, principalmente o alimento, tende a crescer em unidade aritmética. A teoria malthusiana de que os alimentos eram limitados e acabariam mais rápido do que se imaginava causou grandes debates na sociedade da época, e provocaram também muitas discussões entre os cientistas.

Muitos destes discordaram dele, dentre os quais um chamado Pierre François Verhulst (+ou-1804 a 1849) (AUSLOOS & DIRICKX, 2006), que dizia que essa relação entre o crescimento aritmético dos alimentos e o crescimento geométrico da população não era exatamente linear, mas que as taxas de mortalidade e natalidade variam em função da própria densidade populacional. Em termos biológicos isso significaria que se a população aumentar acima de um nível sustentável, mecanismos bióticos e abióticos de controle atuam no sentido de reduzir sua taxa de reprodução (competição, guerras, epidemias) e se a população estiver num nível abaixo do limite, sua taxa de reprodução aumentará.

Surge então uma discussão sobre a não linearidade na dinâmica de populações. Verhulst acreditava que a taxa de crescimento de uma população não poderia ser constante e que estaria sujeito a um fator inibidor de proporcionalidade dado pela quantidade de indivíduos dessa população em cada instante de seu desenvolvimento. Disso originou a chamada equação logística. E foram as ideias de Pierre François Verhulst que mais tarde levaram Robert May a elaborar os modelos não lineares para as populações biológicas (MAY, 1987).

## **APLICAÇÕES DA TEORIA DO CAOS NA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE**

Considerando-se a quantidade de pesquisas realizadas e trabalhos publicados em todas as áreas há muito pouco sobre a teoria do caos, mas os poucos trabalhos realizados, com estudos experimentais, trazem a perspectiva de importantes contribuições.

Fer (2012; 2009) estudou a dinâmica caótica em sistemas planctônicos e descobriu que apesar de imprevisíveis eles podem ser controláveis, na verdade o autor traz em seus trabalhos uma interessante compreensão de que na verdade é mais fácil controlar sistemas caóticos onde a evolução temporal do funcionamento sistemático é extremamente dependente da condição inicial do que os sistemas lineares onde ocorre algum tipo de retroalimentação que impede a possibilidade de que se quebre a organização hierárquica do sistema como um todo.

Devido a importância dos organismos planctônicos para os recursos hídricos e a biodiversidade (LEÃO et al, 2011) encontrar métodos de se manejar esses organismos pode ser muito importante para a biologia da conservação no controle de espécies exóticas e invasoras, através de um sistema caótico na dinâmica populacional destes. Dennis et al. (2001) estimaram a possibilidade de dinâmica caótica em populações de insetos, concluindo que a possibilidade de provocar pequenos eventos caóticos cíclicos na dinâmica populacional desses organismos podem ser muito úteis ao controle de populações e auxiliando assim no manejo de pragas e controle biológico (Figura 7).

É interessante notar que todas essas distintas formas de perturbação implicam sempre em pequenas perturbações, não em perturbações drásticas. Assim, se uma população de pragas em uma lavoura se comportar de maneira caótica, seu controle não

implica, necessariamente, num grande extermínio em massa de seus indivíduos, mas em estratégias que desencadeiem pequenas perturbações em seus parâmetros populacionais.



Figura 7: Controle biológico de pragas agrícolas talvez seja uma das maiores aplicações da Teoria do Caos a conservação do solo e manutenção da biodiversidade edáfica. Fonte: autora.

Gamarra & Solé (2000) estudaram a teoria do caos também avaliando a dinâmica caótica em populações de organismos, nesse caso de mamíferos e obtiveram resultados que mostram a existência de um caos na teia trófica que inclui os organismos, compreendendo então esse sistema é possível traçar melhores e mais eficazes estratégias de manejo e conservação de espécies que compõem essa organização trófica.

Sobre as contribuições da teoria do caos na botânica, Souza & Buckeridge (2012) fizeram uma revisão de como as análises não lineares, os sistemas fractais e tudo o que está relacionado à dinâmica caótica pode contribuir com a evolução dos conhecimentos botânicos no campo das pesquisas em genética, anatomia, morfologia e principalmente na taxonomia, resolvendo antigos paradoxos na identificação e diferenciação de espécies, onde esses autores abordam também como a teoria do caos foi imprescindível a uma nova era no pensamento científico dentro da botânica. Aumond et al. (2012) avaliou a existência de dinâmica caótica em um sistema de recuperação de área degradada, verificando como o tratamento inicial iria influenciar na condição final de resposta das espécies ao ambiente e do ambiente as espécies.

Com um modelo ecológico fundamentado numa metodologia integradora baseado na correlação e interdependência essencial de todos os componentes, os fenômenos físicos, químicos e biológicos; os resultados práticos validaram a dinâmica caótica como ferramenta importante para entender as relações de causalidade e retroalimentação das variáveis e sua evolução temporal no processo de recuperação ambiental Aumond et al. (2012).



Figura 8: *Brassica oleracea* (Brassicaceae), espécie amplamente utilizada nos estudos botânicos para identificar a dinâmica caótica através dos fractais na sua morfologia.

Fonte: Souza & Buckeridge (2012)

Nesse contexto, a dinâmica caótica e a teoria das probabilidades surgem como abordagens complementares, não podem ser usadas para substituir a busca por aprimoramento nos métodos de análises lineares e nem mesmo para substituir a busca de certos padrões que servem para o traçado de estratégias de manejo e gestão de áreas e ecossistemas prioritários para a conservação. O caos é a não linearidade normal de um sistema, e não a transformação de um sistema linear em um sistema caótico, a dinâmica de caos é entendida como parte integrante da sistêmica ordenação, não sendo possível atestar a existência de caos em qualquer tipo de sistema cuja dinâmica de evolução temporal não apresente padrões, não é possível inventar o caos.

Frequentemente, busca-se uma correlação entre a variação de comunidades ou populações e variáveis ambientais explanatórias que teoricamente tenham poder de predição. Quando se encontra muita variação não explicada pelas hipóteses preditas é comum acreditar-se que alguma variável importante deixou de ser medida. No entanto, caso exista um esqueleto determinístico não linear que rege a dinâmica do sistema, a variação pode dever-se a não linearidades inerentes ao próprio sistema, à dinâmica caótica, e não à influência de variáveis externas. A compreensão desse sistema não implica, portanto, em coletar novas variáveis ambientais, mas em entender os processos intrínsecos que geram tal comportamento.

Se o caos é ou não uma realidade em populações biológicas, é algo que só pode ser respondido com dados coletados e analisados de maneira adequada. Mais estudos experimentais, envolvendo organismos de ciclo de vida curta e alta taxa reprodutiva parecem ser um caminho adequado para o entendimento da dinâmica caótica em ecologia e conhecimento de suas possibilidades para a biologia da conservação. Mas para que a

teoria do caos possa ganhar mais credibilidade na ciência, é necessário haver maiores esforços na integração de conhecimento entre profissionais teóricos e experimentais. É possível que, para muitos organismos, a estabilidade das populações não se dê por ausência de caos, mas por controle deste, por meio de processos endógenos de autorregulação. Isso traz a ideia de que o caos pode ser um mecanismo responsável pela manutenção da biodiversidade, e a comprovação dessa hipótese implica em novas formas de se pensar manejo e conservação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A teoria do caos sem dúvidas traz uma nova dimensão para a discussão ecológica sobre a dinâmica de populações e comunidades. Pode-se usá-la na pesquisa ecológica em controle biológico de pragas, no estudo dos padrões de diversidade e extinção de espécies. A teoria do caos também pode ajudar muito a conhecer melhor a ecologia de ambientes que estão dentre os menos estudados e mais ameaçados do mundo, em termos de conservação, como os ecossistemas sazonais, ajudando a entender o papel da sazonalidade sobre a estabilidade de sistemas tróficos. As perspectivas parecem promissoras, e a conciliação entre rigor experimental e predição acurada de bons modelos pode propiciar um entendimento mais profundo em diversas questões de dinâmica complexa em ecologia. No entanto, é preciso que os pesquisadores tenham mais ousadia na elaboração de hipóteses e, sobretudo na capacidade de acreditar que a teoria do caos pode fazer algum sentido para ecologia, conservação e manejo ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Lemuel Olívio Leite da Universidade Estadual de Montes Claros pelas ricas discussões levantadas, ao professor Robert May da Universidade de Oxford pelo incentivo e apoio demonstrado, e ao professor Heury Ferr pelas dicas em relação ao estudo de sistemas caóticos na natureza e suas dinâmicas e por despertarem em mim o gosto pela estatística e pela física teórica. Ao Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Uso dos Recursos Naturais da Universidade Estadual de Montes Claros.

## REFERÊNCIAS

1. AUMOND, J. J.; LOCH, C.; COMIN, J. J. *Abordagem sistêmica e o uso de modelos para recuperação de áreas degradadas*. Revista Árvore, vol.36, n.6, Viçosa, 2012.
2. AUSLOOS, M.; DIRICKX, M. *The logistic map and the route to chaos - from the beginnings to modern applications*. Ed. Springer, 2006.
3. DENIS, B.; DESHARNAIS, R. A.; CUSHING, M.; HENSON, S. M.; CONSTANTINO, R. E. *Estimating chaos and complex dynamics in an insect population*. Ecological Monographs, vol.71, n.2, 2001.
4. FERR, H. *Controlando o imprevisível: controle do caos em sistemas biológicos*. Revista de Biologia e Ciências da Terra, Universidade Estadual da Paraíba, vol.12, n.1, 2012.
5. FERR, H. *Dinâmica caótica em ecologia: avanços teóricos e metodológicos*. Revista Neotropical Biology and Conservation, vol4, n.3, 2009.
6. FERR, H. *O que dinâmica não linear pode nos ensinar sobre comunidades planctônicas?* Revista Boletim do Laboratório de Hidrobiologia, vol.25, n.2, 2012.
7. FELICIO, R. A.; ONÇA, D. S. *Aquecimento global, mudanças climáticas e caos ambiental justificando o falso desenvolvimento sustentável: a teoria da tríade*. Revista Fórum Ambiental da Alta Paulista, vol.6, n.8, 2010.
8. FONSECA-FILHO, C. *História da computação: O Caminho do Pensamento e da Tecnologia*. Editora PUC-RS, Porto Alegre, 2007.
9. GAMARRA, J. G. P.; SOLÉ, R. V. *Bifurcations and chaos in ecology: lynx returns revisited*. Ecology Letters, vol.3, 2000.
10. GIACOMINI, H. C. *Sete motivações teóricas para o uso da modelagem baseada no indivíduo em ecologia*. Revista Acta Amazônica, vol.37, n.3, 2007.
11. KATO, L.A.; BELLINI, L.M. *Robert May e a dinâmica de populações: a equação logística e o caos*. In: Petry et al. *Ecólogos e suas histórias – um olhar sobre a construção das ideias ecológicas*, 2010.
12. LACALLE, S. L. *Teoria do caos para o conhecimento da realidade*. Revista Esfinge, edição 2011.
13. LEÃO, T. C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, M.; ZILLER, S. R. *Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas*. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste, Recife, 2011.

14. LIMA, A. W. S. *Expandindo o domínio de aplicação da modelagem ecológica: modelos computacionais baseados em indivíduos modelados e orientados a padrões*. Revista Oecologia Australis, vol.16, n.1, 2012.
15. LORENZ, E.N. *Deterministic nonperiodic flow*. Journal The Atmospheric Sciences, vol.20, 1962.
16. MALTHUS, T. R. *An essay on the principle of population*, Library of Economics 1798.
17. MARQUEZI, D. *Edward Norton Lorenz – o criador da teoria do caos*. Revista Época, 2008.
18. MAY, R.M. *Chaos and the dynamics of biological populations*. Nuclear Physics, n.2, 1987.
19. MAY, R.M. *Biological populations with nonoverlapping generations – stable points, stable cycles, and chaos*. Science, 186:645-647, 1974.
20. PALIS, J. *Dinâmica não-linear, sistemas caóticos e aplicações*. Revista Estudos Avançados, vol.8, n.20, 1994.
21. PILLAR, V.P. *O problema da amostragem em ecologia vegetal*. Departamento de Botânica, Laboratório de Ecologia Quantitativa, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
22. SANTOS-NETO R.; LATINI, R. M. *Teoria do caos no ensino médio: caminhos para inserção da física moderna e da educação ambiental*. Revista Eletrônica do Mestrado Profissional em Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente, vol.3, n.2, 2010.
23. SAVI, M. A. *Dinâmica não linear e caos*. Editora E – papers. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.
24. SOUZA, G. M.; BUCKERIDGE, M. S. *Sistemas complexos: novas formas de ver a botânica*. Revista Brasileira de Botânica, vol.27, n.3, 2004.
25. TORRES, J. J. M. *Teoria da complexidade: uma nova visão de mundo para a estratégia*. Revista Integra Educativa, vol.2, n.2, 2005.
26. VERHULST, P. F. *Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement*, (sem data) [+ou-1804 a 1849].