

CAOS E COMPLEXIDADE: O FILME DA VIDA

Marcelo Amorim Savi

Doutor em Engenharia Mecânica, Professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Departamento de Engenharia Mecânica da COPPE (Instituto Alberto Luis Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia)

Em **Luzes da Ribalta** Charles Chaplin diz que "*somos todos amadores... afinal uma vida inteira não é suficiente para que nos tornemos nada mais do que isso*". Considero a reflexão de Chaplin apropriada para mim, um não-especialista em neurociências. Aliás, buscando inspiração em Chaplin, posso dizer que não sou especialista em nada, o que me deixa mais à vontade para escrever essas linhas de amador para leitores amadores (ou não, nunca se sabe!), explicando o caos e a complexidade usando o cinema como motivação.

Para começar, aventuro-me a explicar a palavra *amador*, que está relacionada ao ato de amar, que por sua vez, está ligada à *paixão*. Meu primeiro argumento é o de que a paixão é a alma de nossa civilização. Para compreender isso podemos utilizar exemplos históricos ou cotidianos. Situações onde o imponderável prevaleceu contra o que se julgava razoável ou lógico. Neste contexto, podemos ver diversas revoluções, diversos impérios sendo construídos ou destruídos, chegando até mesmo ao mais popular dos esportes – o futebol. Em cada um desses casos, existe uma série de exemplos onde não existe explicação possível a não ser a de que as pessoas envolvidas estavam tomadas por uma paixão, que abala a lógica, o razoável, fazendo emergir o imponderável. Assim, *amador* não é um termo depreciativo, mas ao contrário, algo que está relacionado ao amor. E o que está relacionado ao amor é melhor do que o que não está.

Para colocar o foco no cinema, vamos procurar o imponderável em **Tarzan**, filme que conta a estória de um menino criado na selva por macacos. Apesar da improvável sobrevivência do menino, ele acaba por se tornar o líder de seu grupo de macacos quando se torna homem. Na versão da *Disney*, é maravilhosa a cena do menino que, após se desentender com o líder do grupo, seu pai-macaco, afirma para a sua mãe-macaco: "*Eu vou ser o melhor macaco*". E depois ele cresce se empenhando na tarefa de se transformar em macaco ao som de Phil Collins (ou Ed Motta na versão em português): "*Toda a força para viver - e o saber para guiar - tudo isso um dia vai chegar. - Mesmo sem ninguém contigo - ninguém pra te guiar - mas com fé e paciência - sei que um homem vai se tornar. - A busca do saber - vai mostrar a direção - mas sempre ouvindo a voz do coração. - E de todos os seus sonhos - o que mais desejou - Só você vai encontrar - Liberdade para viver*".

E não é só aí que o imponderável prevalece. Em **Cinema Paradiso** tem-se uma memorável estória de amor entre o povo de uma pequena cidade italiana e o seu cinema. Em decorrência de um incêndio que deixa Alfredo, o seu operador, cego, Totó, um menino pobre, passa a operar o equipamento de projeção. Motivado pelo amor ao cinema e pela influência de Alfredo, o menino acaba deixando a cidade e se tornando um importante cineasta.

Mas a vida imita a arte, e é também possível buscar exemplos históricos para mostrar o imponderável se tornando real. Vamos observar a revolução social e política em Cuba, usando a descrição de Szulc (1987). Em 1956, Fidel Castro e um pequeno grupo rebelde que havia desembarcado na costa sul de Oriente (província onde nasceu Fidel) foram completamente cercados por tropas governamentais de Fulgencio Batista em Alegria de Pío. O regime dispunha de um exército de 50 mil homens com artilharia e blindados, uma força aérea e marinha, uma polícia secreta poderosa, além de todo o apoio dos Estados Unidos da América. Uma vez cercado, a idéia de Fidel Castro era romper o cerco e reunir os sobreviventes. Após muitos combates, Fidel Castro, Universo Sánchez e Faustino Pérez estavam no canavial, enterrados pelas folhas, deitados de costas, um do lado do outro, se comunicando por sussurros. O grupo de três homens (armados com dois fuzis) passou cinco dias no canavial, sendo bombardeado por soldados e aviões do regime. Fidel Castro passou os dias com o fuzil apontando para a sua garganta e com o dedo no gatilho para o caso de ser encontrado. Durante esses dias, Fidel fez planos para o futuro, comentando sobre a revolução, as leis e as medidas revolucionárias que seriam adotadas depois da vitória da revolução. Depois, quando encontrou o grupo de Raúl Castro, seu irmão, em Sierra Maestra e viu o seu grupo com oito homens declarou: *"Agora vencemos a guerra... os dias de tirania estão contados"*. Possivelmente, a fé inabalável de Fidel Castro na revolução era a sua paixão que fez o imponderável se tornar realidade alguns anos mais tarde.

Poderíamos argumentar que existem outros tantos fatores associados a cada uma dessas situações e buscar contrapontos à nossa argumentação, mostrando exemplos onde a paixão acabou por não ser preponderante. De qualquer forma, também podemos encontrar outras tantas situações onde a paixão prevalece fazendo emergir o imponderável. Assim, seria razoável compreender que a paixão é uma causa diminuta em um contexto mais amplo, que acaba por provocar um efeito de grandes proporções. Esse tipo de pensamento é a essência do que entendemos por *não-linearidade*. O paradigma linear estabelece que pequenas causas estão associadas a pequenos efeitos. O pensamento não-linear, por sua vez, não estabelece essa relação e considera que pequenas causas podem provocar grandes efeitos.

A natureza está repleta de não-linearidades que são responsáveis pela diversidade de comportamentos dos sistemas naturais. Prigogine (Prigogine, 1980; Nicolis & Prigogine, 1989) afirma que *"nosso mundo é cheio de instabilidades e flutuações que são, em última instância, responsáveis pela fantástica variedade e riqueza de formas e estruturas que vemos na natureza que nos cerca"*. A natureza é a essência de tudo o que somos e vivenciamos. Não é apenas o meio que nos rodeia, mas uma imensa teia da qual nós, seres

humanos, somos um dos fios. Nessa teia de diversidade esplendorosa, constatamos harmonia e força inigualáveis. Diante de todo o esplendor da natureza, não podemos deixar de observar todas as suas não-linearidades. E vendo desta forma, os ritmos constituem uma das manifestações mais significativas dos sistemas naturais.

Um ritmo regular representa uma situação que se repete ao longo do tempo e chamamos de *período* ao tempo necessário para que essa repetição aconteça. Desta forma, pode-se pensar que uma resposta regular é periódica. O lado esquerdo da Figura 1 mostra uma resposta periódica que pode estar associada ao movimento de um corpo. Assim, se nos imaginarmos olhando para um movimento periódico de um corpo, depois de certo tempo, poderíamos fechar nossos olhos durante alguns períodos e, quando os reabrissemos, saberíamos exatamente onde está o corpo. A previsibilidade é simples, no entanto, deve-se observar que o termo periódico é um tipo de resposta que pode estar associado a um sistema linear ou não-linear.

Um ritmo irregular, por outro lado, não nos permite fazer previsões deste tipo (Figura 1, lado direito). Depois de fechar nossos olhos por um tempo, ao reabrilos, seríamos surpreendidos com a nova posição do corpo. Não poderíamos imaginar o que ocorreu durante o nosso cochilo. Historicamente, a palavra caos apresenta diferentes significados. Para os gregos antigos significava um verbo com o sentido de fenda, sendo normalmente usado para referenciar o vazio do universo antes de seu início. Nos dicionários modernos significa desordem absoluta e confusão além do estado original do Universo. No senso comum, o termo caos é sempre associado à desordem e confusão. Para a ciência moderna, o termo caos passou a ser utilizado para descrever respostas irregulares como a mostrada.

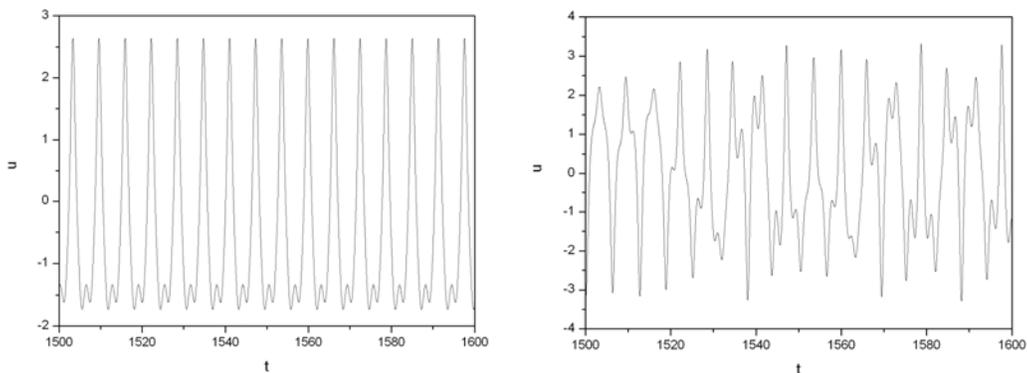


Figura 1 – Resposta regular (periódica) e irregular (caótica).

Muitas questões associadas à mecânica dos corpos celestes foram tratadas ao longo dos anos. A mecânica é a ciência que estuda as interações entre forças e movimentos e, em fins do século XIX, a estabilidade do universo passou a ser considerada uma questão fundamental. Henry Poincaré se propôs a estudar a estabilidade do universo a partir da análise da dinâmica de um sistema de três corpos. Na época, a mecânica celeste era tratada a partir da dinâmica de dois corpos, cuja resposta era a conhecida órbita elíptica de um

corpo ao redor do outro. A resposta de uma massa gravitando em torno de outros dois corpos é bem mais complexa. A partir desse trabalho, Poincaré lança as bases matemáticas do que entendemos por caos, dando uma definição até hoje atual do assunto: *"Se pudéssemos conhecer exatamente as leis da natureza e a situação do universo no instante inicial, seríamos capazes de prever exatamente a situação deste mesmo universo no instante subsequente. Mas mesmo quando as leis naturais já não tivessem mais segredo para nós, só poderíamos conhecer a situação inicial aproximadamente. Se isto nos permite antecipar a situação subsequente com o mesmo grau de aproximação, ficamos satisfeitos, dizemos que o fenômeno foi previsto, que é governado por leis. Mas nem sempre isso ocorre; pode acontecer que diferenças mínimas nas condições iniciais produzam diferenças muito grandes no fenômeno final; um erro mínimo nas primeiras produziria um erro enorme neste último. A previsão torna-se impossível e temos o fenômeno do acaso"*.

Quase um século depois, Lorenz (1963) se propôs a estudar os fenômenos meteorológicos a partir de um modelo simplificado que contempla duas placas paralelas separadas por um fluido. A placa superior está a uma temperatura menor do que a inferior. Assim, por ação da temperatura, o fluido da parte inferior tende a subir enquanto o fluido da porção superior tende a descer por ação da gravidade. O trabalho de Lorenz mostrou que a imprevisibilidade dos fenômenos atmosféricos não estava relacionada à complexidade do sistema uma vez que, seu modelo extremamente simplificado, também era imprevisível. Esse trabalho representa o início do moderno estudo do caos, estando associado ao famoso efeito borboleta que diz que se uma borboleta bater suas asas em algum lugar do Planeta pode gerar um furacão do outro lado. Mais uma vez, tem-se uma causa muito pequena (diferenças mínimas, para usar o termo de Poincaré – ou o bater de asas de uma borboleta, para usar o termo de Lorenz) provocando um efeito grande. Isso está associado à imprevisibilidade de um sistema dinâmico. A relação entre o problema de Lorenz e o de Poincaré está na existência de não-linearidades.

O comportamento caótico possui uma sensibilidade às condições iniciais, o que implica que a evolução do sistema pode ser alterada por pequenas perturbações. Para entender tal efeito, vamos visitar o cinema novamente onde existem alguns exemplos dessa sensibilidade.

Corra Lola, Corra mostra a tentativa de Lola para tentar salvar a vida de seu namorado Manni. A estória começa com um telefonema de Manni para Lola contando que ele perdeu o dinheiro de seu chefe mafioso e que isso seria a sua morte. O dinheiro foi deixado no metrô e encontrado por um mendigo. Manni está desesperado e diz que precisa arranjar o dinheiro se quiser sobreviver. A única opção vislumbrada seria assaltar uma loja nas vizinhanças. Lola pede para ele não fazer isso que ela pode resolver o problema. Manni concorda em aguardar 20 minutos. Lola desliga o telefone e sai correndo para tentar arranjar o dinheiro com o seu pai, que trabalha em um banco. Seu trajeto inclui descer as escadas de seu prédio e correr pelas ruas da cidade até o banco de seu pai para, por fim, correr até onde Manni está. Nas escadas, ela passa por uma pessoa que está segurando um cachorro (isto é apenas um

detalhe, é verdade!). Ao chegar ao banco, Lola interrompe uma conversa de seu pai com uma mulher, recebe uma negativa, continua correndo ao encontro de Manni e, quando chega, já o encontra assaltando a loja. Ela o ajuda e acaba baleada pela polícia. Mas, vamos admitir que Lola possa voltar o tempo até o momento em que ela desliga o telefone. Ela desce as escadas novamente mas, ao passar pelo cachorro (aquele pequeno detalhe!) ela perde mais tempo que na primeira vez. Quando chega ao banco, a conversa de seu pai com a mulher está em outro momento e as conseqüências da conversa são outras. Ela então, resolve assaltar o banco de seu pai e, depois disso, corre ao encontro de Manni. Ao chegar lá, Manni se distrai com a presença dela e acaba atropelado e morto por um carro que, na primeira versão, cruza com Lola alguns segundos antes. Lola resolve então fazer uma nova tentativa (voltando no tempo novamente) e, depois de desligar o telefone, despense um tempo diferente para descer as escadas (mais uma vez por causa do cachorro-detalhe!). Ela não consegue chegar ao banco a tempo de encontrar o seu pai. Desesperada, tenta uma nova alternativa: jogar em um cassino. Ela consegue ganhar o dinheiro e corre para encontrar Manni. Neste meio tempo, em conseqüência do novo caminho percorrido por Lola, Manni acaba por encontrar o mendigo que está com o seu dinheiro. E aí, ele o recupera. Assim, quando Lola encontra Manni, ele já está devolvendo o dinheiro ao seu chefe mafioso.

O argumento de **Corra Lola, Corra** é formalmente o mesmo de o **Efeito Borboleta**. Um homem com a habilidade de voltar no tempo, altera dramaticamente sua vida e a das pessoas de sua convivência a cada vez que ele tenta consertar algo dramático de sua vida. O que ele não consegue controlar, no entanto, são todas as conseqüências das mudanças uma vez que ele acaba por fazer pequenas alterações nos fatos. Assim, cada vez que ele volta no tempo para consertar um problema, ela acaba por causar outros. **De Volta para o Futuro** também mostra situação semelhante e, quando George McFly se enche de coragem e enfrenta Biff o futuro passa a ser dramaticamente diferente. Esses são apenas alguns exemplos que o cinema imortalizou.

O que podemos dizer dessas experiências cinematográficas é que uma pequena alteração nas condições iniciais acaba por provocar efeitos gigantescos. Trata-se da sensibilidade às condições iniciais. Como não temos a capacidade de conhecer completamente uma determinada condição inicial, temos a imprevisibilidade. Às vezes, pensamos que conhecemos as condições iniciais, mas de fato, nosso conhecimento não é o suficiente para a dinâmica do sistema que estamos lidando. Nossos relógios nunca estão perfeitamente sincronizados. Com isso, todas as variações da estória de Lola poderiam ter ocorrido simplesmente como uma conseqüência do fato de que os relógios dela e de Manni estariam defasados de alguns segundos. Da mesma forma, um sensor (que mede uma determinada grandeza – como um termômetro mede uma temperatura ou um radar mede a velocidade de um carro) possui uma resolução que também introduz erros. E um computador, usualmente utilizado para obter resultados inquestionáveis, trunca e/ou arredonda números o que também introduz erros. Vamos pensar que a seqüência da corrida de Lola pudesse ser representada através de um gráfico. A condição inicial desse gráfico está associada ao tempo que ela levou para superar o cachorro-detalhe

(ou para imaginar outro exemplo, na defasagem entre os relógios dela e de seu namorado). Assim, depois de um determinado tempo, as duas seqüências seriam absolutamente distintas (Figura 2).

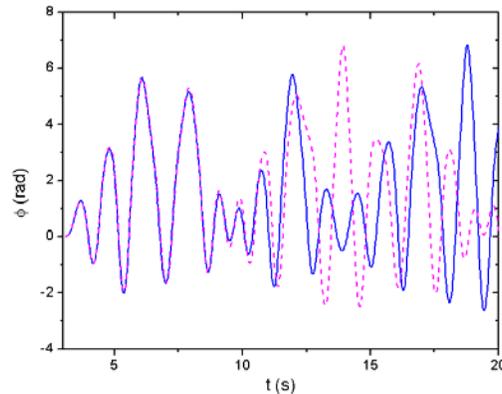


Figura 2 – Evolução de duas condições iniciais muito próximas, gerando resultados dramaticamente distintos depois de um tempo.

A sensibilidade às condições iniciais é uma das principais características do caos. Mas não é a única. A estrutura de uma resposta caótica é muito rica. Se tivéssemos a habilidade de voltar no tempo, existiriam universos paralelos associados as diferentes condições. Assim, em **Corra Lola, Corra** Lola estaria morta e ao mesmo tempo viva, o mesmo podendo se dizer de Manni. Desta forma, a realidade que vivemos estaria imersa em uma infinidade de universos paralelos que são instáveis, pois não conseguiríamos viver em mais de um deles ao mesmo tempo. Esses universos representam a estrutura básica da vida. Assim, se além da habilidade de voltar no tempo conhecêssemos os caminhos da força para transitar entre os vários universos paralelos, poderíamos construir histórias verdadeiramente complexas!

Os universos paralelos instáveis também podem ser encontrados em um contexto diferente do cinema. Vamos para isso usar um botequim, um bar de esquina onde passamos várias horas conversando com amigos. Uma vez que o ambiente é cordial, acabamos por interagir com outras pessoas que sequer conhecíamos até então. Lá pelas tantas, nos damos conta de que existe uma infinidade de conversas paralelas e nós passamos o nosso tempo no botequim trocando de uma conversa para a outra. Estamos imersos nesse ambiente e nossa habilidade de trocar de uma conversa para outra acaba por tornar nossa permanência extremamente produtiva. Ali, podemos conversar um tema e, de repente, tratar de um assunto dramaticamente diferente, com muita flexibilidade.

Do ponto de vista dinâmico, o caos também possui a sua estrutura básica equivalente aos universos paralelos instáveis (ou às conversas paralelas). Para compreender isso, podemos pensar geometricamente sobre o que ocorre no comportamento caótico. Podemos imaginar um objeto imerso no espaço do

sistema dinâmico – espaço de estado. Cada ponto desse espaço permite que o estado do sistema seja completamente definido, permitindo que conheçamos onde o sistema está e para onde vai. A construção desse objeto pode ser feita considerando diferentes condições iniciais e, a partir dessas condições, observamos como o objeto evolui com o passar do tempo. Se a evolução for caótica, o objeto está submetido a uma seqüência de transformações do tipo contração-expansão-dobra. Tudo se passa como se o objeto em questão fosse uma massa de pão sendo preparada. O padeiro (que aqui representa as características da dinâmica do sistema) manuseia a massa (o objeto), promovendo uma seqüência contração-expansão seguida de uma dobra para mantê-la contida na mesa (o espaço de estado). Pensando no objeto como sendo uma esfera (ou um quadrado), podemos aplicar essa transformação e visualizar o que ocorre com ele depois de algumas transformações (Figura 3, lado esquerdo, mostrando o objeto em três instantes diferentes). Da mesma forma, podemos ver que dois pontos muito próximos estão afastados depois de um determinado número de transformações, o que caracteriza a sensibilidade às condições iniciais (Figura 3, lado direito). Esta transformação ficou conhecida como *ferradura de Smale* (em homenagem ao matemático Stephen Smale – Hirsch *et al.*, 2004) sendo também associada à transformação do padeiro.

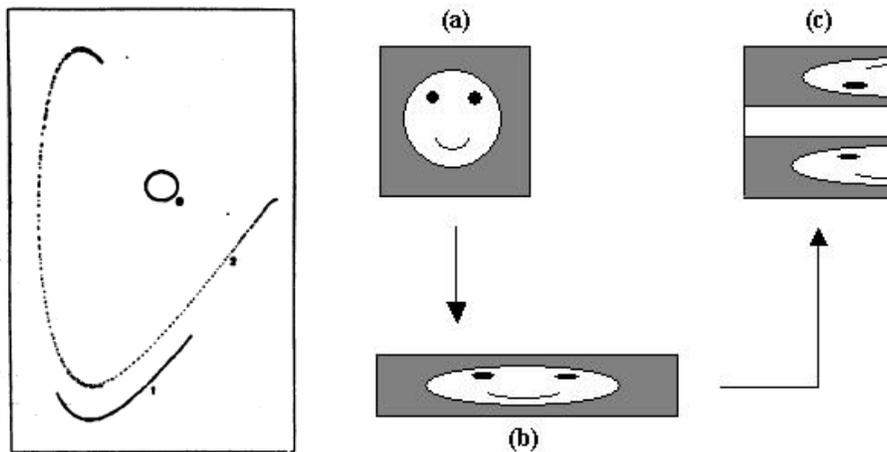


Figura 3 – A geometria do caos: Transformações do tipo contração-expansão-dobra.

Esta seqüência de transformações é responsável pela construção da estrutura básica do caos: as órbitas periódicas instáveis (equivalentes aos universos paralelos instáveis). O resultado da coexistência dessas órbitas é uma resposta complexa representada em atratores caóticos (Figura 4). Um atrator caótico é uma região preferencial do espaço de estado para onde as órbitas tendem a convergir. Fazendo um paralelo com os universos paralelos instáveis que estão imersos na nossa realidade, também podemos encontrar uma infinidade de órbitas periódicas instáveis imersas no atrator caótico. De fato, essas órbitas representam uma estrutura essencial do caos, tendo relação com a sua riqueza de possibilidades. Essa característica faz com que o comportamento caótico possua uma grande flexibilidade, sendo interessante para sistemas que

necessitam apresentar uma reação rápida a determinadas perturbações. Isto é característico de sistemas naturais onde o caos e diversos mecanismos regulatórios fornecem uma flexibilidade incomum pois propiciam uma troca rápida entre diferentes órbitas instáveis. Para compreender isso, pode-se pensar na vida cotidiana (e na sabedoria popular): *Grandes mudanças são decididas quando nossas vidas estão um caos*. De fato, as grandes mudanças são possíveis uma vez que mudar de uma órbita instável para outra (ou de um universo paralelo para outro), mesmo que radicalmente diferentes, não envolve muito esforço. Na caoticidade da situação, visitamos todas as suas possibilidades. Por outro lado, quando nossas vidas estão em plena normalidade (um comportamento periódico) qualquer mudança está associada a um grande esforço.

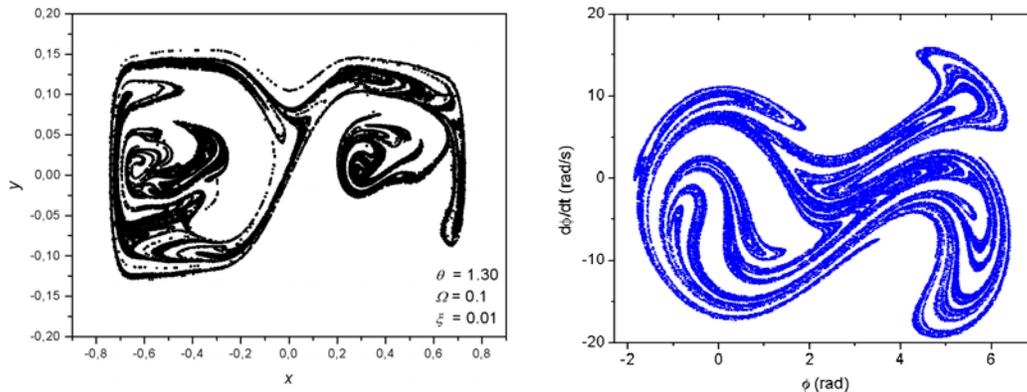


Figura 4 – Atratores estranhos caóticos.

Os atratores caóticos apresentados na Figura 4 estão associados a diferentes sistemas dinâmicos (Savi *et al.*, 2002; de Paula *et al.*, 2006) e, em comum entre eles, existe uma estrutura lamelar composta de franjas imersas em vazios, construída a partir de um processo de expansão-contração-dobra. Além disso, observa-se uma característica de similaridade na medida em que se ampliam as regiões do atrator. Devem-se observar os vazios e as dobras existentes. Esta estrutura possui características fractais, como uma alusão à sua dimensão fracionária, não-inteira, o que conferiu o nome de atrator estranho. O termo estranho é utilizado para definir a sua geometria de dimensão não-inteira e, portanto, a estranheza de um atrator está associada com sua dimensão fractal. Os fractais foram inicialmente usados para descrever a geometria da natureza e, com o passar do tempo, constatou-se que também estão presentes nos sistemas dinâmicos (Mandelbrot, 1982).

Os fractais são construídos a partir de uma regra simples, que se repete indefinidamente. A Figura 5 mostra um caso típico da obtenção de um fractal a partir de um segmento de reta unitário. A regra para a sua construção é dividir indefinidamente o segmento de reta em três partes, onde duas permanecem e a central é desconsiderada. A repetição desse processo acaba por gerar um conjunto desconexo de pontos. Se observamos que o segmento de reta original possui dimensão 1 e um ponto possui dimensão 0, seremos forçados a concluir que esse conjunto de pontos, conhecido como conjunto de Cantor, possui uma

dimensão entre 0 e 1, portanto fracionária ou fractal. A Figura 6 apresenta o conjunto de Mandelbrot, provavelmente a mais famosa imagem fractal, que é construída a partir de uma outra lei simples indefinidamente repetida.

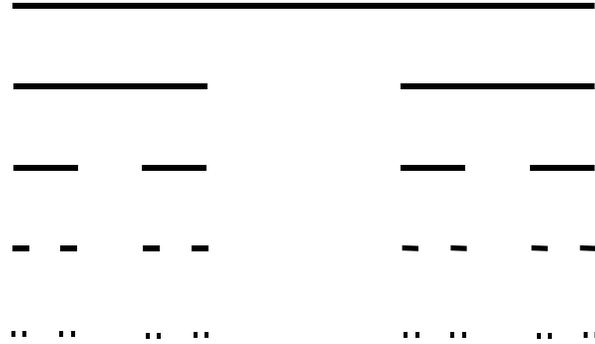


Figura 5 – Fractal: Conjunto de Cantor.

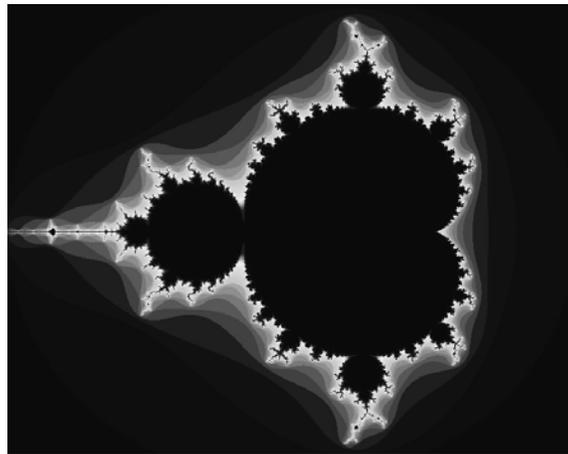


Figura 6 – Conjunto de Mandelbrot.

A natureza explora a existência da unidade básica do caos para uma série de propósitos. Se conseguíssemos fazer o mesmo com os nossos universos paralelos instáveis (ou com as conversas paralelas) e escolher um universo mais conveniente, poderíamos levar uma vida bem diferente da que levamos. Neste momento, cabe refletir como é possível trocar de uma órbita instável (ou universo instável) para outra, e como manter-se nela. A resposta é o *controle de caos* que explora as principais características do comportamento caótico: a riqueza de padrões periódicos; a sensibilidade às condições iniciais; e o caráter ergódico do caos - o sistema visita todos os pontos do atrator.

No início da década de 90, Ott *et al.* (1990) propuseram o método de controle denominado OGY (em homenagem aos pesquisadores Ott-Grebogi-Yorke),

que pode ser considerado o marco inicial de uma série de trabalhos e pesquisas na área de controle de caos. Isso permitiu uma compreensão mais adequada sobre o comportamento de muitos sistemas naturais. A idéia central é usar pequenas perturbações no sistema a fim de estabilizar uma órbita periódica instável imersa no atrator caótico. Geometricamente, pode-se compreender o método como uma tentativa de estabilizar uma pequena bola na superfície de uma sela, a partir de pequenos movimentos da sela. Essencialmente, deve-se movimentar a sela no sentido de que a bola sempre permaneça sobre a direção estável, retornando a posição desejada (Figura 7).

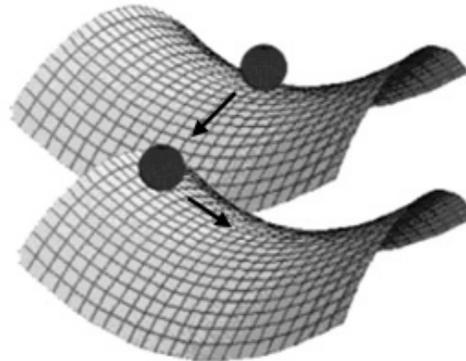


Figura 7 – Controle de caos.

Neste ponto é importante recolocar o termo ritmo, destacando que ele constitui uma das mais importantes manifestações dos sistemas naturais. Os ritmos podem ser regulares ou irregulares, podendo estar associados a funcionamentos fisiológicos normais ou patológicos. Um ritmo extremamente regular pode estar associado a patologias como certos ritmos cardíacos, epilepsia, e tremores neurológicos. Por outro lado, existem fenômenos onde uma dinâmica regular está associada a um comportamento normal como os ciclos do sono e menstrual. Além disso, ritmos irregulares também podem representar patologias como as arritmias cardíacas e desordens neurológicas (Savi, 2005). Portanto, o caos é explorado na natureza em diversas situações e não precisamos apenas evitá-lo, mas imaginar situações onde possamos explorá-lo de diversas formas.

Mas este não é o fim da estória. Ao nos voltarmos para a natureza, veremos diferentes características não-lineares formando sistemas complexos compostos de diversas partes com conexões extremamente intrincadas. Neste momento, devemos lembrar o que os *Jedis* de **Star Wars** entendem por força. Para usar a explicação de Obi-Wan Kenobi “*força é um campo de energia criado por todos os seres vivos: ela nos envolve e penetra; é o que mantém a galáxia unida*”. Mestre Yoda, por sua vez, explica que a força “*a vida cria, crescer ela faz. É a energia que cerca-nos e liga-nos. Luminosos seres somos nós, não esta rude matéria. Você precisa a força sentir ao redor seu. Sinta entre você, eu, a árvore, a pedra, em todo lugar*”. E, para compreender tudo isso é preciso estar “*calmo, em paz, tranqüilo*” e ter “*paciência*”.

A complexidade dos sistemas naturais possui características como a capacidade de auto-organização e de adaptação o que possibilita o surgimento de diversos padrões. Ao observarmos a natureza com cuidado, veremos padrões associados aos furacões e às secas; às impressões digitais humanas e aos desenhos de uma onça pintada; só para citar alguns exemplos (Figura 8).



Figura 8 – Padrões em sistemas complexos.

A ordem e o caos estão presentes nesta complexidade e o equilíbrio ocorre na *fronteira do caos* onde *“a vida possui estabilidade suficiente para se sustentar e criatividade suficiente para ser chamada de vida”* (Waldrop, 1992). A fronteira do caos define uma região de espontaneidade, propícia à vida.

Compreender os caminhos das não-linearidades significa definir nossos ritmos de forma apropriada. Compreender os caminhos da complexidade significa constatar que estamos imersos na natureza como um dos fios de sua teia. Compreender a Natureza (ou a mente de Deus, como alguns preferem) nos permitiria estabelecer a solidariedade ao invés da competição. E, como nossa sociedade também é um fio dessa teia, padrões de justiça e felicidade poderiam prevalecer.

Como parte de um sistema complexo, devemos ver a importância de cada um de nossos atos, dos que julgamos insignificantes, até aqueles que entendemos grandiosos. E, para não dizer que não falei de poesia, devemos pensar com profundidade na sensibilidade às condições iniciais (Murray, 2002): *“A ciência, com muita poesia, descobriu que somos feitos com a mesma matéria das estrelas, e até nossos pensamentos brilham, estelaramente. Por isso convém*

andar com delicadeza e cuidado: nossos gestos e palavras - já que também somos estrelas - podem mudar o universo". Assim, cada um de nós é uma estrela, com brilho próprio, de maior ou menor intensidade, mas essencial para o equilíbrio do universo.

Que a força e as não-linearidades estejam conosco, com muita arte.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao CNPq pelo contínuo apoio em diversos projetos de pesquisa e ao Dr. Claudio Tadeu Daniel Ribeiro pelo convite para elaborar este texto o que me deixou muito honrado e feliz. Finalmente, gostaria de agradecer aos integrantes do meu grupo de pesquisa por gerarem os resultados que nos ajudam a compreender a essência do caos.

BIBLIOGRAFIA

de Paula, A.S., Savi, M.A. & Pereira-Pinto, F.H.I. (2006), "Chaos and transient chaos in an experimental nonlinear pendulum", *Journal of Sound and Vibration*, v.294, n.3, pp.585-595.

Hirsch, M.W., Smale, S. & Devaney, R.L. (2004), "*Differential equations, dynamical systems and an introduction to chaos*", Elsevier Academic Press.

Lorenz, E. (1963), "Deterministic nonperiodic flow", *Journal of Atmospheric Science*, v.20, pp.130-141.

Mandelbrot, B. (1982), "*The fractal geometry of nature*", W.H. Freeman & Co.

Murray, R. (2002), "*Manual da delicadeza de A a Z*", Editora FTD.

Nicolis, G. & Prigogine, I. (1989), "*Exploring complexity*", Freeman.

Ott, E., Grebogi, C. & Yorke, J.A. (1990), "Controlling chaos", *Physical Review Letters*, v.64, n.11, pp. 1196-1199.

Prigogine, I. (1980), "*From being to becoming*", W.H. Freeman and Company.

Savi, M.A. (2006), "*Dinâmica não-linear e caos*", Editora E-papers.

Savi, M.A. (2005). "Chaos and order in biomedical rhythms", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v.XXVII, n.2, pp.157-169.

Savi, M.A., Pacheco, P.M.L.C. & Braga, A.M.B. (2002), "Chaos in a shape memory two-bar truss", *International Journal of Non-linear Mechanics*, v.37, n.8, pp.1387-1395.

"Almanaque Reflexivo: Uma Visão Cognitiva de Mundo a Partir do que Sabemos Sobre Neurônios e Linfócitos", organizado por Cláudio Tadeu Daniel Ribeiro & Luiz Carlos de Lima Silveira, Editora Fiocruz, 2007.

Szulk, Ted (1987), "*Fidel: Um retrato crítico*", Editora Best Seller.

Waldrop, M.M. (1992), "*Complexity*", Simon & Schuster Paperbacks.