

A TEORIA DA RESILIÊNCIA E OS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS: COMO SE PREPARAR PARA UM FUTURO IMPREVISÍVEL?

Robert Buschbacher¹

1 INTRODUÇÃO

Na recente conferência, intitulada *Resiliência 2014*, em Montpellier, na França, mais de novecentas pessoas, incluindo cientistas, alunos e profissionais de diversas disciplinas e países demonstraram como um conceito, que se originou em uma subdisciplina da ecologia quarenta anos atrás, está sendo aplicado hoje em áreas tão diversas como a epidemiologia, a evolução da tecnologia e a resposta de comunidades a deslocamentos.² A presença no painel de abertura de representantes das principais agências de desenvolvimento da Europa e da África mostra como a resiliência está sendo incorporada nos esforços para enfrentar os grandes desafios da humanidade: alimentar uma população crescente, evitar mudanças climáticas drásticas, emergência de novas doenças e satisfação das necessidades básicas de saneamento, saúde e educação das populações marginalizadas (cf. as *Metas de desenvolvimento do milênio*, United Nations, 2011).³

1.1 Sistemas socioecológicos

Como mostra a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM, 2005), a conquista dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) depende dos serviços proporcionados pelo sistema natural (clima, solo, ecologia etc.). Porém, a influência antrópica nos processos globais de clima, circulação de nutrientes, deslocamento de espécies etc. tornam a desvinculação entre natureza e pessoas cada vez mais sem sentido (Vitousek *et al.* 1997).⁴ Reconhecendo que o uso que as pessoas fazem da natureza está embutido no sistema socioeconômico (seus valores, relações sociais e políticas, direito de uso, leis, governança, mercado e relações econômicas etc.), o conceito de “sistemas socioecológicos” está sendo usado para integrar os processos e componentes socioeconômicos e biofísicos (Machlis *et al.*, 1997; Pickett *et al.*, 1997, Berkes

1. Professor e coordenador da *Tropical Conservation Leadership Initiative*, da Universidade da Flórida (UF). E-mail: rbusch@ufl.edu.

2. Disponível em: <<http://www.resilience2014.org/>>.

3. A chamada para a conferência era *Resiliência e desenvolvimento: mobilizando para transformação*, e seu objetivo era "explorar e reforçar as múltiplas ligações entre o pensamento sobre resiliência e os desafios de desenvolvimento". Disponível em: <<http://www.resilience2014.org/aims-and-vision>>.

4. A evolução do pensamento nas ciências sociais sobre a relação entre homem e natureza foi revisada por Davidson-Hunt e Berkes (2003).

e Folke, 1998; Redman *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2007; Ostrom, 2009).⁵ Uma das principais aplicações da teoria da resiliência é na análise de sistemas socioecológicos.

Um bom exemplo de um sistema socioecológico é a fronteira amazônica, onde múltiplos grupos de interesse (madeireiros, agricultores, pecuaristas, assentados, indígenas e conservacionistas) interagem em busca de múltiplos objetivos (produção, lucro, equidade, conservação e manutenção cultural); onde os fatores biofísicos (como água, clima e biodiversidade) afetam e são afetados por essas atividades sociais e econômicas; e onde múltiplos fatores, internos e externos, vindo das escalas locais, nacionais e internacionais (desde políticas públicas e aplicação das leis, à cultura, poder e eficácia de diferentes discursos) influenciam sua dinâmica.

Quando pesquisadores, tomadores de decisão e atores sociais tentam gerenciar sistemas socioecológicos, ou mesmo compreender o seu funcionamento, as perspectivas de economistas, advogados, cientistas sociais e ecólogos, entre outros, são válidas, mas depender de qualquer uma dessas perspectivas exclusivamente é insuficiente, pois os parâmetros e limitações de outras áreas irão sobrecarregar os esforços se não forem adequadamente considerados. Torna-se necessário, portanto, criar teorias, conceitos, ferramentas e metodologias para enxergar o sistema como um todo e entender seus processos de mudança.

A teoria da resiliência aplicada a sistemas socioecológicos representa uma tentativa nesse sentido. Sua ideia-chave é que as incertezas e surpresas inevitáveis na dinâmica de sistemas complexos inviabilizam sua gestão para uma trajetória predeterminada; em vez de conduzir para um rumo específico, é melhor fortalecer capacidades e características do sistema que mantêm a flexibilidade para sobrevivência, aprendizagem e adaptação durante um processo dinâmico e imprevisível de mudança.

O objetivo deste artigo é apresentar os conceitos básicos de resiliência e discutir como estes poderiam ser relevantes para a gestão de sistemas socioecológicos como a fronteira Amazônica. Começa-se olhando para as origens epistemológicas da teoria da resiliência; em seguida, apresenta-se suas ideias-chave; e, por fim, conclui-se com considerações sobre a aplicação da teoria na gestão de sistemas socioecológicos.

2 A MUDANÇA DE PARADIGMAS PARA ABORDAGENS “NÃO EQUILÍBRIO”

No fundo, a teoria da resiliência faz parte de uma mudança de paradigma na ciência como um todo, desde uma visão baseada na estabilidade e no equilíbrio para um mundo de incerteza e pontos de limiar. A partir da revolução científica de Bacon, Newton e outros no Iluminismo, a ciência avançou a partir da observação empírica e da descrição matemática baseada em uma abordagem “reducionista”, na qual uma variável inserida no sistema é modificada, enquanto outras condições são mantidas constantes (por meio de um tratamento “controle”). O êxito desta abordagem levou ao enraizamento de um paradigma, ainda predominante, de como o universo funciona. Metaforicamente, o universo é visto como um relógio, um conjunto de partes, cada uma seguindo as leis newtonianas da física e interagindo, de forma ordenada, para produzir um todo que funciona como uma máquina. Este raciocínio leva à conclusão lógica, conforme Laplace (1814; 1951), de que o conhecimento da condição total do universo em qualquer instante (as posições e *momentum* de todas as partes) daria certeza absoluta sobre a condição exata do universo em qualquer outro momento, do passado ou do futuro.

5. A disciplina de psicologia também utiliza o conceito de resiliência, mas com outras origens e enfocando na escala menor do indivíduo (Bonanno, 2004).

No início do século XX, os cientistas sociais, impressionados com os grandes avanços das ciências físicas a partir desse modelo,⁶ e embutidos na filosofia do Positivismo, decidiram priorizar os dados quantitativos e os testes de hipóteses falseáveis⁷ como a única forma de avançar cientificamente (Beinhocker, 2006). A ciência da economia, por exemplo, se desenvolveu matematicamente de forma bastante rigorosa. Mas, para as análises matemáticas funcionarem, era necessário fazer alguns pressupostos simplificadores: atores que tinham o conhecimento, capacidade e motivação para rapidamente calcular uma “solução ótima”, que levaria o sistema a se manter sempre perto de um equilíbrio ideal. Estes pressupostos estão distantes da realidade mas, por não haver instrumentos de análise adequados, a economia não linear e fora de equilíbrio foi ignorada por muito tempo.

Na ecologia também surgiu uma visão estática de “tipos” de ecossistemas “ideais,” determinados pelas condições físicas de clima e solo. Mesmo incorporando análises de perturbação dos ecossistemas, a ecologia manteve a ideia de que o sistema voltaria a uma condição ideal e estática, chamada de “clímax” (Odum, 1969). A metáfora predominante (e enraizada na cultura, como mostra o filme *O rei leão*) é do “balanço da natureza”, com um ponto certo de equilíbrio natural.

Atualmente, está cada vez mais claro que o paradigma reducionista (e a relacionada divisão do conhecimento em disciplinas) tem fortes limitações. Sistemas complexos – sociais ou tecnológicos – são “abertos” (ou seja, é irreal pensar em alterar uma variável de cada vez, pois a alteração de uma variável implica, inevitavelmente, nas modificações de outras) e, portanto, é impossível fazer observações generalizáveis e replicáveis sobre esses sistemas usando a metodologia tradicional (Beinhocker, 2006).

No caso específico de gestão de recursos naturais, Larkin (1977) declarou um “epitáfio” para o paradigma de se buscar a “produtividade máxima sustentada” de um recurso em isolamento (ignorando todos os outros elementos do sistema no qual o recurso-alvo está inserido), mas, como mostram Holling e Meffe (1996), essa “patologia” reducionista ainda existe.

Ironicamente, a busca de leis determinísticas baseada em observações replicáveis avançou nas ciências sociais justamente na época em que a física evoluiu para uma visão de incerteza e estocasticidade (mecânica quântica, o princípio de Heisenberg etc.). Uma nova metáfora estruturante é a do efeito borboleta, discutido por Lorenz (1963) em seu trabalho sobre meteorologia que mostra, contradizendo Laplace, como incertezas mínimas nas condições iniciais impossibilitam prever o comportamento em um sistema complexo (por exemplo, é quase impossível prever o tempo com mais de oito dias de antecedência).

Mas incerteza não é sinônimo de caos. Uma nova ciência, potencialmente revolucionária, está explorando a emergência de estrutura e ordem que levam a comportamentos complexos e adaptativos em sistemas abertos (Jantsch, 1980; Prigogine, 1984; Gell-Mann, 1995; Mitchell, 2011).⁸ Cientistas estão usando métodos científicos novos, como modelos de computador e simulação, para entender processos comuns a sistemas tão diversos como as formigas de um ninho, os neurônios de um cérebro, os moradores de bairros de diferentes características raciais ou os consumidores em um mercado (March, 1991; Axelrod e Cohen, 2000; Axelrod, 2006; Schelling, 2006; Epstein, 2006). Em todos estes casos,

6. Isso tem sido chamado de “inveja da física”.

7. Seguindo a filosofia da ciência promovida por Karl Popper (1959; 2002).

8. A ciência de complexidade está sendo utilizada para entender a origem da vida (Kauffman, 1995), o desenvolvimento de linguagem (Pinker, 1994), a inteligência de grupos (Wheatley, 2011) etc.

os comportamentos do sistema emergem de processos descentralizados de interação local entre um grande número de agentes que seguem regras simples, sem nenhum mecanismo de controle central.

Uma conclusão importante desses estudos é que os sistemas tendem a produzir ordem e estrutura, mas suas trajetórias exatas não são predeterminadas. Um mecanismo importante que explica isto é a retroalimentação *positiva* – uma pequena variação que aumenta a aptidão de um agente é selecionada, repetida e ampliada, multiplicando, assim, a mudança e alterando o rumo do sistema. É o mecanismo por detrás do efeito borboleta e explica a estrutura de muitas redes sociais (Barabasi e Albert, 1996), o desenvolvimento de modismos, a formação de polos industriais, a consolidação de certas tecnologias e o desenvolvimento de sistemas econômicos e tecnológicos em geral (Arthur, 2009). O ponto central é que a retroalimentação *positiva* amplia as mudanças em sistemas complexos, criando trajetórias não lineares e imprevisíveis. Esta visão se opõe ao paradigma anterior, baseado no equilíbrio. Por exemplo, na economia clássica a retroalimentação *negativa* é o principal mecanismo que explica o rápido retorno de sistemas ao equilíbrio, mas este modelo não explica grande parte do comportamento real no mundo econômico – por exemplo, um *flash crash*⁹ ou uma bolha de especulação (Beinhocker, 2006).

A tabela 1 compara o novo paradigma emergente de sistemas complexos, que visa superar as limitações de enxergar o mundo por meio de partes separadas, interações mecanicistas e disciplinas separadas (Morin, 1999; de Pádua e Jr. Matallo, 2008), com o paradigma reducionista ainda dominante. No próximo item é apresentada a teoria da resiliência como aplicação deste novo paradigma no contexto de sistemas socioecológicos.

TABELA 1
Comparação de conceitos-chave no paradigma reducionista e o novo paradigma sistêmico¹

	Paradigma reducionista	Paradigma sistêmico ou complexidade
Base científica	Leis de Newton	Mecânica quântica e relatividade
Tipo de sistema	Fechado	Aberto e dissipativo
Metáfora	Relógio e motor a vapor	Internet e tecnologia informática distribuída em rede
Dinâmica	Determinístico: demônio de Laplace	Estocástico: efeito borboleta
Tipo dominante de retroalimentação	Negativa	Positiva
Resultado de retroalimentação	Equilíbrio e estabilidade	Autogeração, novidade e surpresa
Tipo de ligação enfatizada	Separação	Conexão
Elementos-chave	Estrutura	Processo e interação
Tipo de organização	Industrial	Informática
Princípio organizacional	Hierarquia	Descentralização de poder e decisões
Objetivo	Harmonia e eficiência	Adaptação e experimentação

Fonte: Axelrod e Cohen (2000), Beinhocker (2006) e Wheatley (2011).
Elaboração do autor.

9. Em 6 de maio de 2010 a Bolsa de Valores de Nova York sofreu um declínio de 9% – em um período de cinco minutos, se recuperando logo depois –, visto como uma anomalia causada por trocas de alta frequência automatizadas (Kirilenko *et al.*, 2011).

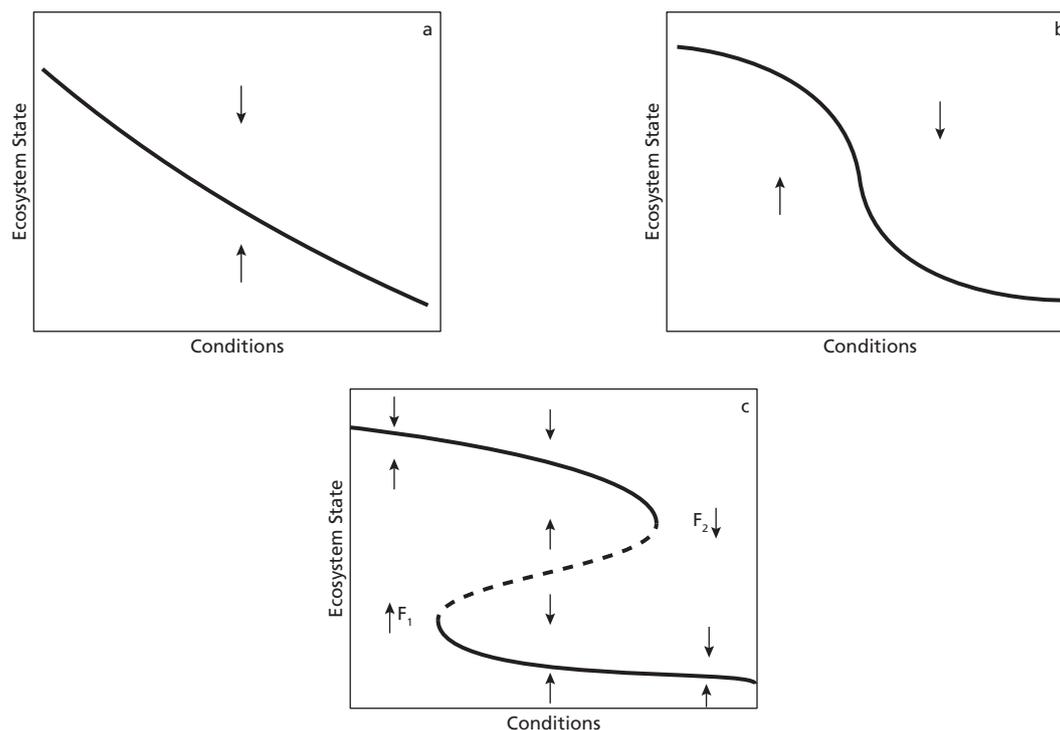
3 RESILIÊNCIA: UMA TEORIA “NÃO EQUILÍBRIO” DE SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS

A teoria da resiliência se encaixa perfeitamente a essas ideias de sistemas dinâmicos, com mudanças não lineares e inesperadas. O conceito atual de resiliência emergiu em 1973, em um processo clássico de mudança de paradigmas (Kuhn, 1962). O ecólogo C. S. Holling estava revisando a literatura sobre a resposta de populações à predação, tentando enquadrar diversos estudos na visão da “ciência normal” (a partir da ideia de que uma população deve voltar para seu estado de equilíbrio depois de um surto de predação), mas as observações não se encaixavam bem à teoria, até que ele chegou a uma conclusão inesperada: a existência, em muitos casos, de pontos limiares em ecossistemas (Folke, 2006).

A grande contribuição de Holling (1973) foi mostrar que a ideia de equilíbrio em sistemas ecológicos é válida apenas em escalas limitadas de tempo e espaço e chamar atenção para mudanças não lineares que também ocorrem em sistemas ecológicos. A figura 1 mostra três diferentes formas da relação entre o estresse em um ecossistema e a correspondente mudança no estado deste. A curva “a” é coerente com o paradigma reducionista e representa o que é provavelmente o entendimento intuitivo da maioria das pessoas: quando muda um fator desencadeante (ou estresse), o sistema muda linearmente, proporcional a este. A curva “b” mostra como um sistema pode se manter constante perante um estresse por algum tempo até chegar a um limite (“ponto limiar”), quando o sistema muda drasticamente. Aí o comportamento é não linear e também inesperado, porque não houve sinais anteriores da aproximação deste ponto limiar. A curva “c” é mais complexa: mostra que depois de passar do ponto limiar (ponto F2) o sistema entra em outro “regime” e, mesmo diminuindo o estresse, o sistema não volta à sua condição original (até chegar no ponto F1). Neste caso (chamado histerese), o sistema pode ter dois (ou mais) estados para um mesmo nível de estresse.

Existem vários exemplos desse tipo de comportamento em sistemas naturais. Lagos rasos com baixos níveis de nutrientes têm uma “zona de estabilidade” de água clara com penetração de luz e crescimento de gramíneas aquáticas, que mantém um alto nível de oxigênio. Com a adição de nutrientes (vindos da agricultura ou população humana, por exemplo), o sistema chega a um ponto de mudança para água turbida sem vegetação e baixo nível de oxigênio. Esta condição eutrófica também é relativamente estável: mesmo reduzindo-se os insumos de nutrientes, pode-se levar muito tempo até que o sistema volte à condição inicial. O mesmo pode acontecer em uma região semiárida de floresta aberta que sofre pastoreio: por muito tempo esta se mantém como floresta, mas se o pastoreio continua aumentando, eventualmente vira savana. Como savana, sofre erosão e perde a capacidade de manter a umidade no solo; mesmo reduzindo o pastoreio, o sistema pode demorar muitos anos para voltar a ser floresta. Na Amazônia atual, se o desmatamento continuar, o sistema poderá chegar a um ponto limiar, mudando para uma floresta aberta ou savana. Nessa situação, o sistema perderia sua capacidade de transpiração e de manutenção do ciclo hídrico e, portanto, o estado de savana poderia ser relativamente estável ou permanente (Sternberg, 2001). A seguir são apresentados alguns conceitos-chave para analisar estes tipos de mudança em sistemas socioecológicos.

FIGURA 1
Três formas de mudança de um ecossistema que sofre um aumento gradual de estresse



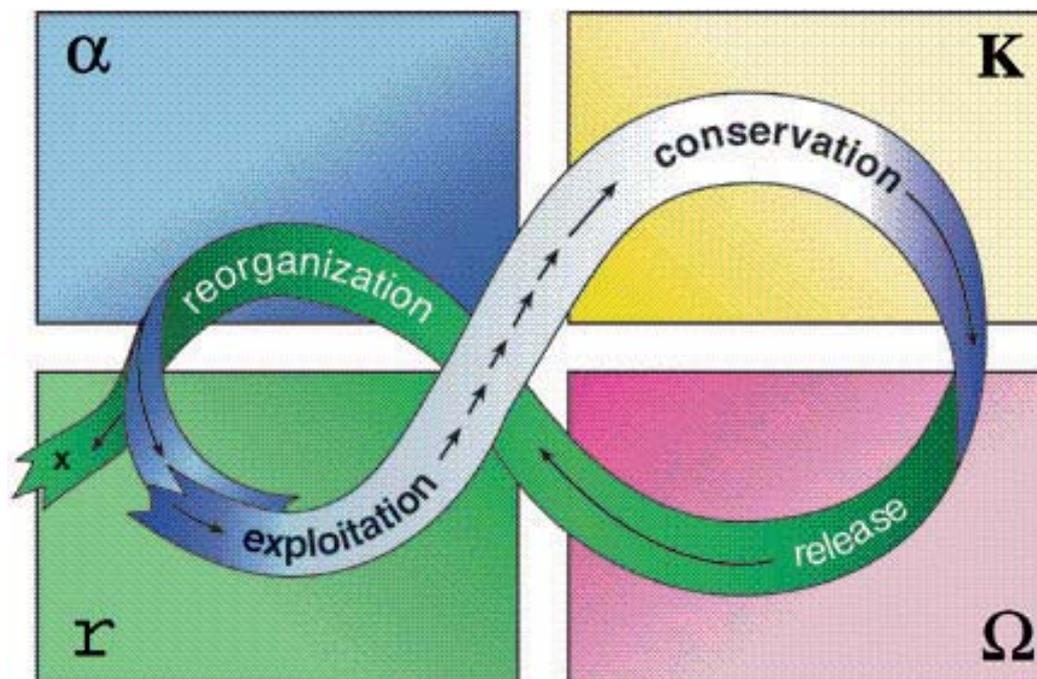
Fonte: Scheffer *et al.* (2000).

3.1 Ciclo adaptativo

Um dispositivo heurístico chamado “ciclo adaptativo” é utilizado para caracterizar a dinâmica de sistemas que podem ter um equilíbrio por algum tempo e depois sofrer uma mudança rápida – e talvez inesperada (figura 2). O ciclo tem quatro fases e é dividido em duas partes. A primeira é uma parte lenta para a frente, que começa com a colonização ou o estabelecimento de um sistema (fase *r*) e passa por um longo processo de crescimento gradual. O sistema pode chegar a uma condição relativamente estável que dura muito tempo (fase *K*). Esta é a visão clássica de sucessão de ecossistemas, iniciando com colonização de um novo habitat e chegando a um clímax estável.¹⁰ A inovação da teoria do Holling é reconhecer que esse equilíbrio não é permanente. Mais do que isso, a teoria diz que enquanto o sistema fica estável (na fase *K*), ele acumula vulnerabilidades e fragilidades; por muito tempo o sistema pode resistir a pequenas perturbações, mas em algum momento sofre uma perturbação que o leva a um rápido e grande colapso (fase Ω). A perturbação que catalisa o colapso pode ser um evento raro e extremo ou pode ser uma perturbação pequena, que chega no momento de maior vulnerabilidade (a gota d’água). A segunda parte do ciclo (parte para trás), é bem mais rápida que a parte para a frente, porque o colapso (fase Ω) libera recursos e permite a reorganização dos “ativos” acumulados (fase α), iniciando um novo ciclo de colonização e crescimento.

10. Os símbolos “*r*” e “*K*” advêm da equação de crescimento de populações, em que “*r*” representa a taxa intrínseca de crescimento e “*K*” a capacidade de carga de um ambiente.

FIGURA 2
As quatro fases do ciclo adaptativo



Fonte: Holling e Gunderson (2002).
Imagem reproduzida em baixa resolução em virtude das condições técnicas dos originais disponibilizados pelos autores para publicação (nota do Editorial).

Um exemplo deste processo seria uma floresta que coloniza uma roça abandonada; passa por um processo de exploração e crescimento até chegar a uma floresta bem desenvolvida, que pode se manter por muitos anos. Ao longo dos anos a floresta acumula “ativos” (biomassa e nutrientes) mas, gradualmente, as árvores ficam decadentes, até que uma pequena perturbação (uma fâsca, por exemplo), pode causar um colapso, liberando os nutrientes e abrindo espaço para uma nova floresta colonizar o sítio.

Como uma falha geológica que acumula estresse até liberar a energia em um terremoto, o ciclo adaptativo também se aplica a sistemas sociais – empresariais, burocráticos ou políticos (Gladwell, 2002). O próprio sucesso de tais sistemas cria resistência à mudança, tornando-os mais vulneráveis a uma alteração drástica, que pode acontecer a qualquer momento. Por exemplo, Geithner (2014) discute como a crise financeira de 2008 foi tão grave justamente porque Wall Street tinha passado mais de setenta anos desde a última crise deste tipo, levando os atores a assumirem muito risco (paradigma de equilíbrio permanente); e que durante esses anos de estabilidade o sistema estava acumulando fragilidades e vulnerabilidades que as medidas tomadas nos anos 1930 não contemplavam. O colapso da União Soviética mostra quão rapidamente uma mudança inesperada pode acontecer, e a Primavera Árabe mostra como uma perturbação pequena e local pode desencadear um processo de mudança em grande escala. O conceito schumpeteriano de “destruição criativa” reflete a ideia de que um colapso libera recursos que facilitam o início de um novo ciclo de colonização e crescimento.

O ciclo adaptativo de Holling representa uma mudança de paradigma de uma visão de sistemas que chegam e se mantêm em um ponto de equilíbrio, para um reconhecimento de que este equilíbrio é transitório. Mesmo que o sistema se mantenha por muito tempo, seu colapso e reorganização são inevitáveis; o colapso pode vir a qualquer momento, e quando este demora, o sistema acumula fragilidades que aumentam seus efeitos quando vier a ocorrer.

3.2 Resiliência e transformação

A implicação desta nova visão para a gestão de sistemas é que, em vez de tentar mantê-los em seus pontos de equilíbrio ou geri-los rumo a trajetórias fixas, é mais importante pensar na capacidade de lidar com as mudanças. Isto nos leva ao conceito de resiliência *per se*. A resiliência é a capacidade do sistema manter suas características essenciais de estrutura e função, mesmo depois de um colapso e reorganização. De certa forma, resiliência é uma síntese entre estabilidade e dinâmica, integrando as ideias de mudança e limites.

Para entender o conceito, é importante diferenciar o “estado” do sistema de seu “regime”: estado refere-se às condições específicas em um dado momento, enquanto regime refere às características gerais de estrutura e função do sistema. Um sistema resiliente muda seu estado constantemente, mas estas mudanças giram dentro de um mesmo regime. “Floresta” seria um regime, dentro do qual um local poderia mudar do estado de “floresta nova” para o estado de “floresta madura”, ou até para o estado de “floresta queimada”; se está em processo de recuperação, se mantém no “regime” floresta. Caso o desmatamento regional mude o clima e o banco de sementes ao ponto em que a floresta não se recupere mais, trata-se de uma mudança de regime (para savana, por exemplo). Analogamente, uma eleição pode mudar o estado de uma democracia (para outro partido dominante, por exemplo), mas isto não muda o regime; uma revolução que acaba com a representação democrática seria uma mudança de regime. Se a Primavera Árabe representa uma mudança de regime ou apenas uma mudança do estado dentro do mesmo regime é aberto à interpretação (e talvez ainda não definida).

Duas considerações são essenciais no entendimento desse conceito. Em primeiro lugar, é importante reconhecer que a definição do “regime” e a caracterização dos estados do sistema não são absolutas; dependem da definição do observador e são sujeitos à interpretação. Portanto, é importante definir explicitamente os parâmetros usados na discussão do regime/estados do sistema, e examinar aspectos normativos e possíveis distorções e preconceitos embutidos nesta definição.

Em segundo lugar, é importante entender que ser “resiliente” não é necessariamente uma característica positiva. Uma “armadilha de pobreza” (*poverty trap*) representa um sistema resiliente e negativo. Neste caso, uma mudança de regime seria positiva. O termo utilizado para mudança de regime é “transformação”, o que está representado na heurística do ciclo adaptativo pela bifurcação no lado inferior esquerdo da figura 2 – depois do colapso e da reorganização, o sistema pode ficar no mesmo regime e começar um novo ciclo (resiliente), ou pode mudar de regime para um outro tipo de sistema (transformação – marcado com “x” na figura 2).

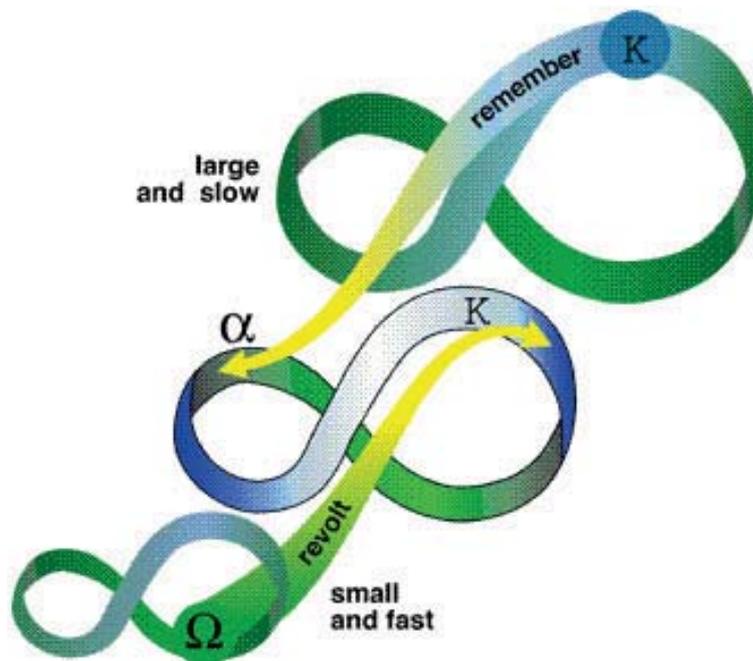
3.3 Panarquia

O mundo é organizado em hierarquias aninhadas de sistemas em diferentes escalas de espaço e tempo: células, árvores, ecossistemas, biomas; ou pessoas, famílias, comunidades, municípios, nações. Pode-se escolher qualquer escala como foco de análise, mas o comportamento do sistema na escala focal sempre vai depender das interações entre agentes na mesma escala e também das interações entre escalas.

O termo “panarquia”, incorporando o nome do deus grego da natureza, Pan, integra o modelo do ciclo adaptativo e a hierarquia aninhada de sistemas em diferentes escalas (Gunderson e Holling 2002). A figura 3 mostra três escalas da panarquia e destaca algumas

relações: as mudanças no sistema de escala maior são tipicamente lentas quando comparadas às aquelas em sistemas em escala menor, cujo ciclo adaptativo é mais rápido; as mudanças pequenas, mas frequentes nos sistemas menores, podem catalisar uma mudança no sistema maior (“revolta”) – por exemplo, uma faísca em uma floresta ou uma inovação social; e inversamente, quando o sistema menor passa por colapso e reorganização, o sistema maior pode ajudar a manter a continuidade (“lembrança”) – por exemplo, as sementes que colonizam um trecho de floresta queimada ou as histórias e a sabedoria cultural que as pessoas usam para verem sentido em uma tragédia.

FIGURA 3
Panarquia: mostrando interações entre escalas aninhadas



Fonte: Holling e Gunderson (2002).
Imagem reproduzida em baixa resolução em virtude das condições técnicas dos originais disponibilizados pelos autores para publicação (nota do Editorial).

3.4 Resiliência geral e capacidade adaptativa

O conceito de resiliência pode ser utilizado para analisar a capacidade do sistema de manter-se em um certo regime perante uma perturbação específica – isto é chamado “resiliência específica” (Carpenter *et al.* 2001). Assim, pode-se analisar a capacidade de um ecossistema se manter como floresta perante diferentes níveis de desmatamento e/ou queimada, ou a capacidade de uma ditadura se manter perante diferentes níveis de protesto e descontentamento popular.

Enquanto o conceito de resiliência específica reconhece a mudança e até o colapso e a reorganização como processos inerentes aos sistemas socioecológicos, ele ainda é um pouco estático em se limitar a estresses previsíveis e à manutenção dentro de um regime com estruturas e funções predeterminadas. Os sistemas socioecológicos, porém, existem dentro de um mundo globalizado cujos mercados, sistemas de governança internacional, tecnologia, demografia, cultura, clima etc. estão mudando a taxas sempre aceleradas. Assim, tanto o tipo (e magnitude) dos choques externos, quanto as características de um regime desejável, são imprevisíveis.

Nesse contexto, a característica-chave para um sistema socioecológico é a “resiliência geral”: capacidade de lidar com incertezas, mudanças e surpresas por meio de adaptação, aprendizagem e auto-organização. A resiliência geral é mais dinâmica que a resiliência específica porque não enfatiza a manutenção de um regime com atributos predeterminados; em contraste, enfatiza a exploração e a adaptação a um mundo de possibilidades que está sempre mudando. A resiliência geral é sinônimo de capacidade adaptativa ou adaptabilidade. Diferente da resiliência específica, que pode ser vista como negativa se o regime atual é visto como negativo, a resiliência geral é uma capacidade que abre possibilidades e, portanto, é sempre vista como positiva.

4 CONCLUSÃO: APLICAÇÃO DA TEORIA NA GESTÃO DE SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS

O conceito de sistemas socioecológicos destaca a importância de se integrar a gestão dos recursos naturais com as pessoas. A teoria da resiliência traz uma nova forma de enxergar estes sistemas como complexos, dinâmicos, imprevisíveis e não lineares. Nessa visão de mundo, nenhum ator tem o poder de direcionar o sistema (mesmo que alguns tenham maior poder de influência que outros), e não existe certeza de como o sistema vai responder a cada ação. Esta compreensão leva à humildade, mas não à resignação. Significa que, em vez de maximizar um único fator, torna-se necessário se preparar para uma gama de possíveis futuros. Em outras palavras, aumentar a resiliência geral ou capacidade adaptativa.

Os processos inerentes à resiliência geral – adaptação, aprendizagem e auto-organização –, são justamente aqueles destacados na discussão do novo paradigma de sistemas complexos e que explicam a emergência de comportamentos complexos sem qualquer processo de controle centralizado (tabela 1, ao final do item 2). Quais são as características de um sistema que contribuem para sua capacidade adaptativa ou resiliência geral? Mesmo sendo uma área de pesquisa bastante nova, existem algumas indicações. Em geral, são processos e características estruturais que contribuem para a flexibilidade, a variabilidade de experiências e processos de comunicação e aprendizagem. Como discutido em Walker *et al.* (2006), Biggs *et al.* (2012), Carpenter *et al.* (2012) e outros, pode-se destacar:

- sistemas com diversidade e redundância têm maior resiliência que sistemas que maximizam a produtividade de apenas um benefício;
- reservas de recursos e estoques de capital – financeiro, natural, humano, social e fabricado – permitem que o sistema se recupere depois de pequenas perturbações;
- capital social, liderança e confiança contribuem para resiliência;
- instituições tem um papel fundamental na resiliência;
- sistemas com estrutura modular (por exemplo, redes descentralizadas) têm maior resiliência que sistemas centralizados;
- a recomendação de Ostrom (2010) para sistemas de governança policêntricos é consistente com os dois pontos anteriores.

Uma conclusão é clara: não existem panaceias. Algumas características podem ser positivas ou negativas para resiliência, dependendo da situação. Conectividade pode aumentar aprendizagem ou pode transmitir pequenas perturbações para o sistema como um todo (por exemplo, uma doença). Outras características que contribuem para resiliência e flexibilidade no longo prazo podem representar custos no curto prazo: uma roça diversificada pode ser mais resiliente que uma monocultura, mas também

menos produtiva em termos econômicos; reservas de capital podem reduzir risco, mas também reduzem retorno financeiro.

A pergunta que fica, como desafio central do século, é: como manter resiliência para cumprir com as necessidades humanas sem acabar com os serviços e processos essenciais da natureza? Ao nível de uma pessoa, família ou grupo pequeno, não é difícil pensar em como aumentar a resiliência: diversificar fontes de renda, investir nas relações sociais, manter reservas de capital de diferentes tipos, desenvolver competências de aprendizagem e adaptação. Estas medidas não eliminam as vulnerabilidades que vêm de outras escalas do sistema – um colapso econômico, político ou ambiental no país vai afetar todas as pessoas – mas, provavelmente, aquelas com maior resiliência teriam maior chance de se recuperar.

Em sistemas maiores – comunidade, nação, planeta –, como em todo sistema complexo, grande parte da solução virá de escalas menores do sistema – atores individuais e iniciativas locais testando e demonstrando alternativas. Mas o sistema precisará, também, de mecanismos para disseminar e replicar pequenos sucessos. Além disso, o contexto institucional e os processos que acontecem nas macroescalas do sistema vão criar, ou não, um contexto adequado para esta exploração e replicação local.

Portanto, precisa-se buscar soluções em todos os níveis – individualmente, em nossas comunidades, e em todos os níveis governamentais. Uma iniciativa pequena, liderada pela Universidade da Flórida e que envolve um grupo *multistakeholder* de várias universidades, ONGs, órgãos governamentais e comunidades da Amazônia brasileira, está testando uma ferramenta chamada “avaliação da resiliência” na fronteira Amazônica (Athayde *et al.*, 2014), que visa analisar o sistema historicamente, entender o ponto de vista e os objetivos dos atores, compreender as interações entre escalas da panarquia, identificar os fatores desencadeantes para a dinâmica do sistema e avaliar possíveis diferentes cenários para o futuro. Acredita-se que um melhor entendimento da dinâmica do sistema pode contribuir para a governança adaptativa e a melhoria da gestão dos recursos naturais. Certamente, a promoção de liderança, comunicação e aprendizado social aumenta a resiliência e a capacidade de lidar com um futuro imprevisível (Olsson *et al.* 2006). Tem-se muito a aprender e do contexto da Amazônia e do mundo é urgente.

REFERÊNCIAS

ARTHUR, W. B. **The nature of technology**: what it is and how it evolves. New York: The Free Press, 2009.

ATHAYDE, S.; BARTELS, W. L.; BUSCHBACHER, R.; ROSA, R. D. Aprendizagem colaborativa, transdisciplinaridade e gestão socioambiental na Amazônia: abordagens para a construção de conhecimento entre academia e sociedade. **Revista Brasileira de pós-Graduação**, 10(21), 2014.

AXELROD, R. **The evolution of cooperation**: revised edition. Basic books, 2006.

AXELROD, R.; COHEN, M. D. **Harnessing complexity**: organizational implications of a scientific frontier. New York: The Free Press, 2000.

BEINHOCKER, E. D. **The origin of wealth**: evolution, complexity, and the radical remaking of economics. Boston, Mass: Business School Press, 2006.

BERKES, F.; FOLKE, C. (Eds.) **Linking social and ecological systems**: management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1998.

- BIGGS, R. M. *et al.* Towards principles for enhancing the resilience of ecosystem services. **Annual Review of Environment and Resources** 37: 421-448, 2012.
- BONANNO, G. Loss, trauma, and human resilience: have we underestimated the human capacity to thrive after extremely aversive events? **American Psychologist**, n. 59, p. 20-28, 2004.
- DAVIDSON-HUNT, I. J.; BERKES, F. Nature and society through the lens of resilience: toward a human-in-ecosystem perspective. **Navigating Social-Ecological Systems: building resilience for complexity and change**, p. 53-82. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- DE PÁDUA, E. M. M.; JR. MATALHO, H. M. (Org.) **Ciências sociais, complexidade e meio ambiente: interfaces e desafios**. Papirus Editora, 2008.
- EPSTEIN, J. M. **Generative social science: studies in agent-based computational modeling** (Princeton Studies in Complexity). Princeton University Press, 2006.
- FOLKE, C. Resilience: the emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. **Global Environmental Change** 16: 253-267, 2006.
- GELL-MANN, M. **The quark and the jaguar: Adventures in the simple and the complex**. Macmillan, 1995.
- GLADWELL, M. **The tipping point: how little things can make a big difference**. Back Bay Books, 2002.
- HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics** 4: 1-23, 1973.
- HOLLING, C. S.; GUNDERSON, L. H. Resilience and adaptive cycles. **Panarchy: understanding transformations in human and natural systems**, p. 25-62. Washington: Island Press, 2002.
- HOLLING, C. S.; MEFFE, G. K. **Command and control and the pathology of natural resource management: conservation biology**, 10: 328-337, 1996. doi:10.1046/j.1523-1739.1996.10020328.x.
- JANTSCH, E. **The self-organizing universe: scientific and human implications of the emerging paradigm of evolution**. Pergamon Press, 1980.
- KAUFFMAN, S. **At home in the universe: the search for the laws of self-organization and complexity**. Oxford University Press, 1995.
- KIRILENKO, A.; KYLE, A. S.; SAMADI, M.; TUZUN, T. **The flash crash: the impact of high frequency trading on an electronic market**. University of Maryland: Manuscript, 2011.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1962.
- LAPLACE, P. S. **A philosophical essay on probabilities**. Translated into English from the original French 6th ed. by Truscott, F. W. and Emory, F. L. New York: Dover Publications, p. 4, 1951.
- LARKIN P. A. An epitaph for the concept of maximum sustained yield. **Transactions of the American Fisheries Society**, 106:1-11, 1977.
- LIU, J. *et al.* Complexity of coupled human and natural systems. **Science**, 317(5844): 1513-1516, 2007.
- LORENZ, E. N. Deterministic nonperiodic flow. **Journal of the Atmospheric Sciences** 20(2): 130-141, mar. 1963.

- MACHLIS, G. E. *et al.* The human ecosystem part I: the human ecosystem as an organizing concept in ecosystem management. **Society & Natural Resources**, 10(4): 347-367, 1997.
- MARCH, J. G. Exploration and exploitation in organizational learning. **Organization science**, 2(1): 71-87, 1991.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2005.
- MITCHELL, M. **Complexity: a guided tour**. Oxford University Press, 2011.
- MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. 2. ed. Lisboa: Instituto Piaget, 1999.
- ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science** 164: 262-270, 1969.
- OLSSON, P. *et al.* Shooting the rapids: navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems. **Ecology and Society** 11(1): 18, 2006 [Online]. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art18/>>. Acesso em: 27 out. 2014.
- OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science** 325: 419-422, 2009.
- _____. Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems. **American Economic Review**, 100(3): 641-72, 2010.
- PICKETT S. T. A., *et al.* A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas. **Urban Ecosystems** 1: 185-99, 1997.
- PINKER, S. **The language instinct: how the mind creates language**. New York: William Morrow, 1994.
- POPPER, K. **The logic of scientific discovery**. Routledge, 2005.
- PRIGOGINE, I. Order out of chaos. **Bantam Books**, 1984.
- REDMAN, C. L.; GROVE, J. M.; KUBY, L. H. Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change. **Ecosystems**, 7(2): 161-171, 2004.
- SCHEFFER, M.; BROCK, W.; WESTLEY, F. Socioeconomic mechanisms preventing optimum use of ecosystem services: an interdisciplinary theoretical analysis. **Ecosystems**, 3(5): 451-471, 2000.
- SHELLING, T. C. **Micromotives and macrobehavior**. W. W. Norton & Company, 2006.
- STERNBERG, L. S. L. Savanna-forest hysteresis in the tropics. **Global Ecology and Biogeography** 10(4): 369-378, 2001.
- UNITED NATIONS. **Millennium Development Goals Report 2011**, Jun. 2011. Disponível em: <<http://www.refworld.org/docid/4e42118b2.html>>. Acesso em: 28 maio 2014.
- VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, 277(5325): 494-499, 1997.
- WALKER, B. H. *et al.* A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. **Ecology and Society**, 11(1): 13, 2006 [Online]. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art13/>>. Acesso em: 27 out. 2014.
- WHEATLEY, M. **Leadership and the new science: discovering order in a chaotic world**. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 2011.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BARABASI, A. L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science** 286: 509-12, 1999.

CARPENTER, S. R. *et al.* General resilience to cope with extreme events. **Sustainability** 4: 3248-3259, 2012.

CARPENTER, S. R., WALKER, B. H.; ANDERIES, M. A.; ABEL, E. N. A. From metaphor to measurement: resilience of what to what? **Ecosystems** 4: 765-781, 2001.

GEITHNER, T. F. **Stress test**: reflections on financial crises. Crown, 2014.