

# PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO

Desertification process in brazilian northeast

Proceso de desertificación en el nordeste brasileño

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v27.1211>

Isorlanda Caracristi<sup>1</sup>

## RESUMO

Este artigo trata sobre “Desertificação” e “Semiárido” na perspectiva teórica dos novos paradigmas sistêmicos. Acreditamos que os estudos de áreas degradadas ou em processo de desertificação, a partir dos novos pressupostos do pensamento sistêmico trarão à tona métodos inusitados e mais eficazes na compreensão da atividade organizativa, do padrão das relações essenciais à manutenção ou recuperação do nosso semi-árido.

**Palavras-chave:** Desertificação. Semiárido. Pensamento Sistêmico. Complexidade. Padrão de organização.

## ABSTRACT

This paper addresses "Desertification" and "Semi-arid" regions from the theoretical perspective of new systemic paradigms. We believe that studies of degraded areas or areas undergoing desertification, based on the new assumptions of systemic thinking, will bring to light unusual and more effective methods for understanding organizational activity and the pattern of relationships essential to the maintenance or recovery of our semi-arid region.


**Keywords:** Desertification. Semi-arid region. Systemic Thinking. Complexity. Organizational pattern.

## RESUMEN

Este artículo aborda las regiones "desertificadas" y "semiáridas" desde la perspectiva teórica de los nuevos paradigmas sistémicos. Creemos que los estudios de áreas degradadas o en proceso de desertificación, basados en los nuevos supuestos del pensamiento sistémico, revelarán métodos inusuales y más eficaces para comprender la actividad organizacional y el patrón de relaciones esencial para el mantenimiento o la recuperación de nuestra región semiárida.

**Palabras clave:** Desertificación. Región semiárida. Pensamiento sistémico. Complejidad. Patrón organizacional.

<sup>1</sup> Professora doutora dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação em Geografia (PROPGEU-UVA) da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA. E-mail: isorlanda\_caracristi@uvanet.br

 <https://orcid.org/0000-0002-3777-7417>

## INTRODUÇÃO

Poderíamos ter optado por tratar a temática através de um discurso técnico, fazendo uma análise das principais causas e conseqüências dos processos de desertificação no território nacional, em especial no nordeste brasileiro, expondo um diagnóstico geral e propondo procedimentos de uso e manejo voltados à recuperação e à manutenção da qualidade ambiental, principalmente do ambiente semi-árido, que predomina e caracteriza a paisagem regional. Porém, acreditamos que não teríamos muito a acrescentar ao que já vem sendo exposto e discutido nos fóruns e publicações científicas.

Esse viés vem sendo tratado há décadas, e se consultarmos uma biblioteca ou acessarmos a Internet, teremos um rol de mais de mil títulos, dentre trabalhos científicos ou *sites* especializados, onde são examinadas as questões referentes aos processos de desertificação do Nordeste brasileiro, através de diagnósticos e prognósticos de uso e ocupação do semi-árido.

Optamos por trabalhar numa outra perspectiva, que envolve a “Produção de conhecimento de Geografia Física do Nordeste”. Vamos adentrar no contexto dos paradigmas de pesquisa sobre desertificação ou processos de degradação ambiental.

## INSTIGANDO A PERSPECTIVA DO TEMA

As questões referentes à desertificação e às mudanças climáticas são as que melhor evidenciam a magnitude crescente das problemáticas de relação sociedade-natureza. Por isso, elas são focalizadas pelos mais variados ramos do conhecimento e sob as mais distintas orientações conceituais e epistemológicas, subsidiando e compondo diversas hipóteses científicas, político-econômicas e educacionais. Muitas linhas de pesquisa voltadas ao estudo integrado de sistemas naturais degradados ou em processo de degradação foram implantadas em nosso país e nos centros e associações internacionais de estudos interdisciplinares, formando uma área de investigação de grande prioridade junto a muitas dessas instituições, tanto no que diz respeito aos seus aspectos teórico-metodológicos e técnicos como aos políticos e pedagógicos.

No âmbito da Geografia Física, os estudos sobre desertificação são os que mais têm alcançado abrangência nacional, com uma contínua interlocução multi/interdisciplinar, conseguindo, por isso mesmo, avançar mais nas tentativas de novas proposições técnicas e de procedimentos metodológicos. Contudo, no que se refere aos aspectos conceituais ou teóricos de cunho geográfico, poucas inovações são efetuadas. As referências teórico-metodológicas tais como as proposições de Sotchava (1977), Bertrand (1972) e Tricart (1977), são as que ainda persistem e predominam no

campo conceitual geral da Geografia Física, principalmente das pesquisas de ambientes que sofrem impactos pelas atividades humanas degradadoras.

Não podemos negar a pertinência e a relevância de tais proposições, porém acreditamos que é imprescindível avançarmos e, muitas vezes, revermos criticamente e até rompermos com alguns usuais paradigmas, abrindo-nos para novas fronteiras de conhecimento. Concepções geradas através do intercâmbio entre a Física, a Química, a Biologia, a Neurociência e a Cibernética, por exemplo, cada vez mais estão se constituindo em férteis suportes para a montagem de arcabouço conceitual e metodológico dos estudos ambientais e dos sistemas naturais.

Já nos anos de 1970, por exemplo, o professor geógrafo Carlos Augusto Monteiro (MONTEIRO, 1974 apud MONTEIRO, 2000 p.39) ousou inovar e propôs uma definição original para a Paisagem Geográfica, concebendo-a como:

Entidade espacial delimitada segundo um nível de resolução do geógrafo (pesquisador) a partir dos objetivos centrais da análise, de qualquer modo sempre resultando da interação dinâmica, portanto instável, dos elementos de suporte e cobertura (físicos, biológicos e antrópicos) expressa em partes delimitáveis infinitamente, mas individualizadas através das relações entre eles, que organizam um todo complexo (sistema) verdadeiro conjunto solidário e único, em perpétua evolução.

A nosso ver, Monteiro avançou conceitualmente, pois concebeu a paisagem como uma “entidade espacial” e não como “uma dada formação/proporção do espaço”, como ocorre nas proposições anteriormente citadas, transpondo para a paisagem um princípio filosófico do ser/ente que se constitui num perpétuo devir: uma entidade em contínua transformação que se configura num sistema dinâmico aberto, cujo grau de complexidade é construído segundo a escala objetivada pelo pesquisador, inserindo de forma mais explícita a relação sujeito-objeto, os conceitos de sistema, interação, dinâmica, instabilidade, complexidade, autonomia complementar (solidário e único), organização, evolução (história/dimensão temporal), abrindo o objeto geográfico ao contexto interdisciplinar dos novos paradigmas da ciência contemporânea que na época se consolidavam.

E essa intenção ficou muito clara quando ele próprio chamou atenção em seus trabalhos para essas possibilidades de diálogo interdisciplinar e instigava os futuros geógrafos a se voltarem para esse desafio, principalmente no que se refere às potencialidades advindas das novas teorias, como a das Estruturas Dissipativas, de Ilya Prigogine (PRIGIGINE, 1996) capazes de gerar revisões conceituais e novas reflexões teóricas e construções metodológicas. Tentar “repensar para criar [...] uma outra razão para um novo conhecimento”, entre “acaso e oportunidade” (MONTEIRO, 1991).

Não só a teoria das “Estruturas Dissipativas” de Prigogine (1996), mas tantas outras teorias e paradigmas, como “gaia”, de Lovelock (1991a, 1991b), “autopoiese” de Maturana (2000), “abordagem *bootstrap*” em 1960 por Geoffrey Chew (apud Capra 1995, 1997) e o “paradigma da complexidade” de Morin (2003), estão cada vez mais condizentes com os estudos geográficos da natureza.

A Geografia brasileira vem ensaiando e efetivando aproximações com novos paradigmas, como as idéias de caos, complexidade, desordem organizadora, auto-organização, organização ativa, repetição com diferença, fractais. Em geografia física, destacam-se os trabalhos de Christofolletti, Antonio (1995a, 1995b) e Christofolletti, Anderson (1995a, 1995b, 2003, 2004) sobre a aplicação da geometria dos fractais em estudos climáticos, geomorfológicos, pedológicos e até mesmo em geografia humana.

No âmbito da geografia ambiental, fazendo uma análise entre as mudanças climáticas/ambientais globais e a “ação da cultura humana” (relação sociedade-natureza) sob a ótica de novos paradigmas, podemos citar o livro “A ruptura do meio ambiente: conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência - a geografia da complexidade” de Camargo (2005); num contexto predominantemente da Geografia Humana e da Epistemologia Geográfica, podemos mencionar a publicação “Geografia, Ciência do Complexus: Ensaio Transdisciplinares” (2004), na qual verificam-se “os sintomas de um novo paradigma”, onde Silva e Galeno (2004, 15) afirmam que “O cenário descrito por Prigogine para duas áreas da ciência pode ser estendido para outras tantas, como as da saúde, da bioengenharia, do meio ambiente, dos estudos da biosfera, para citar algumas”.

A compreensão sistêmica contemporânea da relação entropia-neguentropia, de complementaridade recursiva, de auto-organização, interagindo autonomia e interdependência como características da dinâmica natural, vem aumentando significativamente as possibilidades de interface entre os estudos geográficos e as diversas áreas do conhecimento. É fundamental a ampliação da inserção da Geografia Física nesse diálogo entre os saberes, tanto pela grande contribuição que pode oferecer como pelos avanços técnicos, metodológicos e teóricos que pode desenvolver no processo de dialogar, repensar e operacionalizar.

## **O SEMIÁRIDO NO CONTEXTO DO PENSAMENTO SISTÊMICO CONTEMPORÂNEO**

Estudar os ambientes degradados ou em processo de desertificação, como no caso de vastas áreas do semi-árido nordestino, através dessa nova compreensão sistêmica, da aplicação dos paradigmas contemporâneos não mecanicistas e não deterministas, é um desafio impreterível,

compondo criativos e instigantes caminhos a se percorrer na busca de novas idealizações e realizações científicas.

A Teoria dos Sistemas, que serviu como fundamento da constituição metodológica da ciência contemporânea, hoje se transforma e se recria nos e pelos paradigmas que ajudou a criar, adquirindo uma racionalidade mais complexa e dialógica, um suporte teórico com maior capacidade crítica, analítica, sintética e operacional. A auto-renovação do pensamento sistêmico projeta-o, mais uma vez, como o melhor instrumento teórico-metodológico para a compreensão científica da natureza macroscópica, principalmente dos sistemas naturais de ordem geográfica e ecológica, tais como aqueles que compõem a região semi-árida do nosso território.

Os ecossistemas semi-áridos, de modo geral, são considerados “frágeis”, e por isso potencialmente “vulneráveis” diante do uso e ocupação atuais. E essa adjetivação comum aos diagnósticos ambientais faz-nos indagar: qual o ecossistema que é “pouco vulnerável” a ações contínuas de usos e ocupações degradadoras? Ou, qual o ecossistema que pode ser considerado “forte” ou “não frágil”? Os critérios de classificação são baseados na dinâmica de organização inerentes aos ecossistemas ou a partir do viés econômico de sua capacidade produtiva? Será que um ecossistema terá a mesma “capacidade produtiva” diante de modos de produção e de usos e ocupações diferentes? Ele poderá deixar de ser “frágil” em outro contexto explicativo?

No contexto do pensamento sistêmico contemporâneo, não existe ecossistema “frágil”, “vulnerável”, “susceptível”, “resistente” ou “forte”. O que existe são diferentes padrões de organização natural, que se mantêm pela dinâmica de relações recursivas internas e externas ao sistema. O desconhecimento do padrão de organização dos sistemas naturais resulta em diagnósticos e classificações que se baseiam em aspectos não intrínsecos à dinâmica sistêmica. Não é porque o semi-árido é “frágil” que devemos mudar nossa maneira de uso e ocupação. É nossa forma de pensar e agir no semi-árido que é incompatível com a manutenção de qualquer padrão de organização natural, seja ele semi ou totalmente árido ou úmido.

No plano conceitual, qualquer ambiente torna-se “frágil” quando pensamos em seus componentes isoladamente. Por exemplo, se analisarmos o solo semi-árido: o solo, ao perder a cobertura vegetal e sofrer queimadas e outros processos degradadores, com certeza, por ser um solo raso e exposto às altas temperaturas e às chuvas intensas concentradas, irá rapidamente perder suas características originais. Então, dizemos que o solo do semi-árido é frágil, principalmente quando associamos esses motivos aos objetivos de uso socioeconômico que atribuímos culturalmente a ele, ou

seja, é frágil porque perdeu na escala temporal de produção econômica suas propriedades de recuperação original e de uso socioeconômico preestabelecido.

Porém, se considerarmos não mais os componentes isoladamente, e sim o semi-árido em sua integridade sistêmica, considerando-o como um sistema aberto, dinâmico e auto-organizador, e dissociado do valor cultural de uso, iremos verificar que sob esse novo aspecto ele não é “frágil”, pois mesmo diante de intervenções tão intensas e contínuas, ele vem recriando novos padrões de evolução, de organização, que apesar de não configurarem o padrão original ou de usufruto econômico convencional, expressam uma grande capacidade organizacional.

Por questões como essa é que não podemos nos esquivar da necessidade de revisar e desenvolver novas bases teóricas, através de um diálogo inter/transdisciplinar contínuo e não-corporativista, indo além da simples absorção de informações multidisciplinares, sem diluir o caráter geográfico das relações que envolvem os sistemas naturais.

Devemos começar pelos próprios princípios que fundamentam o conceito geral de sistema, e que formam o substrato teórico de toda proposição técnica e metodológica dos estudos de Geografia Física no Brasil, incluindo as investigações sobre desertificação na região Nordeste. O conceito de sistema, muito usado nas mais diversas áreas do conhecimento, é o de “um conjunto de elementos ou atributos e das suas relações, organizados para executar uma função particular.” (HALL e FAGEN, apud PENTEADO, 1980, p.155). Tal concepção parte do princípio da funcionalidade do sistema, e por isso tem como caracterização organizativa a relação entre estrutura, processo e função, podendo ser decomposta em elementos, relações, atributos, entrada e saída. Dessa forma, a organização é muito mais um produto das relações do que a formadora/mantenedora destas. Prevalecendo a idéia de retroação (*feedback*, circuito de causa e efeito) em detrimento do princípio dialógico contido na idéia de recursão.

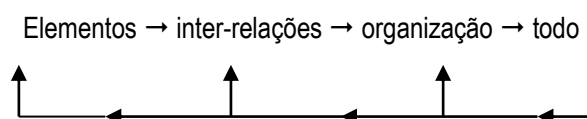
Segundo o pensamento sistêmico contemporâneo e o Paradigma da Complexidade proposto por Morin (2003), o princípio tem que ser organizativo e não funcional. Função é uma categoria imanente fundamental do pensamento mecanicista, onde a tríade “estrutura, forma e função” caracteriza o modo mecânico de pensar o mundo. A organização não é passiva e sim ativa, produzindo a dinâmica que a produz, indo além da retroação: a dinâmica sistêmica deve ser recursiva e dialógica, o que implicará a concepção de uma dinâmica não-linear recursiva (complexa), interativa e auto-organizadora dos sistemas naturais.



Tanto a visão fragmentária do mecanicismo, que reduz o todo às partes, como a visão holística totalizante, que reduz tudo ao todo, ocultam não só a idéia de organização, como, principalmente, seu caráter ativo, encobrendo o seguinte círculo recursivo, mostrado no Esquema 1.

Partindo de uma premissa não funcional e sim organizativa, a complexidade sistêmica se dá na/pela convivência simultânea entre a “liberdade” das partes e a integridade do todo. As partes, ao inserir-se no todo, ganham qualidades que só emergem no circuito horizontal da síntese, mas também perdem outras que só se revelam no processo vertical da análise. Qualidades novas emergem em todos os níveis do sistema. Na análise de um tipo específico de solo ou vegetação, por exemplo, observamos propriedades que são subtraídas quando se somam na unidade global da paisagem. O mesmo acontece quando um tipo climático local é inserido num contexto regional de observação. Daí o trocadilho, “o todo é, ao mesmo tempo, mais e menos que a soma das partes”.

**Esquema 1** - Círculo recursivo entre o todo e as partes (Baseado em Morin, 2003).



Mesmo numa análise sistêmica, quando as relações são compreendidas pelas suas funcionalidades, entramos fatalmente numa perspectiva mecanicista/determinista de dinâmica enquanto movimento espacial, pois as funções estabelecem relações de causa e efeito entre os componentes e o todo do sistema.

A busca pela “organização funcional” ou pelas “hierarquias funcionais” é um ranço do pensamento mecanicista. É um “mecanicismo orgânico”, em que as relações do todo são reduzidas aos aspectos funcionais. Tem algum sentido dizermos que o clima semi-árido está funcionando ou não? Essa pergunta parece estranha, porque quando a fazemos nos transparece um sentido de “coisificação”, como se estivéssemos nos referindo a máquinas, e não a um sistema natural.

Como podemos, por exemplo, definir a função específica, particular do sistema semi-árido num contexto regional de interações sistêmicas recursivas onde não existem fronteiras orgânicas e nem direções específicas de fluxos relacionais entre as partes e o todo? Simplesmente não podemos, a não ser que operemos algum reducionismo mecanicista. As relações sistêmicas não podem ser fisiologistas e nem deterministas.

A visão orgânica com foco espacial faz da organização sistêmica um padrão estrutural no espaço, um padrão de comportamento: a organização não é vista como as relações entre os

componentes, mas como o arranjo espacial dos componentes, o qual determina e é determinado pelo seu comportamento funcional. Os processos, nesse caso, são considerados como uma dinâmica subsequente às funções preestabelecidas dos componentes.

Como se organiza? Essa é a pergunta que deve estar na base de toda investigação sistêmica, pois a resposta conduzirá à compreensão das relações essenciais que caracterizam o sistema, levará ao entendimento do padrão de organização sistêmico.

A ênfase no estudo da organização ou no padrão de organização produz uma perspectiva sistêmica em que os conceitos de padrão, estrutura e processo se inter-relacionam, num *continuum* tempo-espacial recursivo.

Capra (1997) também revisa as proposições sistêmicas usuais e estabelece os seguintes critérios fundamentais de um sistema: Padrão, Estrutura e Processos. Transpondo tais critérios ao contexto do nosso tema, podemos elucidá-los assim:

- **Padrão:** a incorporação/configuração de relações que determinam as características essenciais do sistema semi-árido, ou seja, que determinam a organização sistêmica específica do semi-árido enquanto diversidade numa unidade global.
- **Estrutura:** a incorporação física de organização do sistema semi-árido, seus componentes (subpadrões ou subsistemas) e relações tempo-espaciais.
- **Processo:** a dinâmica envolvida na incorporação ou configuração contínua do padrão de organização do sistema semi-árido.

Também refutando a categoria “função” como uma busca essencial ao entendimento sistêmico, Capra (2000, p.77.) dá ênfase ao “padrão de organização” como aspecto principal do conhecimento da natureza. O padrão de organização, como foco sistêmico, não só está em consonância com a nova percepção científica, como possibilita maior revelação da complexidade sistêmica inerente a toda dinâmica natural.

Para compreender o fenômeno da auto-organização precisamos, em primeiro lugar, compreender a importância do padrão. [...] O estudo do padrão tem importância fundamental para a compreensão dos sistemas [...] porque as propriedades sistêmicas [...] surgem de uma configuração de padrões ordenados. Propriedades sistêmicas são propriedades de um padrão. [por exemplo] O que é destruído quando um sistema vivo é dissecado é seu padrão. Os componentes ainda estão lá, mas a configuração de relações entre eles – o padrão – é destruído, e desse modo o organismo morre.



De fato, o que existe é uma relação de pertencimento mútuo entre as partes e entre elas e o todo, visto que as partes e o todo existem um por meio do outro. As partes são padrões emergentes observáveis gerados pela integralidade dinâmica recursiva envolvente (o todo). Assim como o todo é um padrão de organização dinâmico e integral que só existe por meio do inter-relacionamento recursivo das partes envolvidas, os padrões se envolvem e se entrelaçam uns nos outros, consistem uns nos outros, mas mantendo suas identidades enquanto partes e enquanto todo.

Nessa perspectiva, os processos de desertificação do semi-árido são processos de destruição do padrão de organização do semi-árido. Cada ponto de desertificação representa um rompimento na teia de relações que compõe o padrão semi-árido de nossa região. A degradação contínua dos ambientes semi-áridos produz diferenças amplificadoras na dinâmica de manutenção ou incorporação do padrão global de organização vigente do sistema semi-árido, levando à formação de um novo padrão, um padrão de organização com características áridas ou desérticas.

Apesar de provocado pela interferência humana, o novo padrão é produto da capacidade de auto-organização do próprio sistema natural. As ações humanas perturbam, interferem, influenciam, destroem componentes e impossibilitam o fluxo natural das relações entre os componentes, mas a reorganização de novos padrões é determinada pela estrutura interna do próprio sistema, que possibilitará o tipo e o grau de derivações que ocorrerão no processo de degradação ambiental; é o que chamamos de autonomia com interdependência, e que Maturana (op.cit.) denomina de “acoplamento estrutural”.

Os processos resultam da interação dinâmica das forças e mecanismos que são gerados segundo as possibilidades estruturais do sistema. A estrutura gera as possibilidades processuais e é por elas gerada, em um ininterrupto dinamismo de retroatividade, implicando uma dinâmica recursiva (não-linear) e auto-organizativa. As possibilidades estruturais, organizacionais do domínio de relações semi-áridas do nosso território permitem uma tendência à aridez quando submetidas a atividades humanas degradadoras, mas jamais essa tendência se configuraria num padrão típico do deserto saariano, por exemplo. Cada sistema natural carrega seu próprio potencial de derivação, de auto-organização.

A complexificação do pensamento sistêmico permite às diversas áreas de estudo da natureza, como a Geografia Física, terem uma compreensão mais profunda da *poiésis* natural. A partir desse contexto paradigmático sistêmico, os estudos dos sistemas naturais, dentre eles os sistemas semi-áridos, podem ter como base comum, os seguintes princípios gerais:

- Lidam com a idéia de sistemas abertos que operam afastados do equilíbrio: possuem um fluxo constante de energia, matéria e informação através do sistema (entropia), para que ocorra auto-organização (neguentropia).
- O sistema é definido em termos de circuito organizacional (Esquema 2), não-funcional, e de forma não reducionista, indo além do mecanicismo e do holismo, numa relação complementar recursiva entre as partes e o todo.

**Esquema 2 - Circuito Organizacional (Fonte: MORIN, 2003).**

- Desordem → Diversidade → Interações → Diversidades → Ordem → Organização



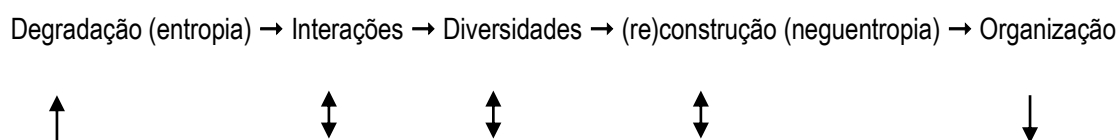
- A auto-organização é a emergência espontânea de novas estruturas e de novas formas de comportamento em sistemas abertos, afastados do equilíbrio, caracterizados por laços de realimentação internos: a criação de novas estruturas e de novos modos de comportamento (emergências, padrões espaço-temporais) nos processos de desenvolvimento e evolução dos sistemas.
- A conectividade não-linear entre os componentes do sistema: esse padrão não-linear resulta em laços de realimentação que vão além do circuito de causa e efeito da retroação e da correção de erro/desvio da regulação. São laços que formam anéis recursivos que geram a capacidade auto-organizativa.
- Assumem as concepções da “espiral do tempo” (evolução/irreversibilidade/equilíbrio dinâmico/repetição com diferença) e da relação complexa entre entropia-neguentropia enquanto princípios fundamentais do Universo (através da dialógica, onde a não-linearidade da retroalimentação recursiva produz autonomia com interdependência).

Em suma, os estudos da natureza, no novo contexto científico, tratam de sistemas que possuem um fluxo contínuo de energia, matéria e informação, através de laços recursivos de realimentação, implicando um estado estável afastado do equilíbrio, condição básica para a emergência de novos padrões de ordem/desordem/organização, e que só se legalizam teoricamente através de uma dialógica complexa.

## OS PROCESSOS DE DESERTIFICAÇÃO/DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA ATIVIDADE ORGANIZATIVA SISTÊMICA

A organização ativa (Esquema 3) é o conceito-chave que aninha essa base comum dos novos contextos paradigmáticos do pensamento sistêmico. É a organização ativa que permite o estado estável aos sistemas afastados do equilíbrio, como os sistemas naturais. É na atividade organizativa que a relação entre a degradação (entropia) e a (re)construção (neguentropia) de um sistema se processa de forma simultânea e continuada, mantendo o sistema em estado estável de não equilíbrio (equilíbrio dinâmico, relação dialógica e recursiva entre instabilidade e estabilidade, entre ordem e desordem: o fenômeno da repetição com diferença):

**Esquema 3** - Organização Ativa (Baseado em MORIN, 2003).



Somente os sistemas abertos possuem capacidade auto-organizadora, pois os processos entrópicos de dissipação de energia são associados aos processos neguentrópicos de realimentação pelas trocas com o meio; o sistema torna-se complexo pela associação antagônica e complementar entre desordem (entropia) e ordem (neguentropia), isto é, entre desorganização e organização, entre degeneração e regeneração. Um sistema aberto, como o semi-árido, é um sistema estável afastado do equilíbrio. E através dessa complexa associação dá-se a auto-(re)organização sistêmica.

“Estar afastado do equilíbrio” não significa “estar em desequilíbrio”. Afastado do equilíbrio é um estado de não-equilíbrio, um distanciamento (“afastamento”) complementar do equilíbrio, um estado de vir-a-ser, que, ao mesmo tempo, determina e é determinado pelo estado oposto, enquanto que o estado de desequilíbrio é o oposto excludente do estado de equilíbrio, uma negação do oponente.

Como vemos, a noção de entropia é fundamental à concepção científica do conceito de auto-organização. Sendo assim, como a noção de entropia pode “legalizar cientificamente” o conceito de auto-organização? Quais os fundamentos científicos que comprovam que o fenômeno da auto-organização não é mais uma teleologia, mais uma metafísica?




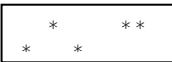
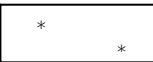
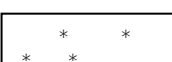
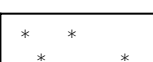
O conceito clássico de entropia, onde a desordem é sempre crescente, levando o sistema ao equilíbrio térmico (relação excludente entre desordem e ordem), faz da entropia um processo não-criativo e linear, unidirecional. É a entropia dos sistemas isolados, sem processos de realimentação,

prevista pela Segunda Lei da Termodinâmica e estabelecida no século XIX pelo físico e matemático alemão Rudolf Clausius. Na tentativa de medir a dissipação de energia em calor e atrito, no ano de 1850 Clausius definiu a entropia como a razão entre a energia dissipada e a temperatura:  $\text{Entropia} = \text{Energia Dissipada} / \text{Temperatura}$

Três décadas depois, o físico austríaco Ludwig Boltzmann, através de um experimento estatístico (Esquema 4, baseado em Capra, 2000), estabeleceu a ligação entre entropia e ordem, trazendo uma nova concepção de entropia: quanto maior for a ordem, menor será a probabilidade de o sistema assumir um determinado estado de organização, ou seja, os estados próximos do equilíbrio geram poucas possibilidades de organização do sistema. Contrariando a intuição cotidiana, conclui-se que o estado presente de desordem de um sistema proporciona maiores possibilidades futuras de ordem (organização) desse sistema, numa relação íntima complementar entre desordem/ordem, ou instabilidade/estabilidade, ou caos/organização. E que a seta do tempo reflete o processo histórico do sistema.

#### Esquema 4 - Experimento de Pensamento de Boltzmann.

##### Disposições das Partículas

		Somente 1 arranjo → máxima ordem (mínima desordem) → Menor possibilidade de compleições → menor probabilidade
		8 arranjos diferentes
		28 arranjos diferentes
		70 diferentes arranjos → máxima desordem (mínima ordem) → Maior possibilidade de compleições → maior probabilidade.

Essa nova concepção de entropia relaciona-se a uma ordem “flutuando na desordem”, dando *status* científico à improbabilidade, à imprevisibilidade. A entropia passou a ser a condição básica para a provável estabilidade do sistema, visto que as possibilidades de organização do sistema são proporcionais à dissipação de energia, isto é, quanto mais instável ou afastado do equilíbrio maior é a dissipação de energia do sistema, maior entropia, pois entropia é o grau de dissipação (distribuição) de energia:

↑ Dissipação (Distribuição) de energia → ↑ Entropia ou ↑ Concentração de energia → ↓ Entropia

Desta forma, a entropia se insere no contexto do pensamento sistêmico, onde todo sistema se relaciona com seu meio: o contexto dos sistemas abertos, onde existe realimentação (relação não-linear/recursiva) e assume uma concepção de fenômeno básico do processo de organização de um sistema real, existente na natureza.

O termo “entropia” passa, de fato, a fazer jus à sua origem, que é a combinação de “energia” e “*tropos*”, que em grego significa “transformação ou evolução”, ou seja, mede o grau de evolução de um sistema físico.

O historiador Victor Leonardi (LEONARDI, 1999), em seu livro “Jazz em Jerusalém”, cita entropia como o “grau de organização e liberdade de ação que os componentes da matéria e da energia possuem.” Essa concepção é bastante elucidativa, pois revela de forma clara a essência criadora da entropia: quanto maior a dissipação ou distribuição de energia, maior a liberdade de ação da matéria/energia, e maior será o grau de organização e a capacidade criadora.

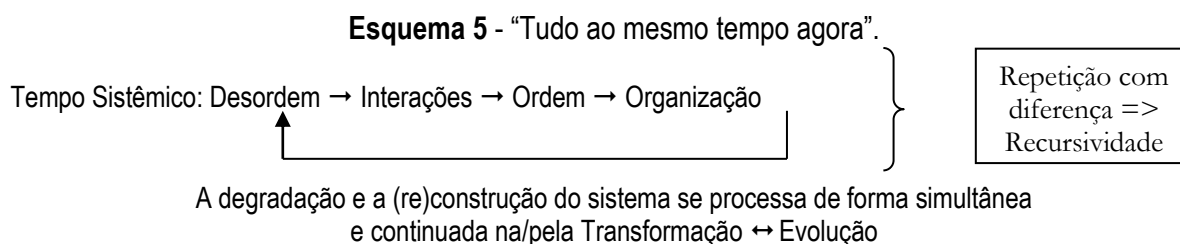
Uma outra correlação importante que podemos fazer é: quanto maior a diversidade natural (biodiversidade) de um ecossistema, maior a entropia (maior dissipação de energia), pois maior é o grau de realimentações para manter o padrão de organização do ecossistema, o que implica maior grau de complexidade sistêmica.

Quanto maior a biodiversidade, maior a entropia, e o aumento de entropia favorece a manutenção/ampliação da diversidade natural, porém, se não fosse essa circularidade recursiva (laços de realimentação não-lineares), a entropia dentro do sistema seria sempre crescente e o levaria à destruição, isto é, a entropia interna ao sistema aberto tende a manter-se em situação estável de não-equilíbrio e a inverter-se em neguentropia (neguentropia/equilíbrio dinâmico), renovando-se constantemente, o que reflete a relação antagônica, complementar e recursiva entre entropia e neguentropia.

Esse processo contínuo de renovação/manutenção (processos homeostáticos) se faz internamente ao sistema, a partir de trocas com o meio ambiente. Os processos entrópicos apontam a direção da flecha do tempo e, simultaneamente, se enrola nela e se desdobra em dois movimentos dialógicos. Isso pode ser traduzido pela esquematização que elaboramos (Esquema 5).

O Tempo Entrópico ou Sistêmico é ao mesmo tempo:

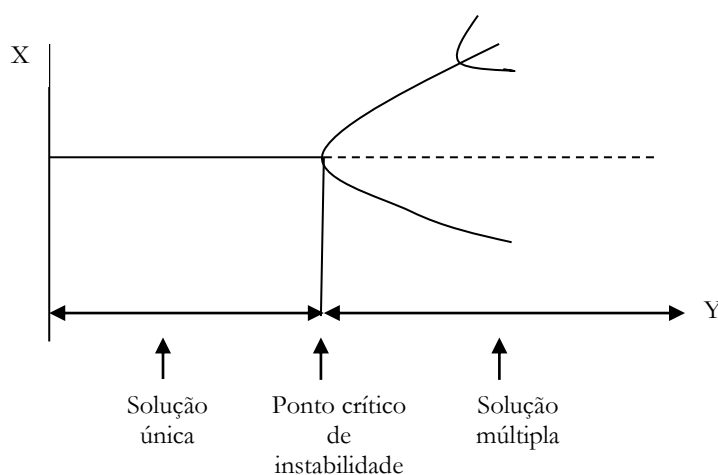
- **Simultâneo** (recursividade): Tempos Entrópicos, que representam a profundidade do sistema: Sistemas aninhados e entrelaçados; e
- **Seqüencial** (sucessão): Entropia Geral: a seta do tempo que atravessa todo sistema.



Os sistemas não-lineares possuem uma característica peculiar: pequenas alterações podem ter grandes efeitos, pois podem ser amplificadas repetidamente por meio de realimentações. Este fenômeno é tecnicamente chamado de “Sensibilidade às Condições Iniciais” (SCI). Esses processos não-lineares geram uma dinâmica instável e de súbitas emergências de novas formas de organização ou ordem: uma dinâmica de auto-organização.

Esse efeito amplificar (quantitativo), que leva a uma transformação (qualitativa) do sistema, constitui-se na própria efetivação do princípio dialético da “passagem da quantidade para a qualidade”. Quando as amplificações atingem um limite ou um ponto de instabilidade, a dinâmica do sistema torna-se caótica e totalmente imprevisível. Esse é o chamado ponto de bifurcação (Figura 1), a partir do qual a estrutura do sistema pode se dividir e seguir uma trajetória de organização imprevisível, emergindo assim um novo estado de ordem. Esse é o comportamento de “estruturas dissipativas”, como as chama Prigogine (1996; 2002).

**Figura 1 - O Comportamento Gráfico das Bifurcações (Baseado em: PRIGOGINE, 2002).**



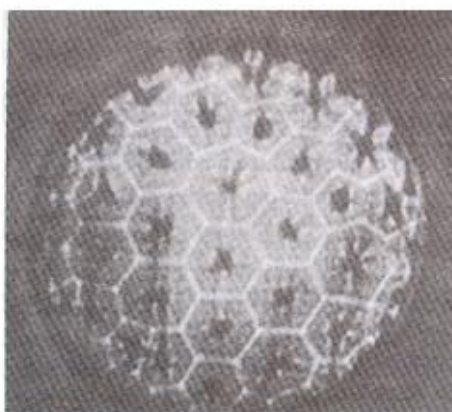
Nos sistemas não-lineares, afastados do equilíbrio, a auto-organização se processa de uma forma dialética, pela qual o caos faz emergir a ordem, e a ordem faz emergir a organização, a qual produz recursão e uma nova instabilidade, num círculo criativo que se repete indefinidamente.

As “Células de Bénard” ou as “Instabilidades de Bénard” (Figura 2) são exemplos categóricos do fenômeno espontâneo da auto-organização: o sistema, ao se afastar do equilíbrio, chega a um ponto crítico de instabilidade, a partir do qual emerge um ordenado padrão hexagonal. Na descrição de Capra (op.cit),

[...] o não-equilíbrio que é mantido pelo fluxo contínuo de calor através do sistema gera um complexo padrão espacial em que milhões de moléculas se movem coerentemente para formar as células de convecção hexagonais. As células de Bénard [...] também ocorrem na natureza numa ampla variedade de circunstâncias. Por exemplo, o fluxo de ar quente que provém da superfície da Terra em direção ao espaço exterior pode gerar vórtices de circulação hexagonais que deixam suas marcas em dunas de areia e em campos de neve árticos.

A degradação ambiental, incluindo os processos de desertificação, pode induzir a passagem por um ponto de instabilidade, o rompimento das condições estruturais da paisagem, inviabilizando a manutenção do padrão de organização atual, fazendo emergir uma nova ordem/padrão, uma nova dinâmica de organização: as contínuas alterações no fluxo de matéria, energia e informação (alterações quantitativas) dos sistemas que co-participam da dinâmica da paisagem, produzirão instabilidades que se amplificarão ao longo do tempo (efeito das realimentações) chegando a um ponto crítico (ponto de bifurcação) a partir do qual ocorrerá uma alteração na dinâmica de relações dessa paisagem (alterações qualitativas), isto é, as mudanças quantitativas contínuas se amplificam e produzem transformações qualitativas (passagem da quantidade para a qualidade).

**Figura 2 - Células de Bénard.**



A associação dos conceitos de entropia e de recursão fundamenta cientificamente o fenômeno da auto-organização dos sistemas naturais (e, portanto, abertos) afastados do equilíbrio e, conseqüentemente, do paradigma da organização ativa.



O padrão da atividade organizativa do semi-árido pode ser reconhecido através da sua incorporação nos aspectos físicos, químicos e biológicos da paisagem porque os componentes naturais da paisagem estão em processo contínuo e simultâneo de relações entre si e com a dinâmica de outros domínios envolventes, inclusive o solar/cósmico, mantendo o padrão. O semi-árido é um padrão emergente especificado pela teia de interconexões regionais/zonais/globais; é um desdobramento de conexões espaço-temporais que transcendem o seu domínio específico. Essa, inclusive, é a perspectiva da Teoria Gaia, pela qual a evolução segue a seta das transformações coletivas estabelecidas pela íntima relação entre os seres vivos e seu ambiente, numa recíproca rede de influências e mudanças, em que as partes só se realizam no todo, e o todo através da interação das partes. A evolução de um determinado ambiente é uma dimensão local do processo global de evolução de Gaia.

As conexões espaço-temporais representam a complexa teia de relações entre eventos multinivelados que se integram na composição do que denominamos de paisagem natural. Consideramos como “eventos” os domínios de relações físicas, químicas e biológicas que costumeiramente denominamos de “elementos e fatores” da paisagem, os quais também se constituem em padrões de organização que se interconectam e se aninham, emergindo quando especificamos em nossos procedimentos de análises disciplinares. Cada nível possui suas especificidades (diversidade na unidade), revelando o princípio da autonomia com interdependência, ou seja, cada nível de análise é uma realidade diferente, pois traz à tona diferentes níveis de relações. O que é único e igual em qualquer nível é a fenomenologia da dinâmica circular e recursiva, de uma dinâmica complexa (não-linear e interconexa), diferentes realidades regidas pelo mesmo princípio de coevolução.

## INDAGANDO PARA CONCLUIR

Como se processa essa fenomenologia no semi-árido? Como podemos mapear a teia de interconexões que faz emergir o padrão semi-árido? Ou melhor, como podemos compreender e mapear seu padrão de organização? Em que termos podemos quantificar e qualificar os processos envolvidos na configuração desse padrão? E no rompimento dele? Quais os principais domínios de realimentações do semi-árido que podem amplificar de forma mais crítica as instabilidades decorrentes da degradação ambiental? De outra forma, quais as relações estruturais fundamentais à manutenção do equilíbrio dinâmico entre entropia (degeneração) e neguentropia (regeneração) no semi-árido? Além do fluxo de energia e matéria, como o fluxo de informação participa de sua dinâmica evolutiva? Qual é

e como se processa o ritmo dessa dinâmica? Como ocorrem os acoplamentos rítmicos e estruturais entre o semi-árido e outros sistemas naturais?

Indagações como essas e as reflexões até aqui expostas exemplificam e legitimam a necessidade de revisões e inovações teóricas e metodológicas, e põem em questionamento o insistente discurso pragmático da repetição sem diferença, que vem colocando a Geografia Física nordestina sempre a reboque da produção Sul-Sudeste e dos ecos tardios das pesquisas internacionais.

Acreditamos que as implicações da renovação do pensamento sistêmico pela inserção dos princípios da complexidade sejam muitas, indo desde os aspectos epistemológicos e metodológicos até os aspectos técnicos e práticos. Se pensarmos a realidade em que vivemos como complexa, os instrumentos de estudo desta realidade também devem se “complexificar”. (Re)criarmos bases teóricas para os estudos de áreas degradadas ou em processo de desertificação a partir dos novos pressupostos do pensamento sistêmico trará à tona métodos inusitados e mais eficazes na compreensão da atividade organizativa, do padrão das relações essenciais à manutenção e recuperação do nosso semi-árido, incluindo a elaboração de modelos de avaliação de impactos (diagnósticos) e de previsão (prognósticos), além de proposições de intervenções políticas e técnicas muito mais precisas e condizentes com a sua intrincada dinâmica de evolução e com as inter-relações socioeconômicas e ambientais envolvidas.

## REFERÊNCIAS

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, Vol. 13, São Paulo, IGEUSP, 1972.

CAMARGO, Luís H.R. **A Ruptura do Meio Ambiente – conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência**: A Geografia da complexidade. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

CAPRA, Fritjof. **O Tao da Física**: um paralelo entre a Física moderna e o misticismo oriental. Trad. José F. Dias. 16 ed., São Paulo: Cultrix, 1995.

\_\_\_\_\_. **O Ponto de Mutação**: a Ciência, a Sociedade e a Cultura Emergente. Trad. Álvares Cabral. 20. ed., São Paulo: Cultrix, 1997.

\_\_\_\_\_. **A Teia da Vida**: Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos.—Trad. de Newton R. Eichenberg. 9. ed., São Paulo: Cultrix, 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec/Edusp, 1979.

\_\_\_\_\_. O Desenvolvimento Analítico e Conceitual nos Estudos das Bacias Hidrográficas: da Análise Morfométrica à Abordagem Fractal. In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 6., **Boletim de Resumos Expandidos**, 1995a, p.49-54.

\_\_\_\_\_. Concepções analíticas e teóricas em Geomorfologia relacionadas ao uso da Abordagem Fractal. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 6., **Resumos...** 1995b, p. 123.

CHRISTOFOLETTI, A.L.H. As pesquisas Utilizando a Fractal Cantor em Climatologia. In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 6. **Boletim de Resumos Expandidos**, 1995a, p. 45-47.

\_\_\_\_\_. Técnicas de Análise Fractal Aplicadas ao Estudo da Precipitação: exemplos da Estação Chuvosa de Rio Claro. In: ENCUENTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA, 5., **Resumes...** Havana, 1995b, p. 106.

\_\_\_\_\_. Análise fractal dos períodos secos e chuvosos de 1983 a 1985 no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., **Anais...** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. Sistemas Dinâmicos: as Abordagens da Teoria do Caos e da Geometria Fractal em Geografia. In: \_\_\_\_\_. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 89-110.

MORIN, Edgar. **O Método I: A Natureza da Natureza**. Trad. Ilana Heinberg. 2 ed. Porto Alegre: Sulina, 2003.

LEONARDI, V. **Jazz em Jerusalém: Inventividade e tradição na história cultural**. São Paulo: Nankin Editorial, 1999.

LOVELOCK, James. **Gaia: a Prática Científica da Medicina Planetar**. Trad. de Jorge D. Nogueira. Lisboa: Instituto Piaget, 1991a.

\_\_\_\_\_. **As Eras de Gaia: a biografia da nossa terra viva**. Trad. de Beatriz Sidou. Rio de Janeiro: Campus, 1991b.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco. **A Árvore do Conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo: Palas Athenas, 2000.

MONTEIRO, Carlos Augusto de F. Análise Rítmica em Climatologia. **Climatologia**, nº 1, São Paulo, IGEOUSP, 1971.

\_\_\_\_\_. - **Geossistemas: a história de uma procura** – São Paulo: Contexto, 2000.

PENTEADO, Margarida M. – **Fundamentos de Geomorfologia** – Rio de Janeiro: 3ª ed., IBGE, 1980.

PRIGOGINE, Ilya. **O Fim das Certezas: tempo, caos e as leis da Natureza**. Trad. de Roberto L. Ferreira. 3. ed., São Paulo: UNESP, 1996.

\_\_\_\_\_. **As Leis do Caos**. Trad. Roberto L. Ferreira. São Paulo: UNESP, 2002.

PRIGOGINE, Ilya; STENBERS, Isabelle. **A Nova Aliança: Metamorfose da Ciência**. Trad. de Miguel Faria e Maria J.M. Trincheira. 3. ed., Brasília: UNB, 1997.

SILVA, Aldo A. D. da; GALENO, Alex (org.). **Geografia Ciência do Complexus: Ensaio Transdisciplinares**. Porto Alegre: Sulina, 2004.

SOTCHAVA, V. B. **Os Estudos de Geossistemas**. Coleção Métodos em Questão, Bol. nº 16, São Paulo, IGEOUSP, 1977.

TRICART, J. – **Ecodinâmica** - Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.