

DA TEORIA DO CAOS ÀS APLICAÇÕES EM ANÁLISES AMBIENTAIS: A ÊNFASE NA CLIMATOLOGIA ENQUANTO UM GEOSSISTEMA

FROM CHAOS THEORY TO APPLICATIONS IN ENVIRONMENTAL ANALYSIS: THE
EMPHASIS ON CLIMATOLOGY AS A GEOSYSTEM

DE LA TEORÍA DEL CAOS A LAS APLICACIONES EN ANÁLISIS AMBIENTALES:
ÉNFASES EN LA CLIMATOLOGÍA COMO UN GEOSISTEMA

Rafaela Melissa Andrade Ferreira

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Programa de Pós-graduação em
Geografia, Presidente Prudente, Brasil. rafaela.andrade-ferreira@unesp.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2721-4191>.

RESUMO

Neste artigo, a trajetória das avaliações pelo viés sistemático é discutida sob o aporte da Teoria do Caos como aparato teórico e metodológico das pesquisas em Ciências Ambientais, em um primeiro momento. E em um afunilamento maior, posteriormente, com vistas à abordagem da Geografia Física pelo paradigma do holismo categórico sob o prisma do conceito de Geossistemas e suas vertentes, considerado, pelo presente estudo, a representação do ideário oposto às fragmentações geralmente associadas a relação sociedade e natureza. Desta forma, os debates iniciais são fundamentais para situar a Climatologia, enquanto vertente da Ciência Geográfica, no panorama destas tendências desafiadoras, de maneira a encontrar o que há de mais integrado dentro das temáticas que envolvem o desenvolvimento da referida área. No mais, trata-se de um esforço de pesquisa exploratória que pretende reacender o chamado para a produção científica voltada para a perspectiva de interdependência entre os elementos, sem desconsiderar a importância das escalas de análise, essencial ao que se convencionou como possibilidade de investigação pelo cunho geográfico do clima.

Palavras-chave: Análise sistêmica; Ciências Modernas; Geografia Física; Clima.

ABSTRACT

In this article, the trajectory of evaluations by systematic bias is discussed under the contribution of Chaos Theory as a theoretical and methodological apparatus of research in Environmental Sciences, at first. And in a larger funnel, later, with a view to approaching Physical Geography through the paradigm of categorical holism under the prism of the concept of Geosystems and its aspects, considered, by the present study, the representation of the opposite ideals to the fragmentations usually associated with the

relationship between society and nature. In this way, the initial debates are fundamental to situate Climatology, as a branch of Geographical Science, within the panorama of these challenging trends, in order to find what is most integrated within the themes that involve the development of that area. Moreover, it is an exploratory research effort that intends to rekindle the call for scientific production focused on the perspective of interdependence between elements, without disregarding the importance of analysis scales, essential to what has been agreed as a possibility of investigation by the geographic nature of the climate.

Keywords: Systemic analysis; Modern sciences; Physical geography; Climate.

RESUMEN

En este artículo se discute la trayectoria de las evaluaciones por sesgo sistemático bajo el aporte de la Teoría del Caos como aparato teórico y metodológico de investigación en Ciencias Ambientales, en un primer momento. Y en un embudo mayor, posteriormente, con miras a abordar la Geografía Física a través del paradigma del holismo categórico bajo el prisma del concepto de Geosistemas y sus aspectos, considerado, por el presente estudio, la representación de los ideales opuestos a las fragmentaciones habitualmente asociado a la relación entre la sociedad y la naturaleza. De esta forma, los debates iniciales son fundamentales para situar a la Climatología, como rama de la Ciencia Geográfica, dentro del panorama de estas tendencias desafiantes, para encontrar lo que más se integra dentro de las temáticas que involucran el desarrollo de esa área. Además, es un esfuerzo de investigación exploratoria que pretende reavivar el llamado a la producción científica enfocada en la perspectiva de la interdependencia entre los elementos, sin dejar de lado la importancia de las escalas de análisis, esenciales a lo que se ha pactado como posibilidad de investigación por la naturaleza geográfica del clima.

Palabras clave: Análisis sistémico; Ciencias modernas; Geografía física; Clima.

1 - Introdução

As ciências sociais, historicamente, emularam os paradigmas intelectuais e metodológicos das ciências naturais, a Geografia, por sua vez, considerada uma campo do saber de interface entre as derivações oriundas a partir da interação sociedade-natureza muito mais interessada em focalizar no conjunto de processos responsáveis pela organização espacial do que na mera observação do visível (CHRISTOFOLETTI, 1985; KIEL, 1997; MENDONÇA, 2009), concentra a tendência de representação geográfica enquanto expressão de um conhecimento que se posiciona em rebatimento ao viés segregador na contemporaneidade, principalmente quando a questão envolve a problemática ambiental (FERNANDES e SAMPAIO, 2008).

Diante disso, notáveis teorias surgiram como uma tentativa de explicar os fenômenos e permitir reformulações a respeito de alguns conceitos, nesse contexto, Sant'anna Neto (2001) evidencia que a compreensão da dinâmica climática foi um aspecto beneficiado pelo desenvolvimento de ideias complexas sobre a atmosfera, visando a transdisciplinaridade. Neste âmbito, a noção de

sistemas, preconizada nas ciências exatas, chega à Geografia, sobretudo, pelo objeto de estudo do espaço, uma vez que a existência de polarizações podem ser destrinchadas pela correspondência de um sistema correlato (SANTOS, 2022), desta maneira, os esquemas interdependentes são encontrados em temas ditos “humanos” ou “físicos”, possibilitando novas formas variadas de predileção do critério sistemático de acordo com o objetivo de pesquisa.

Em complemento, conforme Christofolletti (1999), os postulados em prol de uma análise fractal na Geografia coadunam subconjuntos tais como: sistemas ambientais físicos, os geossistemas, sócio-econômicos, os ecossistemas, os sistemas ambientais urbanos, hidrológicos, geomorfológicos e etc.

A partir desse ponto, especialmente na Geografia Física, segundo Strahler (1980), a análise dimensional para a compreensão da natureza das variáveis em um sistema, foi introduzido em geomorfologia por Strahler (1958), Leopoldo e Langbein (1962) introduziram o conceito de entropia em sistemas geomórficos abertos, com referência particular ao caso dos sistemas fluviais e seus perfis longitudinais.

No mesmo ano, o papel dos sistemas gerais em geomorfologia foi revisto por Chorley (1962), além do mais, o desenvolvimento da teoria dos sistemas na geografia física recebeu uma segunda contribuição importante de ideias das ciências biológicas através dos escritos de Howard T. Odum (1971, 1972). Incutida nesta dinâmica, é indiscutível a contribuição do conceito de Caos nas referidas ciências, uma vez que na análise de muitos eventos, técnicas não-lineares são capazes de ajudar a explicar fenômenos subjacentes.

Apesar dos avanços teóricos, ainda persiste uma problemática fundamental na Geografia Física e na Climatologia: a dificuldade em integrar abordagens sistêmicas complexas no estudo da dinâmica climática, especialmente diante das transformações ambientais contemporâneas (AGNOLIN, 2024). O entendimento fragmentado do clima muitas vezes negligencia sua interação com os diversos componentes do geossistema, comprometendo a análise de suas variações e tendências a longo prazo. Isso se torna ainda mais crítico considerando os desafios impostos pelas mudanças climáticas e a necessidade de previsão e mitigação de impactos ambientais e sociais.

Justifica-se, portanto, a necessidade de aprofundar a discussão sobre a interação entre os sistemas complexos e a climatologia, com base na abordagem geossistêmica. Essa perspectiva permite uma compreensão mais integrada e dinâmica do clima, considerando suas interações com a superfície terrestre e as atividades humanas. Faz-se mister destacar como o avanço das ferramentas tecnológicas, como modelos climáticos e sistemas de informação geográfica (SIG), possibilita uma abordagem mais precisa e abrangente na análise das mudanças climáticas e na formulação de estratégias de gestão ambiental.

Sendo assim, este artigo propõe uma discussão de base teórica baseada em quatro pilares principais que se complementam na análise e que buscam articulação entre si, o primeiro, diz respeito à Teoria do Caos e suas repercussões nas ciências modernas, o segundo, argumenta sobre a ideia dos sistemas complexos focalizados nos estudos ambientais. Sob a ótica geográfica, a presente pesquisa aborda os encaminhamentos das tendências sistêmicas complexas nas diferentes áreas da Geografia para, enfim, chegar ao objetivo principal de tratar a visão geossistêmica na Climatologia.

2 - A Teoria do Caos como ciência não-linear: desenvolvimento, evolução e atualidade teórico-metodológica

Se cada efeito pode ser ligado com precisão a uma determinada causa ou a uma série delas tem sido uma questão de debate durante séculos, especialmente, durante o século XVII, quando os astrônomos se tornaram capazes de prever as trajetórias dos planetas. Isto posto, o princípio da causalidade é um axioma que acompanha o desenvolvimento das teorias físicas e matemáticas ao longo do tempo (OESTREICHER, 2022). No entanto, as implicações para o comportamento imprevisível e caótico não foram amplamente apreciadas até o advento da computação, já que tal desenvolvimento favoreceu a compreensão da natureza nas fórmulas e equações a fim de modelar e simular a complexidade dos fenômenos em estudo (GHIL, 2019).

De maneira complementar, Edward Lorenz encontrou soluções não periódicas, ou seja, não podem ser representadas usando nenhum número finito de frequências, além de que, tais soluções seriam sensíveis às condições de início (SDIC) (DAVIES, 2018, p.8). Em síntese, um breve intervalo para uma de suas trajetórias caóticas é ilustrado, e é repetido em um intervalo mais longo.

O volume do espaço de fase diminui para zero conforme uma solução se aproxima do atrator, apesar dessas projeções de trajetória serem curvas contínuas. Um atrator é chamado de estranho se exibe uma estrutura fractal, e Lorenz demonstrou que as interseções de trajetória nas direções perpendiculares aos planos análogos a um conjunto de Cantor (MCWILLIAMS, 2019).

Os postulados de Lorenz induziram as bases essenciais para a terceira maior conquista científica do século 1920: A Teoria do Caos. Aliada ao termo ‘*the butterfly effect*’, utilizado para hipotetizar relações escalares entre tempo e clima, o raciocínio caótico obteve popularidade assentada em geometrias fractais destrinchadas por Mandelbrot (1988) (AMBIKA, 2015). Logo, enquanto ‘fractal’ designa-se por estruturas espaciais bem definidas, ‘caos’ corresponde a um comportamento temporal transformado em padrões fractais (BERGÉ, 1996).

Por outro lado alternativo, uma materialização intrínseca da imprevisibilidade permitiria uma separação de tempo finito entre sistemas nos quais a condição inicial é concebível (PALMER *et. al.*, 2014; THALABARD, 2020). Desta forma, em um sistema cujas equações de evolução são conhecidas, e com condições iniciais fixas, pode-se conhecer exatamente sua evolução em uma temporalidade. Também por esse viés, Shen *et al.*, (2022) discutem os tipos de efeitos borboleta (BEs) e as repercussões hodiernas de novas atualizações teórico-metodológicas na proposição conceitual.

Assim, para reiterar o papel (coletivo) dos processos de pequena escala na contribuição para a previsibilidade finita, ratificando que tanto o modelo de Lorenz (1963) quanto o de Lorenz (1969), apresentam limitações. Contudo, apesar de ambos os modelos serem capazes de produzir soluções, a adaptação mais recente tem revelado com eficiência a coexistência de origem caótica com a previsibilidade atmosférica. Segundo Dooley (2009), Gleick (1987) tornou a metáfora do efeito borboleta ainda mais ‘visual’ e presumiu que a sensibilidade às condições iniciais só ocorre em espaços fechados e que, sobretudo, não só uma pequena causa poderia levar às consequências maiores, mas sim uma causalidade específica.

Dotado de preceitos científicos com mais afinco, o Caos em Gleick avança, portanto, em termos de tratamentos matemáticos voltados para a constatação de que o comportamento complexo e irregular em sistemas reais não precisa refletir uma complexidade paralela na natureza do próprio sistema (KAMMINGA, 1990), *prima-se*, neste sentido, pela relatividade mediada pelo tempo, responsável por dominar a ação. Sobre o exposto, Bergé (1996) detalha:

“Não se trata de um mundo abstrato, mas sim o da maior parte dos sistemas dependentes do tempo, onde podem aparecer evoluções inesperadas, fascinantes ou desconcertantes, onde a predição revelará seus limites e onde pode instalar-se o caos.” (BERGÉ, 1996, p.39).

Com efeito, o rompimento às ideias tradicionais circundantes de uma ciência pautada na valorização da especialização trouxe à Teoria do Caos inúmeras críticas, tendo em vista a ascensão da pós-modernidade como forma autônoma de superar paradigmas de oposição ao conservadorismo, inclusive o do conhecimento hegemônico. Sem embargo, se para Butz (1995) o caos advém de uma perspectiva fundamentada em uma filosofia senil, é de se afirmar o caráter inovador ao propor desconforto à linearidade até então aceita sem mais indagações.

Factualmente, perante as disciplinas aplicadas, o encaixe caótico obteve expressivo sucesso e potencial exploratório de pesquisa, principalmente porque para fins de adoção, o caos fornece respostas aos problemas para além dos meros cálculos matemáticos sujeitos às leis universais e arraigados sob o determinismo. Apesar disso, necessita da contribuição de outros conteúdos, como os paradigmas elementares da Complexidade e a própria Teoria Sistêmica (WOOD JÚNIOR, 1993).

Entendidas como conhecimentos complementares, tais raciocínios foram coadunados por Morin (2001b) em uma síntese de pensamento que se respalda nas noções de multiplicidade e dos sistemas físicos, biológicos e antropossociológicos, cuja compreensão requer um outro paradigma (complexidade), firmada em uma razão aberta, que se caracteriza por ser evolutiva, residual, complexa e dialógica (ESTRADA, 2009).

Por essa premissa, a observação científica dos estudiosos dos sistemas complexos se opõe ao reducionismo de não abordar o indivíduo em ampla conexão com o seu entorno e em interação imediata com o ambiente (MORIN, 2000). Mas, em compensação, persiste um dilema: a interdependência entre o todo e as partes, visto que a supressão de uma dessas compreensões ocasiona limitações no método analítico. Isto é, o confronto teórico-metodológico da Teoria do Caos existe, também, pelo abandono à previsibilidade como resposta imediata na experiência prática.

Como verdadeira crítica à ciência normal, a não-linearidade dos fenômenos gerou e gera subdivisão da comunidade entre aqueles que consideram o campo em uma noção de tempo enquanto dimensão espacial e os que veem como uma confirmação da singularidade e da irreversibilidade (EVE *et al.*, 1997), já que a exploração de um novo aspecto na natureza torna-

se um acontecimento que antes fora dirigido por um arquétipo e uma manutenção do *status quo* (WALDROP, 1993; KUHN, 1998).

Definitivamente, é de se concordar que linearidades são geralmente meros descritores da natureza e são incapazes de prever ou retrodizer a evolução da maioria dos sistemas naturais. Em termos de atualidade conceitual, vê-se a Teoria do Caos próxima ao que anunciava Morin (2005) acerca das ciências ditas modernas, já que a construção de um novo conhecimento, ou a reformulação de ideias pré-existentes, se não dialogam com a incerteza, tendem a reproduzir a negação da multidimensionalidade como fator relevante à atividade científica que deve aliar o elementar e o geral, onde autonomia individual e a participação conjunta não se dissociam.

3- Os sistemas complexos em análises ambientais: a noção de ecossistema

A manifestação da necessidade contemporânea de repensar as formas de relacionamento humano com a natureza emerge uma condição de mutualidade, sendo parte integrante de três grandes momentos históricos desde a existência dos seres humanos: O primeiro processo relativo à fase de adaptação nos primórdios de aparecimento da espécie, o segundo, remete-se ao confronto e massiva dominação exploratória e o terceiro, por sua vez, refere-se a tentativa de reconstituição do meio já degradado, portanto, constituindo a “nova era da ecologia”, pois também é a “nova era do risco” (CORTEZ, 2011; SUTTON, 2017).

Dessa forma, é possível inferir que, nem sempre, a visão universal priorizou a íntima relação entre os dois agentes. Apesar da possibilidade de categorizar, temporalmente, os ciclos da dicotomia entre sociedade e natureza, há uma incerteza quando a dinâmica, de fato, tornou-se um percalço. Neste amplo sentido, vertentes de ecologistas atribuem a problemática a uma simultaneidade civilizatória que ora outorga ao Criacionismo e a perspectiva de superposição das partes em detrimento da sintonia lógica entre o todo, a responsabilidade de uma crise ambiental, ora outorga aos ideais de valorização antropogênica o ensejo de que o social prevalece sobre o ecológico (FERNANDES e SAMPAIO, 2008).

Deste modo, é sob a égide do conceito de ecossistema que o equilíbrio e a valorização crescente das abordagens entre as interações das espécies obtêm respaldo no âmbito das discussões envolvendo o panorama socioambiental, tendo como uma das premissas principais a capacidade regulação dos seus componentes. Chapin et al., (2011) destaca algumas particularidades em torno das propriedades ecossistêmicas, dentre as quais, cabe ressaltar a multiescalaridade

espacial na qual depreende-se de um sistema ecológico, reforçando o mecanismo de influência entre fatores bióticos e abióticos.

Conforme Kato (2014), o primeiro artigo em que o conceito ecossistema foi empregado intitula-se “*The use and abuse of vegetational concepts and terms*” e foi publicado em 1934, por Arthur George Tansley (1871–1955), na revista científica *Ecology*. O conceito voltou a ser utilizado somente sete anos depois em um artigo publicado em 1942 por Raymond L. Lindeman (1915–1942).

Em complemento, Hutchinson (1946) deduziu os elementos ao conceito de “*feedback*”, delineando seu ponto de vista no artigo denominado “*Circular Causal System in Ecology*”, subjacentes a todos os fenômenos estudados, Bocking (1994) cita que o autor é um dos pioneiros na defesa da relação entre causa e consequência entre o conjunto ecossistêmico como um ciclo complexo capaz de auto-organização e perturbação constante.

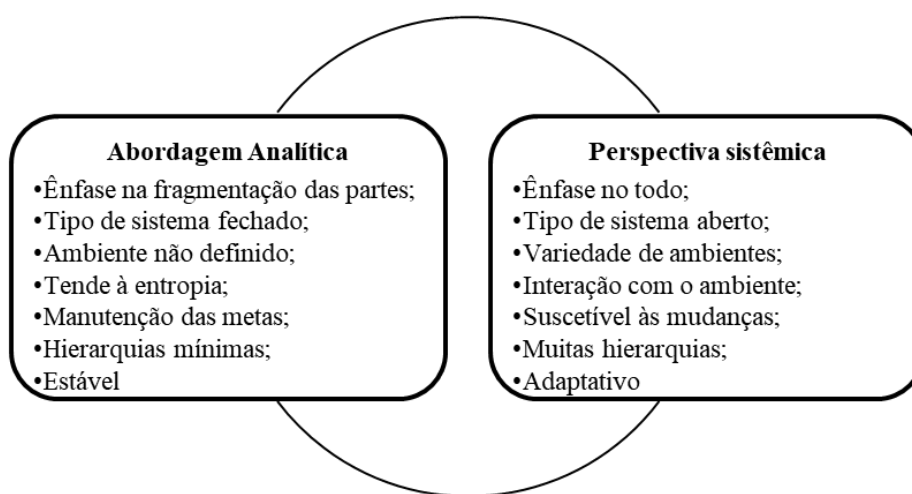
Inferese-se que a ecologia do ecossistema fornece o mecanicismo base para a compreensão dos processos que ocorrem em escalas globais como um sistema físico baseia-se em informações sobre as taxas e caminhos pelos quais as superfícies de terra e água interagem com a atmosfera, rochas e águas da Terra. Por outra via, os dispositivos globais de materiais que circulam entre a atmosfera, a terra e o oceano fornecem um contexto para a compreensão do significado mais amplo dos processos estudados em um determinado ecossistema (CHAPIN *et al.*, 2011, p.6).

A ação humana, por este viés, é dada com maior veemência sob os enfoques da influência espécie para o ecossistema, assim como sob o prisma de dois subsistemas (sujeito e natureza), em que este tem sido característico das análises biológicas, enquanto àquele é pauta das ciências sociais (MARGALEF, 1977; BEGOSSI, 1993). Dotado de um interesse unificador, Bertalanffy (1973) propôs a Teoria Geral dos Sistemas aplicando a todos os sistemas, no geral, quer sejam físicos, biológicos ou sociais, uma abordagem abarcadora entre os campos, de modo a assegurar a proposta interativa, para Bertalanffy, sistemas seriam totalidades organizadas aplicadas aos fenômenos concretos. Nesse contexto, o autor descreve:

“Uma vez que o caráter fundamental do ser vivo é a sua organização, a investigação habitual das partes e processos individuais não pode fornecer uma compreensão completa à explicação dos fenômenos vitais. Esta investigação não nos dá nenhuma informação sobre a coordenação de peças e processos. Assim, a principal tarefa da biologia deve ser descobrir as leis dos sistemas biológicos (em todos os níveis de organização). (BERTALANFFY, 1928).

Para promover a intercomunicação entre as fronteiras disciplinares, a base teórica dos sistemas fixa-se numa ‘complexidade organizada’ que, embora alcançadas por meio da quantificação, a finalidade tende a ser empírica, diferenciando-se em sistemas abertos e fechados que se caracterizam por oferecerem produtos que serão exportados ao ambiente em uma conexão autorrenovadora. A figura 3 abaixo é um exemplar da distinção entre os dois tipos.

Figura 1. Ciclo comparativo entre as duas visões sistemáticas



Fonte: Adaptado de Schoderbek et. al., (1990)

Em um sistema aberto, a entrada (input) corresponde ao que é recebido, onde cada qual recebe um tipo específico para, posteriormente, perpassar pelo processo de transição interior e, por consequência, resultar em um excremento (*output*), sendo assim, toda entrada corresponde a um tipo de saída, sendo a adaptabilidade o principal atributo (VALE, 2012). Os sistemas fechados obedecem à segunda lei da termodinâmica, favorecendo a entropia e apresentando ausência de sinergia, atingindo um estado de equilíbrio em que nenhuma energia pode ser obtida, dessa forma, a maior função de um sistema, segundo Martinelli (2012), seria a conversão de insumos do ambiente em produtos de natureza qualitativa distinta a fim de, então, serem devolvidos para o mesmo ambiente.

Para Amorim (2012), o câmbio no significado de ambiente caracteriza a temática pós- segunda metade do século XX, uma vez que em decorrência dos panoramas de produção capitalista, os modos pelos quais a sociedade se apropria da natureza denota um conflito capaz de desestruturar a síntese de sinergia na relação sociedade e o natural.

Ainda conforme o exposto pelo autor, se antes das concepções ecossistêmicas e geossistêmicas era considerado ambiente apenas tudo que se referia aos aspectos naturais, no atual contexto, outras possibilidades de análise são válidas. No mais, valoriza-se, em suma, o que expôs Zangalli Júnior (2018), “ a forma como o processo de discussão a respeito das questões ambientais e do conceito de natureza se dá na sociedade é fruto das mesmas concepções que entremeiam a ordem social.”

4 - Do ecossistema ao geossistema na geografia física

A partir do momento no qual a natureza se transforma em um objeto que evidencia a massiva exploração humana do meio, também passa a interessar aos geógrafos e geógrafas a problemática da questão ambiental, com mais afinco desde os anos 1980, período marcado pela transição do enfoque ecológico da vertente naturalista para a visão assentada na dialética entre sociedade e natureza em que, dentre os estudos ambientais com propostas que presumem a superação da oposição entre os elementos, destacam-se as contribuições geossistêmicas que, para a própria Ciência Geográfica em si, o paradigma representou (e representa) a progressão ao revisitar alguns conceitos basais como o de “*Landschaft*” referente às unidades de paisagem deduzidas pelos compostos ecológicos pela escola alemã ou a noção de “*Paysage*” tangente à as interrelações humanas com o espaço físico para a escola francesa (MONTEIRO, 1996; MENDONÇA, 2001; SCHIER, 2003).

Deriva de Sotchava (1960) a terminologia geossistêmica que, dada a amplitude admitida pelo propositor em seu sentido original, outros autores buscaram reformular, conforme seus respectivos interesses, as prioridades conceituais. Desta maneira, a esfera fisicogeográfica reflete uma geoesfera complexa pautada, sobretudo, em fluxos de matéria e energia complementares ativas, formando uma unidade dinâmica que permite repartição de seus componentes, assegurando a funcionalidade (NASCIMENTO, 2004). Do mesmo jeito, segundo Sotchava (1971), em qualquer dimensão da superfície terrestre torna-se possível agrupar os geossistemas, desde as menores unidades até as escalas planetárias.

Ademais, geossistemas de estruturas consideradas homogêneas são classificadas enquanto “geômeros”, do contrário, os de estruturas distintas são denominados de “geócoros”, dessa forma, um dado espaço pode ser entendido como conjunto advindo das interações entre os elementos da paisagem (geômero), quanto representar a diferenciação deste conjunto em relação aos demais, no qual estabelecem diferentes e variados graus de interação (GOMES e

VITTE, 2018). Sendo assim, uma das principais cooperações de Sotchava reside no suporte à análise das paisagens, uma vez que, à Geografia Física, essa dimensão integrativa era pouco considerada.

No entanto, sob a ótica da Geografia Francesa, a revolução conceitual russa-soviética não obteve uma unânime aceitação, pois já em Bertrand (1968) observa-se um avanço no propósito de que o estudo geossistêmico buscasse a herança pela ideia de região como uma sucessão de causas e efeitos, em que o tripé GTP (Geossistema-Território-Paisagem) é formulado com o intuito de alinhar fenômenos naturais, o campo político e os aspectos culturais, em resgate aos arranjos dos gêneros de vida e as formas de organizações espaciais duráveis, onde os grupos humanos, a depender do seu grau de estágio, intervêm no desenvolvimento do meio físico (ZANATTA, 2008; CLAVAL, 2014).

A paisagem, portanto, não configura como ponto de partida no modelo GTP, visto que são consideradas as modificações no espaço geográfico. Há diferenças claras entre as definições russo-soviética e a francesa, sobretudo, porque enquanto para Sotchava (1960) a proporção geossistêmica atinge desde os menores até os maiores níveis escalares, para Bertrand, por sua vez, os geossistemas têm limitações quanto à área, dessarte, de dezenas até centenas de quilômetros quadrados, isto posto, além da divergência na acepção terminológica, a confusão deixada pela vaguidão conceitual acompanhou diversos estudos ditos de base geossistêmica, suscitando uma compreensão, de fato, mais aprofundada acerca da proposta (CAVALCANTI, 2013). Em síntese, Neto (2023) assevera:

“Sotchava concebe o geossistema enquanto um conceito, ao passo que Bertrand, ao enquadrar esse conceito em um nível escalar determinado, o converte em uma categoria taxo-corológica e perverte seu significado original. (NETO, 2023, p. 58).”

As principais críticas a tríade geossistema-geofácia-geótopo estão na questão de que as fácies não podem explicadas meramente através de um relevo, tipo litológico, orientação da vertente, estrutura da vegetação, por exemplo, necessitando, com isso, de técnicas complementares com base na multiestruturalidade, ou seja, de cada geocomponente, em contraposto aos métodos tradicionais que valorizam as especificidades, não existindo, para Cavalcanti e Corrêa (2013), consenso para hierarquização da paisagem, o que prejudica o uso do conceito em mais pesquisas geográficas integrativas por este viés, apesar da substancial crescente destes estudos nos últimos tempos, mas sem eliminar desafios de diálogos e aderências metodológicas (NETO, 2023).

Concomitante ao abordado, no Brasil, a difusão desses fundamentos não se absteve dos embates iniciais, posto que as propostas incorporadas pelo professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro revelam os percalços da inclusão do fator antrópico na avaliação de um determinado geossistema, que vai muito além da síntese naturalista (MONTEIRO, 2000; RODRIGUES, 2001). No âmbito atual, é um repto significativo aplicar as tendências de ordem geossistêmica nos conhecimentos pontuais em nível local, como relembra Suertegaray (2005), já que é imperioso sobrepujar a ênfase em uma ou em outra acepção da abordagem holística na Geografia, logo, urge articular e reforçar a dialogicidade entre métodos e técnicas.

5 - O percurso sistêmico na construção da Climatologia Geográfica

O clima é um dos componentes essenciais de um geossistema, tanto para compreender o funcionamento dinâmico da morfologia da paisagem, quanto para modelar os efeitos resultantes de alterações no ambiente em categorias de modelos climáticos globais, modelos de impactos climáticos e modelos integrativos de investigação (CHRISTOFOLETTI, 1999; BORSATO, 2006).

Maximilien Sorre (1951), na célebre obra “*Les Fondements de la Geographie Humaine*”, demonstra inconformismo ao criticar a definição sintética e cômoda em que se conduzira a caracterização dos elementos. Para tal, melhor corresponderia às concepções o fator da sucessão dos tipos de tempo e as circunstâncias que determinam a sua existência (latitude, altitude, situação relativa às massas oceânicas e continentais, aos centros de ação e aos movimentos gerais da atmosfera, exposição, declividade etc.).

Precisamente, Durand-Dastés (2020) bem reitera a necessidade da distinção entre “tempo meteorológico” e “tempo duração”, o clima seria, no fim das contas, “tempo do tempo” na “duração do tempo”, ou ainda, “tempo no tempo”. Consoante ao exposto, ao se pensar a definição de unidades climáticas, não se trata apenas de especializar a variação de determinado elemento atmosférico no tempo e no espaço, mas cotejar a forma integrada aos demais elementos do clima e componentes do meio, de forma a se obter o produto resultante dessa combinação (JARDIM, 2015).

No sentido semelhante, Drouguedroit (2005) sobre a perspectiva sorreana complementa que a noção de sensibilidade aos desvios da média leva diretamente ao conceito de variabilidade climática, responsável por nortear uma gama considerável de pesquisas acadêmicas desde

então. Cabe aqui salientar que não houve um “abandono” às técnicas clássicas estatísticas, porém acompanhou-se o nascimento da chamada “Climatologia Analítica” com vistas a torná-la aplicada.

Assim, é reconhecível que os ideais da Meteorologia repercutiram no desenvolvimento da Climatologia Dinâmica, que buscava no entendimento do método dinâmico dos tipos de clima, associados à escala local, estabelecer uma explicação para o clima regional, este, por sua vez, seria explicado pelas escalas “mais altas” (NEVES, 2017). Concomitante às ideias reformuladas, Pierre Pédélaborde avança em termos de relação entre os fluxos detalhados de circulação atmosférica e estados do tempo com enfoque físico, contudo foi refém do paradigma descritivo dos tipos de tempo (BRINO, 1977; ZAVATTINI, 2000; BARROS e ZAVATTINI, 2009).

É pertinente atribuir méritos, no Brasil, ao pioneirismo de Morize (1889), autor da primeira obra com um vasto conteúdo permeando temáticas como classificação climática, aspectos humanos e dados meteorológicos robustos em uma época na qual a escassez destes era dominante para áreas mais abrangentes. Neste ponto, um debate caloroso se faz sobre a ambiguidade da climatologia praticada por este geógrafo até então.

Observa-se, por esta ótica, que as discussões ganham um viés de cunho filosófico, semelhante àquele consolidado em território europeu, já que com Morize as publicações em Climatologia apresentavam-se sob o esquema fatalista do meio ambiente e causas limitadoras de um possível progresso de algumas sociedades e reafirmando superioridades científicas (SANT’ANNA NETO, 2001; ELY, 2006).

Por conseguinte, as pesquisas geográficas experimentam, com o alemão Frederico Draenert, amplitudes maiores no que concerne ao caminho pelo qual as análises dos dados estavam sendo direcionados, isto se evidencia não só pela preocupação de Draenert com as associações entre fatores e elementos do clima, como também pela necessidade de compor uma ciência que aponta para a essência da evolução das paisagens, retomando o quadro natural de Humboldt (PEDRAS, 2000; SANT’ANNA NETO, 2001; ELY, 2006).

No bojo das duas vertentes apresentadas, surgem, paralelamente, as primeiras tentativas de zoneamento climático das regiões brasileiras, sob influência das renomadas classificações globais de Köppen-Geiger, abrangente por tornar relevante a função da vegetação natural como

expressão característica de um local, tendo por base valores médios das variáveis (APARECIDO *et al.*, 2020). Acerca do influxo das classificações do tipo estatística e genética no padrão climatológico dos trópicos, Dubreuil et al., (2018) as distinguem pela metodologia fisionômica que a tem por conectar aspectos de temperatura e precipitação, por exemplo, com fatores biogeográficos, em contrapartida, a segunda reafirma a tradição da sucessão habitual dos tipos de tempo.

Admitindo uma maior gama de haveres, a “Climatografia” de Delgado de Carvalho (1917), seguidor do fundamentalismo possibilista que criticava o caráter minimizante do elemento humano feito pela escola determinista, pautou-se numa classificação climática voltada para as especificidades regionais tendo referências estudiosos brasileiros ainda numa época anterior à institucionalização da Ciência Geográfica no país (SANT’ANNA NETO, 2001).

Entre as características principais da estrutura de monografia regional praticada por Carvalho, ressalta-se a preocupação com os recortes espaciais para propor um levantamento composto dos aspectos naturais, dos aspectos humanos e, com isso, buscar a integração de ambos e a identificação da singularidade regional (MACHADO, 1999, p.8).

O ambiente insustentável das cidades como um foco de agravos à saúde suscitou o interesse de geógrafos no mundo todo em meados do século XIX e XX e encaminhou o uso de princípios incumbentes a Geografia por outros estudiosos da área médica, pois foi pelo conceito de extensão, segundo Guimarães (2015), que as enfermidades manifestadas nas sociedades foram integralizadas em um fenômeno localizável, passível de delimitação em termos de área (GUIMARÃES, 2015, p.5), o clima, neste cenário de meio físico, é um determinante a se considerar quando os agentes externos excedem o suficiente para causar desordens patológicas (BESANCENOT, 2001; MENDONÇA, 2005).

De outro ponto de vista, agora mais próximo da desconstrução do clima como fator de limitação do desenvolvimento da vida humana, a vertente crítica encabeçada com mais veemência por Afrânio Peixoto (1938), destacou-se por englobar as variáveis socioeconômicas na discussão das influências climáticas sobre o estado de saúde da população.

Neste momento, ao mesmo tempo que se acreditava em uma dispersão de doenças fomentadas no fatalismo natural de algumas localidades, o autor argumentava, conforme Sant’anna Neto (2003), sua posição contrária à existência de doenças climáticas, ou mais ainda, doenças

relacionadas aos trópicos. Desse jeito, seres humanos estariam, portanto, submetidos ao meio natural e os elementos produtores do ambiente seriam responsáveis diretos pelas condições de adaptação ou a falta desta (DE JESUS, 2008).

O legado do professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro no Brasil é mensurado pela exímia influência deste autor ao semear o ritmo climático fundamentado nas variações anuais perceptíveis nas variações mensais fomentando um regime útil à identificação dos fenômenos e seus respectivos impactos (OGASHAWARA, 2012; FONTÃO, 2018).

Além disto, a imersão paradigmática do ritmo climático no território nacional pode ser classificada em décadas sucessivas nas quais a eclosão dos objetivos que fundamentam a representação do clima em unidades de tempo cronológico variando diariamente estão conectados à gênese atmosférica no espaço geográfico em que se situa, acoplando uma representação gráfica da alternância descrita (MONTEIRO, 1971; ZAVATTINI, 1998; CONTI, 2001; ARMOND, 2014).

Na década de 1940 e 1950, o estudo do ritmo climático no Brasil ainda era pouco desenvolvido, com pesquisas esporádicas focadas em análises episódicas em alguns estados, predominando abordagens em escala anual. Termos como variabilidade, dinâmica e mudança climática, amplamente utilizados atualmente, não eram comuns no vocabulário científico da época.

Essa lacuna começou a ser preenchida a partir da década de 1960, quando Monteiro propôs uma reflexão crítica sobre o método sintético das massas de ar e a abordagem da totalidade dos tipos de tempo preconizada por Pierre Pédelaborde, que, ao invés de se restringir à descrição dos fenômenos, avançou na explicação dos eventos atmosféricos.

A era Pédelaborde iniciou-se na década de 1950 com sua tese chamada ‘*Le climat du basin parisien*’, em que a segunda edição, datada de 1970, abarca além de estudos climáticos das monções, cujo método foi reproduzido por outros pesquisadores como Pierre Pagney (1960) nas regiões tropicais (DURAND-DASTÉS, 2020), um adendo passível de crítica para Mendonça (2012) consiste no fato de que para explicar os fenômenos atmosféricos tropicais, bem como sua dinâmica, utilizou-se frequentemente uma base teórica resultante de observações e análises da atmosfera de latitudes médias, gerando incoerências.

Não obstante, a superação da totalidade dos tipos de tempo viria através da distinção dos processos genéticos de causalidades conectando a circulação atmosférica às escalas

regional/local e transpondo a sequência e recorrência desses tipos de tempo no espaço geográfico, modo de avaliação considerado mais potente a nível de entendimento do que àquelas pautadas na caracterização em que se excetua o essencialismo sucessivo da análise rítmica, persistindo a noção de estado médio da atmosfera (MONTEIRO, 1999; FONTÃO, 2021).

Desta forma, habitualidade e excepcionalidade exprimiram elementos chaves na compreensão da maneira encadeada em que a ênfase nos padrões climáticos fora privilegiada, pois, ainda para Monteiro (1999), quando dada a definição do clima como um comportamento dinâmico e, principalmente, habitual de um dado espaço, a problemática retoma à importância de definir, também, que lugar é este. Sob esta linhagem, é clara a preocupação do propositor em tornar o estudo do clima cada vez mais geográfico a partir do momento em que a qualificação dos fatos climáticos levaria à demanda por pesquisas em nível troposférico e, por conseguinte, mais próximo à interação humana (SANT'ANNA NETO, 2015).

Assim, o tempo meteorológico, gerador dos climas dos lugares, não deve ser estabelecido exclusivamente pelos valores médios, há, então, que se considerar que o ser vivo está em constante exposição às oscilações climáticas que propiciam ora situações de excessos, ora situações extremas de carências que, justamente por fugirem à habitualidade, causam impactos traduzidos em riscos (MONTEIRO, 2001).

No que se segue, segundo Pradella (2014), houve uma gama de trabalhos acadêmicos no que diz respeito à aplicação dos conceitos e objetivos referentes ao mapeamento dos tipos de tempo decorrentes de determinados padrões de circulação atmosférica, representando uma certa tradição do clima praticado pelos geógrafos. Decerto, é pela dinâmica do clima que o aspecto da abordagem qualitativa ganha notoriedade no Brasil, não por romper com o tradicionalismo arraigado, mas por adicionar uma nova linhagem evocando o que, de fato, vem a significar o paradigma do ritmo.

De modo a elencar alguns exemplos de produções científicas que seguiram o legado rítmico, cita-se o prestigiado trabalho de autoria do Professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro denominado ‘Atlas sobre a Dinâmica Climática e a Gênese das Chuvas no Estado de São Paulo’ publicado em 1973 e que mais tarde a pesquisa viria a ser ampliada para mais transectos dentro do território nacional, dentre eles as localidades de Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro e uma única localidade nordestina: Caravelas, na Bahia.

Vale frisar ainda que com as primeiras orientações do Professor Monteiro para alunos de Pós-graduação, optou-se por estudar o ritmo climático aplicado às atividades agrícolas e de organização do espaço como pode ser consultado em Guadarrama, 1971, Tarifa, 1973 e 1975, Barbière, 1974, Conti, 1975; Monteiro, 1976 e Câmara, 1977, Aouad, 1978 (SANT'ANNA NETO, 2003, p. 44).

Dada as condições do crescimento da industrialização, em “Metamorfoses do Espaço Habitado”, Santos (1997) enfatiza que neste período histórico o espaço do homem vai se modificando. Desta forma, o uso do solo se torna, na sua grande maioria, especulativo e a determinação do seu valor vem de uma luta sem trégua entre os diversos tipos de capital que ocupam a cidade. O “*turning point*” gerado pela situação climática típica das cidades no século XIX (BARBIRATO, 2007) levou Luke Howard, um químico, a propor um trabalho pioneiro na era industrial de Londres acerca da contaminação do ar e a ocorrência de temperaturas diferenciadas em ambientes urbanos quando comparadas às áreas rurais.

Igualmente, Emilien Renou utilizou as mesmas bases para investigar as anomalias meteorológicas em Paris. Com maior acurácia estatística e inter-relacionando o espaço urbano londrino com a estrutura da paisagem, Chandler (1965) publica o célebre trabalho “*The Climate of London*” em que, de modo inovador, mapeia as ilhas de calor existentes na cidade baseado em suas investigações (ROSEGHINI, 2013; CASTELHANO, 2020). Para além do exposto, Chandler (1960, 1962, 1965) fornece um dos primeiros estudos detalhados da UHI (Ilha de Calor Urbana) de Londres, conforme revisou Grimmond (2010), objetivando compreender a mudança de intensidade e forma das ilhas de calor, Chandler (1960, 1962) realizou as primeiras travessias móveis como método em Londres.

Vê-se, com isto, a perspectiva à base de que a cidade seria, portanto, o âmago da organização espacial e, paralelamente, produziria decorrências passíveis de avaliações tanto pelo viés social (que aproxima o geógrafo e a geógrafa ao grupo das ciências sociais) quanto pelo lado físico (que funde o geógrafo e a geógrafa às ciências atmosféricas). Contrariando o dualismo, para Monteiro (1975), é uma função primária incessante dar um tratamento geográfico às pesquisas em clima urbano.

Dessa constatação, partiria do profundo conhecimento filosófico da ciência o caráter do quadro de referência teórica que conduziria o escopo da proposição climática urbana. Mendonça (2022) ainda frisa que o baixo conhecimento acerca dos climas tropicais até meados do século XX

também contribuiu para instigar o jovem professor universitário Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro a começar a produzir uma climatologia preocupada com o nível de desenvolvimento social, sem deixar de considerar a expressiva extensão territorial do Brasil.

De resto, os conceitos “novos” se interligam à Geografia, segundo Christofolletti (1990), de modo a salvaguardar o fortalecimento da visão holística, outrossim, a noção fundamental que preconiza o direcionamento para os campos científicos do saber vem de Ludwig Von Bertalanffy (1975), para o biólogo, o todo é mais complexo que a soma das partes. Ainda neste pressuposto, todo sistema é um subsistema de um sistema maior rodeado por um meio exterior (*environment*), considerado, portanto, um sistema aberto que se relaciona, através de *inputs ou outputs*.

A essência que tornou a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) bastante favorecida na edificação da Teoria do Clima Urbano no Brasil pode ser explicada pela concepção coparticipativa que permite receber perguntas e emitir respostas daquela teoria para a proposta climática urbana, de tal forma que os mecanismos que envolvem as contingências, incertezas, transformações e criatividade dos humanos são considerados em conjunto com as homogeneidades e regularidades acima da reivindicação dos sistemas antrópicos, todavia como típico das manifestações dos sistemas naturais (GOMES, 2018, p. 21).

Dos critérios de escolha para montagem do Sistema Clima Urbano (S.C.U), destacam-se cinco termos repletos de significados amparados nos conhecimentos empíricos e/ou teóricos acumulados por C.A.F Monteiro ao longo de sua trajetória no íntimo geográfico, são eles: a) Pragmatismo, b) Dinamismo, c) Consistência, d) Empirismo e, finalmente, e) Modelismo. Em um primeiro adendo, é do pragmatismo que procura facilitar a linguagem entre o transmissor (neste caso, o pesquisador cientista) e os destinatários (todos aqueles que vão, posteriormente, fazer uso dos resultados da investigação), que há, subjetivamente, uma demanda pelo engajamento do discurso ambiental pautado na ideia de ciência a serviço da resolução de algum conflito.

O vocábulo sugestivo do dinamismo já retoma a necessidade de ajustamento do sistema às heterogeneizações do fenômeno urbano, já que a percepção do clima em cidades de grande, médio e pequeno porte sofrem modificações relativamente em graus diferenciados. A particularidade de cada nível de abordagem, então, é capaz de trazer consistência que enquadra

pequenas ou grandes magnitudes da qualidade do ambiente de qualquer lugar do globo em qualquer escala, pressupõe-se, em conjunto, a inserção dos topos, micro, meso e macroclimas.

O empirismo, por sua vez, denota ao Sistema uma observação prolongada de períodos representativos e, preferencialmente, uma investigação *in loco* da área selecionada, a fim de aplicar o teste de verificação ou até mesmo refutação da moldura escolhida que induz a “saber pensar o espaço” e articulá-los eficazmente aos fenômenos que se desenvolvem sobre extensões muito mais amplas.” (LACOSTE, 1985; MONTEIRO, 1975). É, portanto, reunindo essas idealizações que o aperfeiçoamento da pesquisa em clima urbano expressará as abstrações por meio de modelos e produtos de mapeamentos.

Apreende-se também a preocupação com a articulação geográfica entre níveis da climatologia em que a possibilidade do estudo do clima urbano deve levar em conta as variações temporais dando ênfase aos atributos de investigação de acordo com a circulação atmosférica regional e as condicionantes locais. Neste ponto, é coerente refletir a integração de sistemas superiores e inferiores como destaca o segundo enunciado básico do S.C.U:

O clima local se insere em climas sub-regionais e sazonais, assim como pode ser subdividido até os microclimas. A cidade tanto se integra em níveis superiores, como se divide em setores, bairros, ruas, casas, ambientes internos etc. As divisões do ponto de vista sistêmico são inconsequentes, importando predominantemente as relações entre as diferentes partes em que se compõe ou decompõe o sistema para o desenvolvimento das funções organizadoras (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003, p.20).

Dada a definição de sistema aberto, do S.C.U depreende-se a não linearidade das condições, uma vez que a montagem da estrutura básica deste sistema sugere um núcleo passível de transformações, principalmente quando se deve avaliar as ações antrópicas e o seu desenvolvimento ao longo do tempo. Desta maneira, presumindo estas informações, Monteiro constata:

O S.C.U importa energia através do seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria de sistemas abertos (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003, p.20).

Embora os insumos de energia deste sistema aberto sejam, primariamente, oriundos da fonte primária solar, os fluxos são alterados conforme o volume dos aglomerados humanos nas cidades que desempenha papel preponderante no processo interno do S.C.U através das modificações nos sítios urbanos. A abordagem sistêmica, já referida anteriormente, é, finalmente, realçada pela necessidade, descrita por Monteiro, de verificar as relações do tipo de entrada e saída dos atributos e com isso a influência de fatores sobre eles. Em alguns casos, reforça a possibilidade de apelo à quantificação para representar com eficácia os objetos de estudo.

Por entender o clima urbano como um sistema aberto de interações em que homens e mulheres constituem sempre o referencial dos problemas e valores dos fatos geográficos, Monteiro propôs sua análise em três dimensões – ou canais complementares da percepção humana: a termodinâmica, a físico-química e hidrodinâmica. O primeiro canal, relacionado aos estudos específicos sobre o campo térmico, incorpora componentes termodinâmicos evidenciados através do calor, ventilação e umidade e, principalmente, nas repercussões geradas por este filtro perceptivo que afeta os seres humanos de maneira direta e indireta.

O campo físico-químico está associado aos aspectos da qualidade do ar nos ambientes, atributo básico para o entendimento dos efeitos nocivos da poluição demasiada em grandes centros metropolitanos. No filtro hidrodinâmico, concentram-se as temáticas analisadas pela ótica dos impactos causados pelos acúmulos de precipitações e nas perturbações proporcionadas pela concentração destas (UGEDA JUNIOR, 2012). Admitindo a capacidade de autorregulação e para assegurar o caráter de sistema organizado, o S.C.U permite adaptações no seu funcionamento tendo em vista a ação antrópica urbana que, ao detectar as disfunções, é apto para intervir por meio da retroalimentação.

Logo, é pondo em evidência o desenvolvimento das pesquisas científicas no território brasileiro desde a publicação e o ressoamento obra do professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro acerca do Clima Urbano que encontraremos uma interpretação da Climatologia mais próxima da ideia integrativa dos estudos da paisagem em um contexto ambiental e territorial, outrossim, o aperfeiçoamento do modelo geossistêmico nos últimos tempos são úteis a evolução das pesquisas em Climatologia Geográfica no ponto de vista dialético que supõe a indispensabilidade entre a gênese dos fenômenos e as repercussões no meio socioambiental,

tornando a proposta longe de ser resolvida ou consensual enquanto própria existência paradigmática, contudo, cada vez mais, reacesa em sua totalidade dinâmica.

6 - Considerações finais

A evolução do pensamento geográfico ao longo do tempo tem demonstrado a necessidade de uma abordagem sistêmica para compreender a complexidade dos fenômenos espaciais. A transição da visão determinista para perspectivas mais integrativas, como a teoria dos sistemas e do caos, permitiu uma análise mais refinada dos processos naturais e antrópicos.

No âmbito da Geografia, a incorporação desses referenciais teóricos trouxe novas possibilidades metodológicas para a análise ambiental e climática, destacando a importância da inter-relação entre sociedade e natureza. Esse movimento paradigmático abriu caminhos para investigações mais aprofundadas, aproximando a Geografia das ciências exatas e reforçando a interdisciplinaridade.

A Teoria do Caos, em particular, desempenhou um papel fundamental na reformulação dos modelos tradicionais de previsibilidade e na compreensão dos fenômenos atmosféricos. A sensibilidade às condições iniciais e a impossibilidade de previsões absolutas ampliaram o campo de investigação da Climatologia, permitindo avanços significativos na análise de padrões climáticos e suas variações temporais.

Do mesmo modo, o “efeito borboleta”, proposto por Lorenz, evidenciou que pequenos distúrbios podem gerar grandes impactos, destacando a necessidade de abordagens não lineares na interpretação dos sistemas ambientais. Dessa forma e conforme foi discutido, a aplicação desses conceitos na Climatologia contribuiu para a superação de modelos reducionistas, favorecendo uma visão mais dinâmica e relacional.

A Climatologia Geográfica, ao incorporar o paradigma sistêmico, conseguiu estruturar novos modelos analíticos que ultrapassam as limitações das abordagens clássicas. A proposta de Monteiro acerca do ritmo climático demonstrou a importância de considerar a variabilidade temporal dos fenômenos atmosféricos e sua influência nos padrões espaciais. A relação entre circulação atmosférica e organização espacial tornou-se um dos pilares da Climatologia aplicada, permitindo uma interpretação mais coerente dos impactos ambientais sobre as diferentes escalas geográficas. Além disso, a abordagem rítmica trouxe avanços metodológicos importantes para o estudo das mudanças climáticas e suas repercussões socioambientais.

Por fim, a trajetória do pensamento geográfico e climático revela a crescente necessidade de incorporar modelos dinâmicos e sistêmicos na análise dos fenômenos ambientais. O avanço das pesquisas em Climatologia Geográfica reforça a importância de uma abordagem integrada, que considere a interdependência dos fatores naturais e sociais.

Nessa observância, a evolução da teoria geossistêmica e do pensamento sistêmico na Geografia demonstra a capacidade dessa ciência em adaptar-se a novos desafios, promovendo análises cada vez mais refinadas sobre a organização do espaço. Assim, a articulação entre os diferentes referenciais teóricos e metodológicos continua sendo essencial para a construção de um conhecimento científico cada vez mais preciso e aplicável.

7 - Referências

- AGNOLIN, Eduarda Regina.; MURARA, Pedro Germano dos Santos. **Contribuição da corrente Monteriana nos estudos de clima urbano no subtropical**. Geosul, v. 39, n. 91, 2024.
- AMBIKA, G. Ed Lorenz: father of the ‘Butterfly Effect’. **Resonance**, v.20, p. 198-205. 2015.
- AMORIM, Raul Reis. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 80–101, 2012. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG134116613>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16613>. Acesso em: 3 abr. 2023.
- ARMOND, Núbia Beray; SANT'ANNA NETO, João Lima Entre eventos e episódios: Ritmo climático e excepcionalidade para uma abordagem geográfica do clima no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 20, ago. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/49792/32602>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- ARMOND, Núbia Beray. **Entre eventos e episódios - As excepcionalidades das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP Presidente Prudente. 239f, 2014.
- BARBIRATO, Giana Melo. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. UFA, 2007.
- BARROS, Juliana Ramalho; ZAVATTINI, João Afonso Bases conceituais em Climatologia Geográfica (the conceptual bases in geographical climatology). **Mercator**, v. 8, n. 16, p. 255 a 261-255 a 261, 2009.
- BEGOSSI, Alpina. Ecologia humana: um enfoque das relações homem-ambiente. **Interciência**, v. 18, n. 3, p. 121-132, 1993.

BERGE, Pierre. **Dos ritmos aos caos**. Unesp, 1996.

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria Geral dos Sistemas**. Tradução Francisco M. Guimarães. Petrópolis, RJ: Vozes, 1973.

BERTALANFFY, Ludwig. von. *Modern Theories of Deveiopment*. Translated by J. H. Woodger, Oxford: Oxford University Press, 1934; New York: Harper Torchbooks, 1962. German original: **Kritische Theorie der Formbiidung**. Berlin: Borntraeger, 1928

BERTRAND, Georges. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-ouest**, Toulouse, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.

BOCKING, Stephen. Visions of nature and society: A history of the ecosystem concept. **Alternatives**, p. 12-18, 1994.

BORSATO, Victor da Assunção; FILHO, Edvard Elias Souza. Ação antrópica, alterações nos geossistemas, variabilidade climática: Contribuição ao problema. **Formação (Online)**, 2(13), 2006.

BRINO, Walter Cecílio. A abordagem genética na classificação climática. **Geografia**, 97-105, 1977.

BUTZ, Michael. Chaos theory, philosophically old, scientifically new. **Counseling and Values**, 39(2), 84-98, 1995.

CASTELHANO, Francisco Jablinski. O clima e as cidades. Curitiba. **Intersaberes**, 243-258, 2020.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Sousa. **Da descrição de áreas à Teoria dos Geossistemas: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. 205p

CAVALCANTI, Lucas Costa de Sousa.; CORRÊA, Antônio Carlos de Barros. Problemas de hierarquização espacial e funcional na ecologia da paisagem: uma avaliação a partir da abordagem geossistêmica. **Geosul**, 28(55), 143-163, 2013.

CLAVAL, Paul. A geografia francesa. **Espaço Aberto**, v. 4, n. 1, p. 7-22, 2014.

CHAPIN, Francis Stuart.; MATSON, Pamela.; VITOUSEK, Peter. **The ecosystem concept. Principles of terrestrial ecosystem ecology**, 3-22, 2011.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. As características da nova Geografia. *In: Perspectivas da Geografia*. São Paulo: Diffel. 1985, p.71-101.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. Editora Blucher, 1999.

CONTI, José Bueno. Geografia e Climatologia. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 91-95, 2001. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2001.123516>. Disponível em: <https://revistas.usp.br/geousp/article/view/123516>. Acesso em: 28 jun. 2025.

CORTEZ, Ana Tereza Caceres. O LUGAR DO HOMEM NA NATUREZA. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 22, p. 29–44, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2011.0022.0002> Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47218>. Acesso em: 28 jun. 2025.

DAVIES, Brian. **Exploring chaos: Theory and experiment**. CRC Press, 2018.

DIAZ, Henry; EISCHEID, John. Disappearing “alpine tundra” Köppen climatic type in the western United States. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 18, 2007.

DOOLEY, Kevin. The Butterfly Effect of the "Butterfly Effect". **Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences**, v. 13, n. 3, p. 279, 2009.

DUBREUIL, Vincent et al. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, (37), 2018

ESTRADA, Adrian Alvarez. Os fundamentos da teoria da complexidade em Edgar Morin. **Akrópolis**, Umuarama, v. 17, n. 2, p. 85-90, 2009.

FERNANDES, Valdir; SAMPAIO, Carlos Alberto Cioce. Problemática ambiental ou problemática socioambiental? A natureza da relação sociedade/meio ambiente. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 18, 2008.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda. A escola brasileira de climatologia geográfica: perspectivas atuais e futuras do paradigma do ritmo climático. **PERSPECTIVAS GEOGRÁFICAS**, p. 10, 2021.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda. **Variações do ritmo pluvial na Região Metropolitana de São Paulo: reflexo no armazenamento hídrico e impactos no abastecimento urbano** (Tese de Doutorado). UNESP, Rio Claro, 2018.

ELY, Deise Fabiana. **Teoria e método da climatologia geográfica brasileira: uma abordagem sobre seus discursos e práticas**. 2006. 208 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006.

EVE, Raymond; HORSFALL, Sara; LEE, Mary. (Eds.). (1997). **Chaos, complexity, and sociology: Myths, models, and theories**. Sage.

GLEICK, James. The butterfly effect. **Chaos: Making a New Science**, p. 9-32, 1987.

GHIL, Michael. A century of nonlinearity in the geosciences. **Earth and Space Science**, v. 6, n. 7, p. 1007-1042, 2019.

GRIMMOND, C. S. B.; ROTH, M.; OKE, T. R.; AU, Y. C.; BEST, M., BETTS, R.; VOOGT, J. Climate and more sustainable cities: climate information for improved planning and management of cities (producers/capabilities perspective). **Procedia Environmental Sciences**, 1, 247-274, 2010.

GOMES, Rodrigo Dutra.; VITTE, Antônio Carlos. O Geossistema pela Complexidade: Uma releitura das Esferas Geográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 35, p. 15-27, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.140927>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/140927>. Acesso em: 17 abr. 2023.

GUERRA, Maria Daniely Freire.; SOUZA, Marcos José Nogueira de; LUSTOSA, Jaqueline Pires Gonçalves. Revisitando a teoria geossistêmica de Bertrand no Século XXI: Aportes para o GTP (?). **Geografia em Questão**, [S. l.], v. 5, n. 2, 2012. DOI: <https://doi.org/10.48075/geog.v5i2.5454>. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/5454>. Acesso em: 17 abr. 2023.

GUIMARAES, Raul Borges. **Saúde: fundamentos de geografia humana**. São Paulo: Editora da UNESP, 2015.

JÚNIOR, Thomas Wood. Caos: a criação de uma nova ciência? **RAE-Revista de Administração de Empresas**, v. 33, n. 4, p. 94-105, 1993.

KAMMINGA, Harmke. What is this thing called chaos. **New Left Review**, v. 181, p. 49-59, 1990.

KATO, Danilo Seithi. **O conceito de ecossistema na produção acadêmica brasileira em educação ambiental: construção de significados e sentidos**. 250 f. 2014. Tese (Doutorado em Educação Escolar) – Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, Araraquara,

KIEL, Douglas.; ELLIOTT, Euel. **Chaos theory in the social sciences: Foundations and applications**. University of Michigan Press, 1997.

KRÜGER, Eduardo. Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 4, 2001.

KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 5ª. ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.

LACOSTE, Yves. **A pesquisa e o trabalho de campo: um problema político para os pesquisadores, estudantes e cidadãos**. Seleção de Textos, 11. São Paulo: AGB, 1985.

LEOPOLD, L. B.; LANGBEIN, W. B. **Concept of Entropy in Landscape Evolution. Geological Survey Professional Paper 500-A**. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1962.

LINDEMAN, Raymond. The trophic- dynamic aspect of ecology. **Ecology**, v.23, n.4, p.399-418, 1942.

LORENZ, Edward. **The essence of chaos. Pure and Applied Geophysics**, v. 147, n. 3, p. 598-599, 1996.

LORENZ, Edward. Deterministic nonperiodic flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 20, 130– 141, 1963.

MANDELBROT, Benôit. **The science of fractal images**. New York: Springer-Verlag, 1988.

MARGALEF, R. **Perspectives in ecology**, Chicago: University of Chicago Press, 1968.

MARTINELLI, Dante Pinheiro. **Teoria geral dos sistemas**. Saraiva Educação SA, 2012.

MCWILLIAMS, James. A perspective on the legacy of Edward Lorenz. **Earth and Space Science**, v. 6, n. 3, p. 336-350, 2019.

MENDONÇA, Francisco de Assis. Geografia socioambiental. **Terra Livre**, [S. l.], v. 1, n. 16, p. 113–132, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/352>. Acesso em: 17 abr. 2023.

MENDONÇA, Francisco de Assis. Geografia, Geografia Física e Meio Ambiente: Uma reflexão a partir da problemática socioambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, [S. l.], v. 5, n. 05, p. 123–134, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5418/RA2009.0505.0010>. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6594>. Acesso em: 19 abr. 2023.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Os geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente. **Revista de Ciências Humanas**, 14(19), 67-100, 1996.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. DE TEMPOS E RITMOS: Entre o Cronológico e o Meteorológico para a Compreensão Geográfica dos Climas. **Geografia**, 131-154, 2001.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas. Perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, 5(1), 2001.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Geossistemas: a história de uma procura**. Org. e rev. Y.T. Rocha, J. L. S. Ross, F. Cavalheiro, L. Coltrinari. São Paulo, Contexto/Geousp. 127p, 2000.

MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo: Cortez; Unesco, 2001b.

MORIN, E.; LE MOIGNE, Jean-Louis. A inteligência da complexidade. **São Paulo: Peirópolis**, 2000.

MORIN, Edgar. **Ciência com Consciência**. (8.ed). Bertrand Brasil, 2005.

MORIZE, Henrique. Esboço da climatologia do Brasil. **Rio de Janeiro: Observatório Astronômico**, 1889.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues; SAMPAIO, José Levi Furtado Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da casa da geografia de Sobral**, 6(1), 21, 2004.

NEVES, Carlos Eduardo das.; MACHADO, Gilnei.; HIRATA, Carlos Alberto.; STIPP, Nilza Aparecida Freres. A importância dos geossistemas na pesquisa geográfica: uma análise a partir da correlação com o ecossistema. **Sociedade & Natureza**, 26(2), 271-285, 2014.

NETO, Roberto Marques. **Paisagem e Geossistemas: bases teórico-metodológicas da Geografia Física aplicada**. Editora CRV, 2023.

ODUM, Howard. Environment, Power, and Society. **New York: Wiley-Interscience**, 1971.

ODUM, Howard. An energy circuit language for ecological and social systems: its physical basis. Systems Analysis and Simulation in Ecology, Vol. II. **New York: Academic Press**, 139-211, 1972.

OGASHAWARA, Igor. Análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Revista Georaguaia**, 2012.

OESTREICHER, Christian. A history of chaos theory. **Dialogues in clinical neuroscience**, 2022.

PEDRAS, Lúcia Ricotta. A paisagem em Alexander von Humboldt: o modo descritivo dos quadros da natureza. **Revista USP**, n. 46, p. 97-114, 2000.

PRADELLA, Henrique Lobo. **A construção do conceito de ‘tipos de tempo’ entre os séculos XVII e XXI, no âmbito das Ciências Atmosféricas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

REIS DE JESUS, Emanuel Fernando. Algumas reflexões teóricoconceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação. **GeoTextos**, [S. l.], v. 4, 2009. DOI: <https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v4i0.3301>. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/3301>. Acesso em: 18 out. 2022

RODRIGUES, Cleide. Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 14, p. 69-77, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2001.0014.0007>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47314>. Acesso em: 17 abr. 2023.

ROSEGHINI, Wilson Flávio Feltrim. **Clima urbano e dengue no centro-sudoeste Brasil**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013, p. Tese de doutorado em Geografia

SALES, Vanda Claudino de. Geografia, Sistemas e Análise Ambiental: Abordagem crítica. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 125-141, 2004. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.73959>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/73959>. Acesso em: 19 abr. 2023.

SANT ‘ANNA NETO, Joao Lima. A Gênese da climatologia no Brasil: O despertar de uma ciência. **Geografia**, v. 28, n. 1, p. 5-27, 2003.

SAN’ANNA NETO, João Lima. Por uma Geografia do Clima- antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, [S. l.], v. 2, n. 17, p. 49–62, 2015. DOI: https://doi.org/10.62516/terra_livre.2001.339. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/339>. Acesso em: 19 abr. 2023.

SANTOS, Milton. **Por uma geografia nova: da crítica da geografia a uma geografia crítica**. Edusp, 2022.

SCHIER, Raul Alfredo. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 7, 2003.

SCHODERBEK, P.P.; KEFALAS, Astereos. **Management Systems: Conceptual Considerations**, BPI, Irwin, Boston, 1990.

SORRE, Maximilien. **Les fondements de la geographie humaine**. Paris: Armand Colin, 1951.

SOTCHAVA, Victor Borisovich. Geography and ecology. **Soviet Geography: review and translation**. New York, v. 12, n. 5, p. 277-293, 1971.

STRAHLER, Arthur. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. **Bull., Geo/. Soc. Amer.**, Vol. 69, 279-300, 1958.

STRAHLER, Arthur. Systems theory in physical geography. **Physical Geography**, 1(1), 1-27, 1980.

SUERTEGARAY, Dirce Maria. O atual e as tendências do ensino e da pesquisa em Geografia no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 16, p. 38-45, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0004>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47283>. Acesso em: 17 abr. 2023.

SUTTON, Philip. **Nature, environment and society**. 2017.

SHEN, Bo-wen et al., (2022). Three kinds of butterfly effects within Lorenz Models. **Encyclopedia**, 2(3), 1250-1259

TANSLEY, Arthur George. The use and abuse of vegetacional terms and concepts. **Ecology**, v.16, n.3, p.284-307, 1934

TARIFA, José Roberto. Sobre um programa de “climatologia experimental” na região metropolitana de são paulo*. **Boletim Paulista de Geografia**, [S. l.], n. 52, p. 101–116, 2017. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/index.php/boletim-paulista/article/view/1110>. Acesso em: 17 out. 2022.

THALABARD, Simon., BEC, Jeremie., MAILYBAEV, Alexer. (2020). From the butterfly effect to spontaneous stochasticity in singular shear flows. **Communications Physics**, 3(1), 122.

UGEDA JÚNIOR, José Carlos. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. 383f. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) -Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente

VALE, Cláudia Câmara do. Teoria Geral do Sistema: histórico e correlações com a Geografia e com o estudo da paisagem. **ENTRE-LUGAR**, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 85–108, 2012. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/2448>. Acesso em: 3 abr. 2023.

VILELA, Hugo Vilela Lemos.; UGEDA JÚNIOR, José Carlos. O conceito de estrutura térmica espacial urbana no Sistema Clima Urbano de Monteiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 30, n. 18, p. 715–729, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.15337. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15337>. Acesso em: 2 jan. 2023.

WALDROP, Mitchell. **Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos**. Simon and Schuster, 1993.

ZANATTA, Beatriz Aparecida. A abordagem cultural na Geografia. **Revista Temporis** [ação], 9(1), 224-235, 2008.

ZANGALLI JUNIOR, Paulo César. **O capitalismo climático como espaço de reprodução do capital: Governança do clima e sujeitos sociais**. Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2018. Presidente Prudente. 2018.

ZAVATTINI, João Afonso. A climatologia geográfica brasileira, o enfoque dinâmico e a noção de ritmo climático. **Revista Geografia**, Rio Claro, v.23, p.5-24, 1998.

ZAVATTINI, João Afonso. O Paradigma da Análise Rítmica e a Climatologia Geográfica Brasileira. **Revista Geografia**, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 25-43, 2000