

UM ESTUDO SISTÊMICO APLICADO A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: A ANÁLISE DO REGIME HIDRÍCO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS ATRAVÉS DE SENSORES ORBITAIS

Luiz Eduardo Vicente, IG/Geografia Unicamp. vicente@ige.unicamp.br

Carlos Roberto de Souza Filho, IG/DGRN Unicamp. beto@ige.unicamp.br

Archimedes Perez Filho, IG/Geografia Unicamp. archimedes@ige.unicamp.br

1 INTRODUÇÃO: CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE – PARADIGMA SISTÊMICO E ANÁLISE ESPACIAL.

Diversos autores, já no início do século XX, entre eles o biólogo Ludwig Von Bertalanffy (1973, p.19.), falam do aumento da complexidade da tecnologia e na própria mudança nas “categorias básicas de pensamento” e que isso dar-se-ia de forma concomitante e abrangente.

“Não é apenas a tendência da tecnologia de fazer coisas maiores e melhores (ou, no caso oposto, mais lucrativas destruidoras ou ambas). Trata-se de uma transformação nas categorias básicas de pensamento da qual as complexidades da moderna tecnologia são apenas uma – e possivelmente não a mais importante – manifestação. De uma maneira ou de outra, somos forçados a tratar com complexos, com “totalidades” ou “sistemas” em todos os campos do conhecimento.” (BERTALANFFY, 1973, p. 19)

Hoje, ao contextualizarmos historicamente sua afirmação, obtemos provas de que isso aconteceu e foi em parte assimilado tanto pela ciência, quanto pela tecnologia, dentro de um contexto histórico, que é o do período pré (principalmente no início do século XX) e pós Segunda Guerra Mundial.

O autor referia-se em sua obra a diversas disciplinas científicas emergentes à época como: Engenharia de Sistemas e Ciência da Informação, sendo que trabalhando com os desdobramentos dessas disciplinas temos o surgimento através dos anos de várias outras, tais como a Informática por exemplo. Sendo por volta da década de 40 que surgem os primeiros computadores e já na década de 50 são criados, com base na ciência da informação os primeiros sistemas de informações (programas de computador), os quais trabalham basicamente com informações alfa-numéricas (dados em forma de letras e números tão somente).

É na década de 60, mais especificamente em 1964 que surge no Canadá o primeiro sistema de informação voltado para a análise espacial (“Canadian Geographic Information System”), ou Sistema de Informações Geográficas (SIG), definido por Aronoff e Burrough (CÂMARA et all, 1996, p.21) como “sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente a informação, e indispensável para analisá-la”. O SIG deriva diretamente dos primeiros sistemas de informação, porém, com a capacidade de trabalhar com uma realidade muito mais complexa do que a expressa apenas por códigos alfa-numéricos, e sim, com variações espaciais inconstantes como relevo, localização, topologia, altimetria, etc.

Um software gerenciador de SIG é fruto de um conjunto de conceitos e técnicas geográficas, matemáticas, geodésicas, estatísticas, cartográficas e de informática,

constituindo-se na mais completa ferramenta multidisciplinar de análise espacial existente hoje. Essa tecnologia, como não poderia deixar de ser, é fruto de um contexto histórico do pós-guerra, que trazia uma nova conformação geopolítica internacional e necessidades subjacentes de conhecimento e planejamento territoriais. Paralelos a isso temos um acréscimo da quantidade de dados acumulados sobre a esfera terrestre e uma necessidade latente de cruzamentos e análises de grande porte. Corroborando tal afirmação, basta lembrarmos que os primeiros grandes projetos envolvendo SIGs, eram de cunho governamental e militar, tais como: “New York Landuse and Natural Resources Information Systems” em Nova Iorque 1967; “Minnesota Land and Management Information System” no estado do Minnesota em 1969, além do projeto GRASS¹, desenvolvido pelo exército americano na década de 1970 e ainda usado (ROSA & BRITO, 1996, 104 p.).

Esses projetos são polarizados através da emergente perspectiva ecológica da sociedade, mais pronunciada a partir da conferência de Estocolmo 1972, e não por acaso da concomitante crise do petróleo deflagrada a época. Medidas de gestão e intervenção do território, ganham uma “função” ecológica.

Torna-se ingenuidade, portanto, considerarmos esse avanço tecnológico, per si, dissociando-o de um contexto histórico científico e por consequência social, formando uma já conhecida tríplice conjunção, entre ciência-tecnologia-sociedade, porém, de ordem complexa, pois trata do território, ou seja, da análise espacial.

O grande desafio e o principal limitador de tais sistemas de informação é sua capacidade enquanto *modelo* de representar a realidade, tanto que o que podemos chamar de cerne do sistema é exatamente o banco de dados geográfico, os quais podem ser: relacionais, hierárquicos, rede, orientados a objeto, entre outros. Dependendo do tipo de modelagem adotada. Neste sentido Câmara (CÂMARA et al, 1997, p.3-1.) define modelo de dados como “um conjunto de ferramentas conceituais utilizado para descrever como a realidade geográfica será *representada* no sistema”. (grifo meu)

A elaboração de modelos constitui-se no estado da arte da análise espacial, e portanto, num desafio comum, tanto para sua episteme, quanto para tecnologia derivada da mesma, tendo como pano de fundo e origem bases científicas, em particular o estudo dos sistemas.

Ambos os campos, guardadas variações de objetivos e semântica, trabalham com os mesmos conceitos de processo, estrutura, dinâmica, elementos, atributos, hierarquia, organização, interação, escalas (tempo/espço), etc.

Tomamos aqui alguns exemplos de autores, como Bertrand (1972, 27 p.) e sua leitura do modelo conceitual Geossistema, com o qual trabalha processos, tais como a ação antrópica, além de conjuntos de elementos, os quais denomina de unidades taxonômicas e que já representam uma escala espacial segundo sua área de abrangência: zona, domínio, região natural, geossistema, geótopos e geofácies. Sua proposta é passível de ser demonstrada num esquema mais complexo, porém, o autor o representa de maneira simplificada, e nem por isso menos elucidativa. (Figura 1)

¹ “Geographical Resources Analisis Support System”

Modelo Conceitual de Geossistema

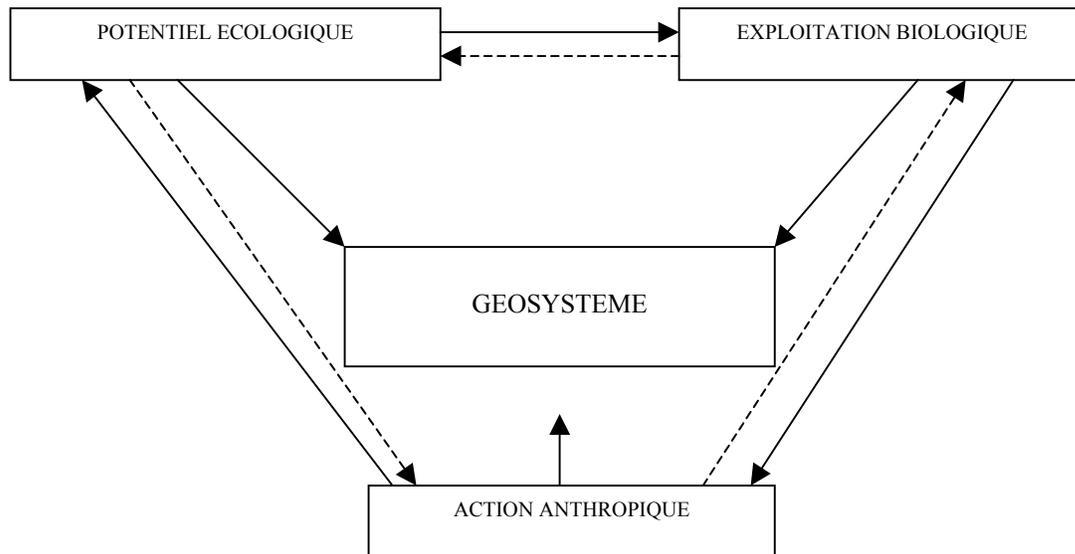


Figura 1
Fonte: Bertrand, in Monteiro 2000

Monteiro (1976, p 93.) em sua obra “Teoria e Clima Urbano” interpreta e adapta a Teoria Geral dos Sistemas na montagem de um modelo para o estudo do clima urbano, o qual define como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

O autor propõe “critérios de escolha” para o embasamento de sua abordagem, sendo um deles o “modelismo”, o qual justifica dizendo que “o clima urbano, para o desenvolvimento de sua pesquisa e aperfeiçoamento continuado, necessita tanto de mapeamento quanto de diagramação”. Monteiro (1976, p 93.) também, de maneira única, adapta e define o conceito de hierarquia em sistemas abertos, estabelecendo subsistemas e canais de percepção que fazem parte do Sistema Clima Urbano, os quais são:

| Subsistemas | I | II | III |
|-------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| | Termodinâmico | Físico-Químico | Hidrometeorológico |
| Canais | Conforto Térmico | Qualidade do ar | Impacto Meteorológico |

Figura 2

Fonte: Adaptado de Monteiro 1976

Christofolletti (1999, 236 p.) em sua obra “Modelagem de Sistemas Ambientais”, trata da interface entre sistemas informatizados, em particular os SIGs, e metodologias em análise espacial, enfatizando a modelização e a reflexão geográfica sobre tais modelos, aplicando-os e aprimorando-os à diversas particularizações da esfera terrestre, reforçando a

noção de complexidade do meio ambiente, e a necessidade de abordarmos o mesmo como um todo integrado.

A tendência que nos é apresentada, enquanto pesquisadores, por esses e demais autores, pauta-se no sentido de aprimoramento de tais concepções através de teorias relativamente recentes, tais como a: teoria dos jogos, do caos, dos fractais, das derivações quânticas, etc. Onde os conceitos geográficos de inserção e *consideração* do homem e de suas *necessidades*, torna-se parte das prioridades deste conhecimento científico e de suas ferramentas (figura 2)

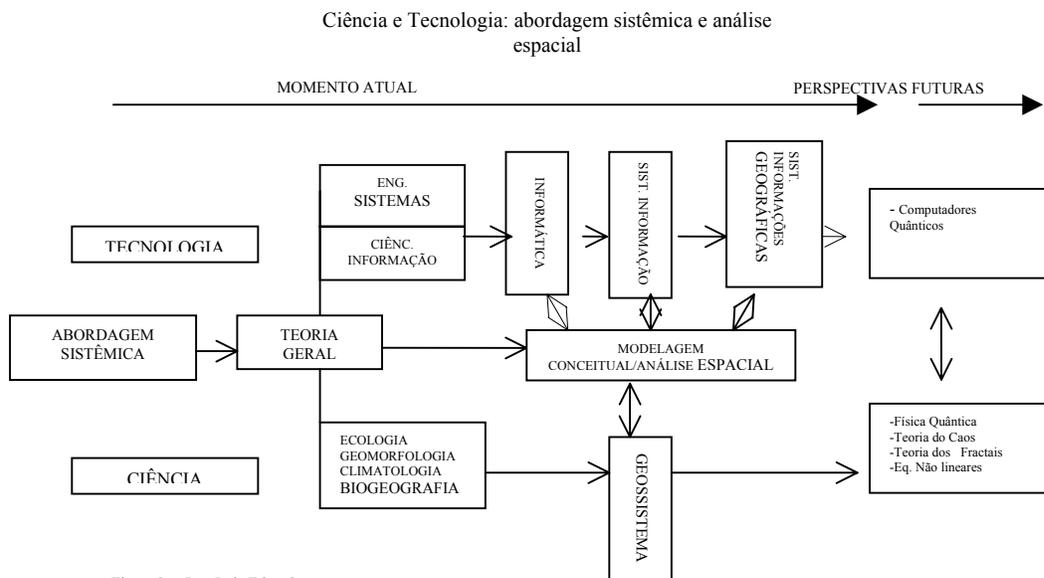


Figura 2 - Org. Luiz Eduardo Vicente

2 MODELO CONCEITUAL APLICADO: UMA PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO HÍDRICA

Frente às possibilidades teórico-metodológicas ensejadas anteriormente no que tange a análise ambiental, vislumbra-se de maneira aplicada neste projeto a necessidade não mais latente e sim cada vez mais recorrente de frenagem da degradação dos recursos hídricos aproveitáveis para o Homem, visto ser a água, em seu conjunto hidrológico, um dos bens naturais mais preciosos para vida. Sendo o objetivo principal deste trabalho a elaboração de uma proposta de gestão de recursos hídricos, através do desenvolvimento de um modelo de dados ambientais, compilados a partir de um Sistema de Informações Geográficas. Para tanto, escolheu-se como área de aplicação, a bacia do rio Tietê, com uma área total de 71.798 Km², abrangendo 47 bacias e sub-bacias, segundo dados do DAEE/CTH. Esta escolha deve-se a complexidade territorial da área, congregando de maneira singular em sua extensão, elementos antrópicos, bióticos e abióticos, abrangendo cerca de 217 municípios do estado de São Paulo (DAEE/CTH, 1994, 218 p.).

O modelo de gerenciamento proposto toma como objetivo principal uma discussão sobre o “volume ideal” de retenção de água doce no sistema em questão, no caso a bacia do rio Tietê, considerando para isso sua entrada, saída, utilização e distribuição espacial. Serão utilizados dados referentes ao regime hídrico e climático, assim como da estrutura geomorfológica e pedológica de diversas fontes distintas, em grande parte já identificadas.

A água que entra no sistema será não apenas quantificada, como também espacializada através dos dados provenientes de 28 postos pluviométricos, escolhidos segundo sua localização na extensão da bacia. Será considerada uma escala de tempo de 30 anos, tomando como referência territorial as unidades climáticas do Estado de São Paulo estabelecidas por Monteiro (MONTEIRO, 1976, p 93.) e por Sant'Anna Neto (SANT'ANNA NETO, 1995, 126p.), onde será estabelecida através de cálculos estatísticos básicos, inclusive do balanço hídrico, o seu regime. Essa informação aliada ao ritmo climático (gênese pluvial) nos revelará o comportamento pluviométrico discretizado em cada unidade, tomando episódios excepcionais em função de sua variabilidade, o que se torna vital para sua correlação com outros elementos.

O volume de água na extensão de todo o sistema será medido através dos dados fluviométricos de vazão de 71 postos de medição, cobrindo um total de 47 bacias e sub-bacias, que abrangem as Zonas Hidrográficas I e II do estado de São Paulo, tendo como principais bacias, segundo divisão do DAEE/CTH: Piracicaba; Tietê/Sorocaba; Alto Tietê; Baixo Tietê; Tietê/Batalha; Tietê/Jacaré. Os dados de vazão não apenas estabelecerão o volume de água que sai do sistema, através da rede drenagem da bacia do Tietê, como seu comportamento durante o transcurso, através de seu mapeamento. Visto que todo o regime fluviométrico da bacia foi alterado pela construção de barragens ao longo do curso do rio, as mesmas serão consideradas em nossa modelagem através do seu mapeamento, análise do volume de água retido, sua vazão e critérios de gerenciamento, sendo as principais, as dos municípios de: Pereira Barreto, Nova Avanhandava, Ibitinga, Promissão, Bariri e Barra Bonita.

Para tanto, será considerado como o segmento temporal, as mesmas escalas, tanto para os dados pluviométricos, quanto para os fluviométricos, ou seja, o período de 1971 a 2000.

Os dados de chuva e vazão serão espacializados através de modelagem numérica em função de sua localização e valor, utilizando um “Modelo Numérico do Terreno” (MNT), através de diferentes interpoladores: quíntico, bícúbico, média ponderada por cota e quadrante, etc, que podem gerar grades retangulares, triangulares e isolinhas. Essa modelagem será aplicada também na representação da topografia ou em outros elementos que possuam dados espaciais irregulares e contínuos no terreno.

3 SENSORES ORBITAIS E EPISTEME SISTÊMICA

Um dos objetivos e ao mesmo fator diferencial deste trabalho, reside na utilização de dados de sensores de última geração em conjunto com uma base de dados terrestres, citados anteriormente. Os sensores fazem parte do projeto da Nasa “Earth Observing System” (EOS), são eles: o Landsat 7, o Terra e o Aqua.

O projeto “EOS”, tem como um de seus principais objetivos a apreensão conjunta de dados referentes a hidrosfera, litosfera, atmosfera, ou seja, a biosfera como um todo. O que nos leva ao desenvolvimento e aprimoramento de tais ferramentas sob critérios científicos e aplicados. A co-relação de alvos com dados em bases terrestres refinam a interpretação dos mesmos, assim como aprimoram o desenvolvimento de modelos que possam ser expansíveis e ampliados, tornando-se um fator preponderante em análises futuras de novas séries de dados, somando-se o fato de serem sensores recém lançados e

com uma vida útil estimada em mais de 15 anos, constituindo-se nos primeiros de todo um conjunto, que incluem ainda o: Cloudsat e o AURA, entre outros.

O “EOS” possui 3 estâncias logístico/institucionais:

- A primeira refere-se a série de novos sensores desenvolvidos especialmente para o estudo conjunto das mudanças globais.
- A segunda constituiu-se numa rede avançada de computadores voltados para o processamento, intercâmbio e análise dos dados coletados, o EOSDIS.
- A terceira diz respeito ao grupo de cientistas colaboradores/usuários dos dados do projeto EOS. Responsáveis direta e indiretamente pelo aprimoramento, utilização e divulgação de informações e pesquisas derivadas desse instrumental.

Particularmente o Terra e o Aqua, trabalham em conjunto, descrevendo uma órbita próxima aos pólos em sentido contrário um do outro, e transversal a rotação do planeta, realizando uma cobertura planisférica do mesmo a uma altitude de 705 Km. O Terra foi o primeiro satélite a ser lançado exclusivamente para o projeto EOS, no dia 18 de fevereiro de 1999, seguido do Aqua em 04 de maio de 2002. Ambos possuem uma série de sensores, que trabalham numa ampla faixa de resolução espectral, incluindo as faixas do visível, infra-vermelho e microondas. O Terra possui os seguintes sensores: ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emissions), CERES (Clouds and the Earth’s Energy System), MISR (Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer), MODIS (Moderate-resolution Imagig Spectro –Radiometer), MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere); e o Aqua possui: AIRS (Atmosphere Infrared Sounder), AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS), AMSU (Atmosphere Microwave Sounding Unit), CERES, HSB (Humidity Sounder for Brazil), MODIS. Os referidos sensores podem fornecer dados diversos como: presença e disposição de nuvens, evapotranspiração, fluxos de superfície, uso e ocupação do solo, litologia, etc., em diferentes escalas espaciais. Soma-se a isso a perspectiva do processo, ou seja, da escala temporal que nos será dada pela série temporal de dados coletados “in loco”, na área de estudo.

4 PERSPECTIVAS FUTURAS: O AVANÇO NO ENTENDIMENTO DA COMPLEXIDADE AMBIENTAL

Mais uma vez nos deparamos com os limites entre ciência, tecnologia e sociedade, sendo que a ciência geográfica permeia, como nenhuma outra, esses campos, num esforço paradigmático no sentido de compreender e intervir de maneira racional em tal complexidade. Denota-se, portanto, através desse conjunto de ferramentas em concatenação com uma episteme sistêmica, uma aproximação jamais vista da apreensão de um todo integrado, no caso, as geoesferas terrestres, o que nos proporciona de uma *nova* visão, em *novas* escalas. Nos remetendo a idéia clássica do demônio laplaceano:

“capaz de observar todo o universo em um determinado instante e conhecendo todas as suas leis, seria capaz de reconstituir todos os acontecimentos passados e de prever todos os acontecimentos futuros” (MORIN, 2002, p.52)

Essa metáfora resume o próprio clamor da ciência. Mesmo que essa contemplação magistral e utópica nos seja furtada pela dinamicidade do real, o que temos é um avanço

concreto no mesmo sentido, ou seja, na apreensão integrada da complexidade ambiental e de sua dinâmica, na busca de modelos mais completos e próximos da relação homem/meio.

REFERÊNCIAS

- BERTALANFY, L. von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973. 351p.
- BERTRAND, Georges. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Caderno de ciências da terra, 13. São Paulo: IGEOG/USP, 1972. 27p.
- CÂMARA, Gilberto et al. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 193p.
- CÂMARA, Gilberto, MEDEIROS, J. Simeão. **GIS para meio Ambiente**. Campinas: Sagres, 1997. 91p.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236p.
- MONTEIRO, Carlos A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de atlas**. São Paulo, FFLCH/USP – Instituto de Geografia, 1973, 129p.
- _____. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976, 181 p., (Série Teses e Monografias, n.25)
- _____. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000. 127p.
- NASA - **The Earth Observing System: The Earth Observer**. March/April 2002, Vol. 14, No 2. p. 1.
- NASA – site oficial do projeto EOS. <http://eospso.gsfc.nasa.gov>
- ROSA, Roberto. BRITO, Jorge L. S. **Introdução ao geoprocessamento: sistema de informação geográfica**. Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia, 1996. 104p.
- SANT'ANNA NETO, João Lima. **As chuvas no estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**. São Paulo, 1995. 126p. Tese de Doutorado em Climatologia – FFLCH, Universidade de São Paulo.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE/CTH. **Médias Mensais de vazão do Estado de São Paulo: 1971 – 1991**. São Paulo, 1994. 218 p.
- VICENTE, Luiz Eduardo. **Geoprocessamento aplicado a gestão territorial: uma proposta de abordagem sistêmica para o meio urbano de Presidente Prudente**. Presidente Prudente, 2001. 107p. Dissertação (mestrado em Geografia Física) – FCT - UNESP, Campus de Presidente Prudente.