

A Teoria Geral do Sistema e suas aplicações nas ciências naturais[§]

The System General Theory and its applications on natural sciences

Luana GN Lopes^{1,2*}, Ary G Silva² e Antônio Celso O Goulart¹

§ Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora. 1. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil. CEP. 29.075-910; 2. Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas - PPEE. Universidade Vila Velha - UVV. Rua Comissário José Dantas de Melo, 21, Boa Vista, Vila Vela, ES, Brasil. CEP 29102-920.

*Autor para correspondência: prof.lua.lopes@gmail.com

Resumo O presente trabalho traz um breve histórico acerca da Teoria Geral do Sistema (TGS), proposta pelo biólogo alemão Ludwing von Bertalanffy. Ele elaborou uma teoria interdisciplinar para transcender os problemas exclusivos de cada ciência e proporcionar princípios gerais e modelos gerais para todas as ciências envolvidas, de modo que as descobertas efetuadas em cada uma pudessem ser utilizadas pelas demais.

Palavras-chaves: sistemas, geossistemas, paisagem, SIG.

Abstract This article is a brief history about the General System Theory (TGS), proposed by German biologist Ludwing von Bertalanffy. He developed an interdisciplinary theory to transcend the unique problems of each science and provide general principles and general models for all the sciences involved, so that the discoveries made in each could be used by others.

Keywords: systems, geosystems, landscape, GIS

Introdução

A ideia de sistema tem uma longa história. Para ilustrar, é pertinente lembrar que desde a Antiguidade, pensadores como Aristóteles, Platão, Sócrates, já se utilizavam desse conceito à medida que procuravam formas de compreender e explicar os acontecimentos, fenômenos da natureza e o comportamento humano. O termo sistema se origina da combinação de dois radicais gregos: syn, que corresponde ao cum latino e significa “junto”, “associado”; e thesis, com significados de “composição”, “união”. Seu sentido literal é um tanto redundante, dando ideia de uma construção solidária, unificada.

O sentido fundamental a ser preservado é o de síntese, conjunto unificado, constituído de partes solidárias, de alguma forma articuladas entre si e não reunidas por acaso (Branco 1999).

Embora o termo “sistema” não tivesse sido empregado com esse rótulo, a história desse conceito inclui muitos nomes ilustres. Sob a designação de “filosofia natural”, podemos fazê-lo remontar a Leibniz, a Nicolau de Cusa, com sua coincidência dos opostos, à medicina mística de Paracelso, à visão da história de Vico e Ibn-Kaldun, considerada como uma série de entidades ou “sistemas” culturais, à dialética de Marx e Hegel, para não mencionar mais do que alguns poucos nomes dentre uma rica panóplia de pensadores (Bertalanffy 2008).

A aplicação da Teoria Geral dos Sistemas – TGS – teve início nos Estados Unidos nas primeiras décadas do século XX, em conformidade com o avanço da Cibernética. Como se verá na sequência a sua utilização nas ciências naturais é resultado do trabalho precursor de Bertalanffy que a aplicou à Biologia e à Termodinâmica. Ademais, várias décadas foram necessárias para que tais preceitos se estendessem pelo conjunto das ciências e pela totalidade das ciências naturais.

Os estudos da TGS foram aplicados, a princípio, à Termodinâmica e à Biologia, somente mais tarde sua aplicação se fez presente na Geografia. Na ecologia, Tansley (1937), utilizando esse método criou o conceito de ecossistemas que mais tarde influenciou a Geomorfologia, particularmente, e a Geografia Física (Sotchava 1977, Bertrand 1971, Tricart 1977) no geral. Como se pode observar, a teoria geral dos sistemas não se resumia ao mundo convencional das ciências físicas e biológicas, mas se estendia a diferentes áreas do conhecimento. (Mendonça 2001).

A TGS surgiu pela necessidade de se buscar novas orientações para a ciência. Essa necessidade, por sua vez, apontou para a fragmentação da visão mecanicista como uma dificuldade para a compreensão dos problemas colocados pela complexidade do mundo moderno. Ou seja, a análise por meio das séries causais isoláveis e o tratamento por partes se mostraram insuficientes para atender

aos problemas teóricos, notadamente nas ciências biossociais e aos problemas trazidos através da tecnologia moderna (Bertalanffy 2008).

A colocação de novas concepções e as novas formas de compreender o mundo constitui-se numa interpretação integrada da natureza, exigindo visões mais abrangentes que tem sentido contrário da ótica reducionista. Nesse sentido, a revolução científica promovida pelo conceito de sistema tem sua base na contradição deste com os postulados da ciência clássica, baseados no procedimento analítico. Nesse sentido, a ideia a ser explorada pela TGS não é a compreensão linear/controlar/previsibilidade sobre um objeto isolado de uma análise (como a ciência moderna pretendeu), mas sim compreender a estrutura organizacional e as conexões interiores e exteriores entre o objeto de estudo e o ambiente do qual ele faz parte. Vê-se, nessa perspectiva, que essa teoria interdisciplinar era capaz de transcender aos problemas específicos de cada ciência e proporcionar princípios gerais e modelos gerais para todas as ciências envolvidas, de modo que as descobertas efetuadas em cada ciência pudessem ser utilizadas pelas demais. Essa teoria possibilitou o isomorfismo das várias ciências, permitindo maior aproximação entre as suas fronteiras e o preenchimento das lacunas entre elas (Bertalanffy 2008).

Os pressupostos básicos para a teoria de Bertalanffy foram os seguintes: (1) Há uma tendência geral no sentido da integração nas várias ciências, naturais e sociais; (2) Esta integração parece centralizar-se em uma teoria geral dos sistemas; (3) Esta teoria pode ser um importante meio para alcançar uma teoria exata nos campos não físicos da ciência; (4) Desenvolvendo princípios unificadores que atravessam “verticalmente” o universo das ciências individuais, esta teoria aproxima-nos da meta da unidade da ciência; (5) Isto pode conduzir à integração muito necessária na educação científica.

Essa teoria é essencialmente totalizante, pois os sistemas não podem ser plenamente compreendidos apenas pela análise separada e individualizada de cada uma de suas partes. Seguindo essa premissa, a TGS se baseia na compreensão da dependência recíproca de todas as disciplinas e da necessidade de sua integração. Assim, os diversos ramos do conhecimento, até então estranhos uns aos outros pela intensa especialização e isolamento consequente, passaram a tratar seus objetos de estudos como sistemas.

Noções gerais sobre sistemas

A definição de sistemas o constitui como conjuntos de elementos que se relacionam entre si, com certo grau de organização, procurando atingir um objetivo ou uma finalidade (Figura 1).

Os sistemas apresentam entrada (input) e saída (output), respectivamente. A entrada é constituída por aquilo que o sistema recebe, ou seja, é o que o sistema importa do meio ambiente para ser processado. Cada sistema é alimentado por determinados tipos de entradas. As entradas recebidas pelo sistema sofrem transformações

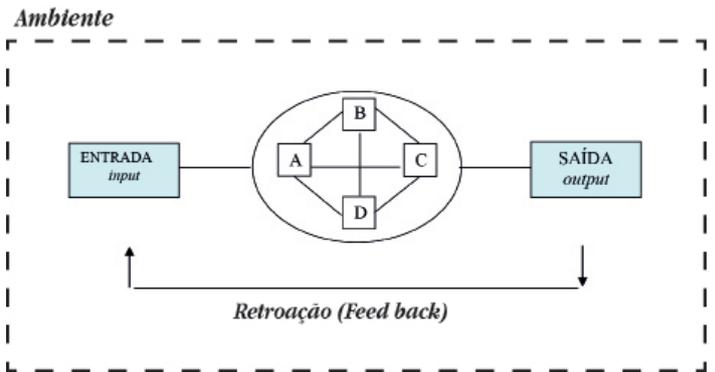


Figura 1 - Representação esquemática de um sistema assinalando os elementos (A, B, C e D) e suas relações, assim como o evento entrada e o produto de saída.

em seu interior, e depois são encaminhadas para fora. A saída é o resultado final do processamento de um sistema.

As unidades ou elementos que são as partes componentes do sistema possuem atributos ou qualidades que imprimem características a elas e ao sistema. Sendo assim, dependendo do tipo de sistema, podem-se eleger propriedades para melhor descrever as suas partes. A retroalimentação do sistema ou feedback pode ser considerado como a reintrodução de uma saída sob a forma de informação. Segundo Durand *apud* Branco (1999) a teoria dos sistemas é regida por quatro conceitos principais:

- A interação entre os elementos do sistema é a ação recíproca que modifica o comportamento ou a natureza desses elementos. Diferentemente do estabelecido pela ciência clássica, a relação entre dois elementos A e B não é obrigatoriamente uma simples ação causal de A sobre B, mas pode ser representada por uma ação dupla, recíproca, entre ambas. Os tipos de interação entre os elementos de um sistema são de várias naturezas, destacando-se as seguintes: relação causa-efeito; relação temporal em que um evento A é seguido, após certo intervalo, de um evento B; relação de retroação em que a primeira ação de A sobre B é seguida de uma nova ação de B sobre A; interação indireta na qual uma ação que partiu de A, passa pelos elementos B, C etc., retornando sobre A, criando ciclos longos e complexos;
- A totalidade, um sistema não é uma soma de elementos, como faria supor um raciocínio cartesiano; ao contrário, o sistema é um todo não redutível às suas partes. O todo é mais que uma forma global: ele implica o aparecimento de qualidades emergentes as quais não existiam nas partes. Essa noção de emergência leva, por si, a uma outra noção importante, de hierarquia nos sistemas desde os mais simples até os mais complexos, isto é, formado de grande número de elementos diferentes;
- A organização, considerada o conceito central da sistêmica, é definida por Durand como: ‘arranjo de relações entre componentes ou indivíduos, produzindo uma nova unidade, possuidora de propriedades não contidas nos componentes’. A organização constitui, assim, um dos fatores principais do sistema. Ela implica dois aspectos a serem considerados

separadamente: o estrutural e o funcional. O primeiro é geralmente representado na forma de um organograma, enquanto que o segundo pode ser descrito como um programa. É preciso, entretanto, não perder de vista o fato de que ambos os aspectos são complementares. Finalmente, a organização deve ser caracterizada por um certo grau de estabilidade, sem a qual não poderia ser descrita em determinado instante;

- A complexidade, segundo Durand, depende do número de elementos e número de tipos de relações ligando, entre si, os elementos do sistema. A complexidade caracteriza aquilo que poderia ser denominado originalidade do sistema em termos de identidade, e mede a riqueza de informações que ele contém.

Composição dos sistemas: matéria, energia e estrutura

Uma visão, ainda que pouco profunda, não obstante a complexidade da temática, nos permite apontar alguns aspectos importantes que devem ser considerados no estudo dos sistemas, segundo Christofolletti (1980), tais como: matéria, energia e estrutura.

- **Matéria:** corresponde ao material que vai ser mobilizado através do sistema;
- **Energia:** corresponde às forças que fazem o sistema funcionar, gerando a capacidade de realizar trabalho. No tocante à energia, deve-se fazer distinção entre a energia potencial e a energia cinética. Energia potencial é representada pela força inicial que leva ao funcionamento do sistema; e a energia cinética é a energia que possibilita o movimento no sistema. Contudo, não se deve esquecer que a energia total é constituída pela soma entre a energia potencial e a energia cinética;
- **Estrutura do sistema:** é constituída pelos elementos e suas relações, expressando-se através do arranjo de seus componentes. O elemento é a unidade básica do sistema.

Principais características da estrutura dos sistemas

De acordo com Chistofolletti (1980), três características principais das estruturas devem ser observadas:

i. **Tamanho** – é determinado pelo número de variáveis que o compõem. Quando o sistema é composto por variáveis que estão completamente inter-relacionadas, isto é, cada uma se relaciona com todas as outras, a sua complexidade e tamanho são expressos através do espaço-fase ou número de variáveis. Se houver duas variáveis, o sistema será de espaço-fase bidimensional; se houver três, será de espaço tridimensional; se houver n variáveis, o sistema será de n espaço-fase.

ii. **Correlação** – a correlação entre as variáveis em um sistema expressa o modo pelo qual elas se relacionam. A sua análise é feita por intermédio das linhas de regressão, da correlação simples (quando se relacionam as variáveis) e da correlação canônica (quando se relacionam conjuntos de variáveis). Na correlação a força é assinalada pelo valor da intensidade enquanto o sinal, positivo ou negativo, indica a direção na qual ocorre o relacionamento.

iii. **Causalidade** – a direção da causalidade mostra qual é a variável independente, a variável que controla, e a dependente, aquela que é controlada, de modo que a última só sofre modificações se a primeira se alterar. A distinção entre tais variáveis ainda está na dependência do bom senso, embora haja várias regras lógicas para se estudar o problema da causalidade.

Prosseguindo, traça-se em linhas gerais os aspectos referentes à composição do sistema, estabelecendo os aspectos, tais como a matéria, a energia e a estrutura, como citado anteriormente. Nesse contexto, revela-se a importância da matéria que será mobilizada pelo sistema. Procede-se a análise da energia que corresponde às forças que geram a capacidade de funcionamento do sistema. Em continuidade, vê-se a preocupação em considerar inicialmente a energia potencial, que representa a força inicial que gera o funcionamento do sistema. Com a matéria em movimento dentro do sistema, surge então a energia cinética, ou seja, aquela que mantém o movimento, cuja própria força alia-se a potencial.

Ressalta-se que o fluxo de energia e de matéria no interior do sistema ocorre através dos canais de comunicação. No tocante à longa trajetória desses fluxos, parte da matéria e energia envolvidas pode ficar armazenada em vários setores do sistema, por lapsos de tempo de diferentes escalas, constituindo reservas do sistema.

Classificação dos sistemas

Os sistemas podem ser classificados de acordo com vários critérios. Para análise geográfica, o critério funcional e o da complexidade estrutural são os mais importantes. Aqui, torna-se importante destacar a distinção entre sistemas isolados e sistemas não-isolados, segundo o critério funcional, proposto por Forster, Rapoport e Trucco, conforme Figura 2:



Figura 2 Diagrama de classificação de sistemas quanto ao critério de Forster, Rappaport e Trucco.

a) Sistemas isolados (Figura 3) são aqueles que, a partir das condições iniciais, a priori, não sofrem mais nenhuma perda nem recebem energia ou matéria do ambiente que os circunda. Exemplo: A concepção Davisiana do ciclo de erosão que se inicia pelo soerguimento brusco antes que os processos tenham tempo de modificar a paisagem. O ciclo começa com o máximo de energia livre devido ao soerguimento e, com o decorrer do tempo, os processos vão atuando e baixando o conjunto até que alcance o estágio final, quando a energia livre é diminuta; isso devido à quase uniformidade da área que foi aplainada em função do nível da base. A perspectiva em sistemas isolados favorece a abordagem dos fenômenos através do tratamento evolutivo e histórico, pois pode-se prever o começo e a sucessão das etapas até o final. (Christofolletti 1980)

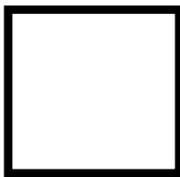


Figura 3 Representação de um sistema isolado

b) Sistemas não isolados mantêm relações com os demais sistemas do universo, podendo ser subdivididos em:

b.1) fechados (Figura 4), quando há permuta de energia (recebimento e perda), mas não de matéria com o meio externo. Exemplo: O planeta Terra pode ser considerado como sistema não isolado fechado, pois recebe energia solar e também a perde por meio de radiação para as camadas extra-atmosféricas, mas não recebe nem perde matéria de outros planetas ou astros, a não ser em proporção insignificante, quase nula. (Christofolletti 1980).

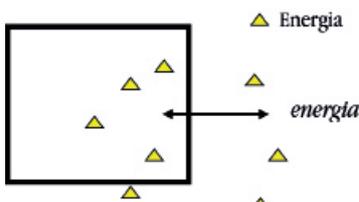


Figura 4 Representação de um sistema fechado

b. 2) abertos, mais comuns de todos são aqueles onde ocorrem trocas contínuas de matéria, energia e informação com o ambiente. Sistemas abertos tendem à adaptação, pois podem e necessitam de adaptar-se às mudanças ocorridas em seus ambientes de forma a procurar garantir a sua própria existência, a chamada homeostasia. Exemplo: A reserva Biológica de Sooretama.

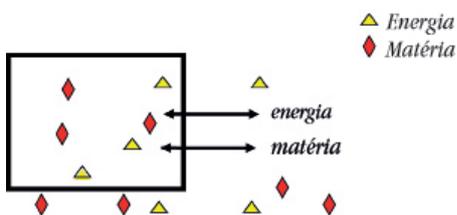


Figura 5 Representação de um sistema aberto

Hierarquia dos sistemas

O princípio básico do estudo de sistemas é o da conectividade. Pode-se compreender um sistema como um conjunto de elementos com um conjunto de ligações entre esses elementos; e um conjunto de ligações entre o sistema e seu ambiente, isto é, cada sistema se compõe de subsistemas, e todos são parte de um sistema maior, onde cada um deles é autônomo e ao mesmo tempo aberto e integrado ao meio, ou seja, existe uma inter-relação direta com o meio. Para ilustrar, o conceito de sistema pode ser aplicado a um número vasto de fenômenos diferentes: o sistema solar, o sistema acadêmico, o sistema hidrográfico, etc. Uma característica deles é que o todo é maior que a soma de suas partes, um fenômeno frequentemente chamado o princípio de sistema. Este princípio inclui as propriedades emergentes do sistema ou seus efeitos sinérgicos.

É preciso esclarecer que o meio ambiente é o conjunto de todos os objetivos, os quais, dentro de um limite específico, possam ter alguma influência sobre a operação do sistema. As fronteiras de um sistema são as condições ambientais dentro das quais o sistema deve operar. Geralmente, sistemas são partes de outros sistemas e são incluídos numa hierarquia de sistemas. Numa estrutura hierárquica, os totais de subconjuntos são regressivamente ranqueados como menores ou menos complexos unitariamente que o nível máximo. O menor nível de elementos constrói um subsistema que se torna estrutura de sistema que é uma parte de um supra-sistema superior, conforme verificado na representação esquemática de um arranjo dos sistemas, subsistema e supersistemas, representado graficamente como mostra a Figura 6.

Conforme reconhecida classificação de Chistofolletti (1980), com a qual nos alinhamos, o conjunto maior, no qual se encontra

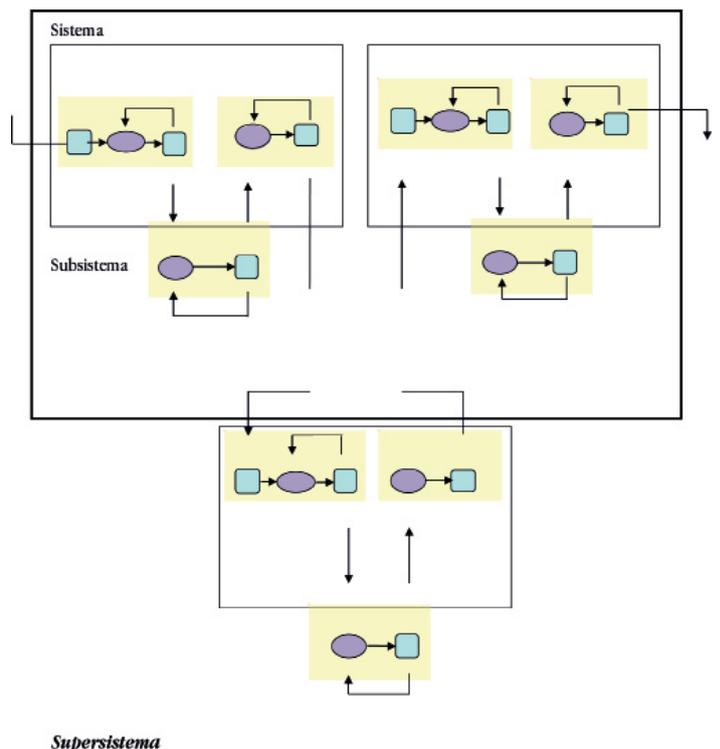


Figura 6 Representação esquemática de um supersistema, assinalando os sistemas e os subsistemas e suas relações.

inserido o sistema particular que se está estudando, pode ser designado universo, o qual compreende o conjunto de todos os fenômenos e eventos que, através de suas mudanças e dinamismo, apresentam repercussões no sistema focalizado, e também dos fenômenos e eventos que sofrem alterações e mudanças por causa do comportamento do referido sistema particular.

Nesse sentido, dentro do universo, a fim de classificação, deve-se lembrar que a saída de um sistema pode ser a entrada de outro, remetendo ao conceito de aproveitamento, eliminando redundâncias. Nessa mesma linha de raciocínio, o autor estabelece uma ordem classificatória dentro do universo, na qual considera os primeiros como sistemas antecedentes ou controlantes e os seguintes como sistemas subsequentes ou controlados. Porém, seria errôneo considerar um encadeamento linear, sequencial, entre os sistemas antecedentes, o sistema que está estudando e os sistemas subsequentes. O mecanismo de retroalimentação (feedback) permite que os sistemas subsequentes voltem a exercer influência sobre os antecedentes, numa perfeita interação entre todo o universo (Christofoletti 1980).

Nesse sentido, a escala tem grande importância quando se quer caracterizar os elementos de um determinado sistema. Para clarificar, daremos um exemplo: a Reserva Biológica de Sooretama que no caso, pode ser considerada um sistema, conforme ilustra a Figura 7. A vegetação é um elemento desse sistema da Rebio, mas também pode representar um sistema completo em sua unidade. Isso dependerá da escala que se deseja analisar. Nesse sentido, cada sistema passa a ser um subsistema (ou elemento) quando se procura analisar esse fenômeno em escala maior.

A noção de equilíbrio e a perspectiva sistêmica

Os sistemas naturais apresentam um dinamismo capaz de modificar seus estados através de contínuas modificações, que são caracterizadas pelas transferências de matéria e energia. Portanto, o estado de equilíbrio é um estado quase impossível de ser alcançado em qualquer sistema natural, uma vez que todos eles estão submetidos às transformações ambientais de diferentes escalas espaciais e temporais.

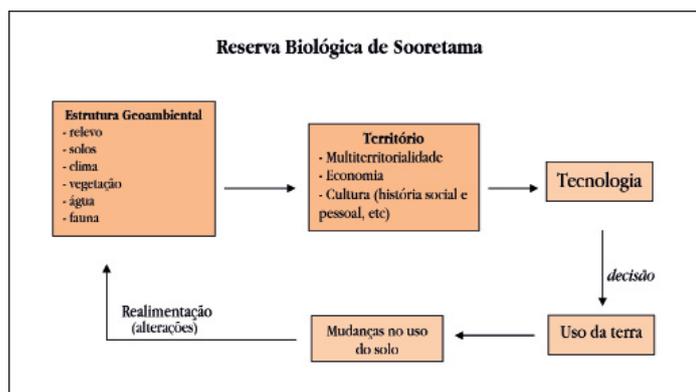


Figura 7 Representação da relação entre os elementos que compõem o sistema da Reserva Biológica de Sooretama.

Segundo Christofoletti (1980), qualquer alteração na permuta de energia com o meio ambiente coloca o sistema diante de três possibilidades: o nível de energia do sistema elevar-se-á no período seguinte; o nível de energia permanecerá constante; o nível de energia diminuirá. Acresça-se que, conforme as propriedades individuais dos subsistemas, uma mesma influência externa poderá ocasionar consequências diferentes. Nesse sentido, a entropia, aqui entendida como equilíbrio, estabilidade de energia atuante em um sistema, sofrerá consequentemente, alterações.

Desta maneira, poderíamos considerar que a abordagem da ciência dominante, observada sob o crivo da concepção de sistemas não mais encontra respaldo, já que os sistemas estudados compõem-se de organizações complexas que devem ser estudadas como um todo que não podem ser separadas em partes, sem que haja uma perda das suas características essenciais.

A partir dos apontamentos ao longo do texto, pode-se considerar que a contribuição da Teoria Geral dos Sistemas para a evolução da ciência geográfica, e particularmente para a Geografia Física, baseia-se no fato de suas ideias e aplicações terem reflexos no avanço das técnicas empregadas para os estudos que visam à análise integrada da paisagem.

Referências

- Bertalanffy LV (2008) **Teoria Geral dos Sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Petrópolis, Vozes.
- Bertrand C, Bertrand G (2002) **Une Géographie Transversière. L'environnement à travers territoires et temporalités**. Paris, Éditions Arguments.
- Bertrand G (1971) Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. In: **Caderno de Ciências da Terra**. São Paulo, Instituto de Geografia., USP.
- Bertrand G, Bertrand C (2007) **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá, Massoni.
- Ross J (2006) **Ecogeografia do Brasil: subsidio para planejamento ambiental**. São Paulo, Oficina de Textos.