

A bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais

Robéria de Medeiros Bonfim Siqueira & Gustavo Gonzaga Henry-Silva

Universidade Federal Rural do Semiárido – Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água.

E-mail: roberia_bonfim@hotmail.com

A bacia hidrográfica como unidade de estudo e monitoramento ambiental

A deterioração dos ecossistemas aquáticos continentais tornou-se uma preocupação mundial e tem levado pesquisadores e administradores de muitos países a buscar soluções de controle e preservação desses ecossistemas. Especificamente no Brasil, existe uma grande disponibilidade hídrica, com uma reserva de água doce de aproximadamente 12% do total mundial (MMA, 2003). Atualmente os ecossistemas aquáticos continentais estão sujeitos aos mais diversos impactos resultantes de atividades antrópicas, tais como, a construção de reservatórios para os mais diversos fins, atividades de recreação, turismo, navegação, irrigação, agronegócio, pesca, aquicultura e despejo de efluentes (Tundisi, 2006). Neste contexto, atualmente, vem-se adotando a bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, bem como de desenvolvimento econômico e social (Schiavetti & Camargo, 2002).

A bacia hidrográfica vem sendo utilizada como um modelo mais abrangente de conceituar e compreender os ecossistemas, visto que os ambientes aquáticos fazem parte de sistemas maiores, que envolvem os aspectos de geologia, vegetação, clima, uso e ocupação do solo, sendo formados por um mosaico de subsistemas funcionais interligados por processos bióticos e abióticos (Henry-Silva & Camargo, 2000; Smith & Petre Jr.; 2001; Schiavetti & Camargo, 2002; Brigante & Espíndola, 2003) e proporcionando condições para o desenvolvimento de estudos interdisciplinares, gerenciamento dos usos múltiplos e conservação (Tundisi, 2003).

A bacia hidrográfica envolve ainda componentes estruturais e funcionais, processos biogeofísicos, econômicos e sociais, tornando-se assim uma unidade ideal para integrar esforços de pesquisa e gerenciamento, por isso vêm sendo utilizada como instrumento de percepção ambiental e atuando como um laboratório experimental para o ensino (Tundisi & Schiel, 2002; Tundisi, 2003). Além disto, o monitoramento limnológico das bacias hidrográficas tem gerado indicadores sensíveis de interações e alterações dos sistemas. Neste

contexto, o monitoramento da qualidade da água é importante, pois ajuda a definir estratégias de utilização, gestão, controle e conservação (Cottingham & Carpenter, 1998). A avaliação dos impactos e a quantificação dos processos permitem o levantamento de indicadores que venham a promover ações de gerenciamento, o qual deve ser feito em torno de dois enfoques principais; a qualidade e a quantidade das águas superficiais (Likens, 2001; Tundisi, 2008).

Outros aspectos relevantes que qualificam a bacia hidrográfica como unidade de estudo e gerenciamento são: (i) desenvolvimento de parcerias e solução de conflitos (Tundisi & Tundisi, 1995); (ii) integração institucional, que é fundamental para o desenvolvimento sustentável; (iii) desenvolvimento de um banco de dados sobre os mais diversos componentes, sejam eles, econômico, social, físico e biológico (Tundisi et al., 1997); (iv) participação da população local, promovendo assim a conscientização e educação ambiental (Tundisi et al., 1997). É importante ressaltar, que atualmente novos paradigmas têm direcionado os estudos e manejo de bacias hidrográficas, incorporando os conceitos do Contínuo Fluvial (Vannote et al., 1980); do Pulso de Inundação (Junk et al., 1989); da Teoria da Espiral de Nutrientes (Elwood et al., 1985) e dos conceitos relacionados à Ecologia da Paisagem (Hansson et al., 1995; Thorp et al., 2006).

O funcionamento dos ecossistemas fluviais

Os ecossistemas fluviais se distinguem de lagos, represas e áreas alagadas por duas características básicas: (i) presença de corrente de água com movimento permanentemente horizontal e unidirecional em direção a foz e (ii) interação intensa com sua bacia hidrográfica. O ambiente lótico possui ainda níveis variados de descarga e parâmetros associados, tais como, velocidade da correnteza, profundidade, largura e turbidez, turbulência contínua e mistura das camadas de água e estabilidade relativa do sedimento de fundo (Silveira, 2004).

Atualmente é imprescindível a compreensão dos processos que estruturam e governam o funcionamento dos sistemas fluviais, visando aplicar estes conhecimentos básicos no planejamento de projetos, como por exemplo, a recuperação de ambientes aquáticos degradados por atividades antrópicas (Pereira, 2011). A compreensão de como a maioria dos ecossistemas são naturalmente regulados é um grande desafio, especialmente tratando-se dos ambientes lóticos, que são considerados sistemas abertos, cuja estrutura física sofre modificações ao longo do tempo e do espaço. Estes ambientes algumas vezes são erroneamente classificados como sendo um único canal de água corrente ou como um canal principal com uma área de várzea. No entanto, os rios tendem a ser estruturalmente

complexos, sendo compostos pelo canal principal, vários habitats de águas calmas (onde as correntes de água direcionais são mínimas ou inexistentes, exceto no período de chuvas), áreas de inundação, área de várzea e zonas hiporréicas (Thorp & Casper, 2002; Thorp et al, 2006).

De acordo com Ward (1989) existem quatro dimensões nas quais os sistemas fluviais estão submetidos e interagem. A longitudinal onde ocorre interação entre a cabeceira do rio e seus afluentes com o rio principal; a transversal ou lateral que é entre o canal do rio e sua área de várzea e a vertical entre o canal do rio e o lençol freático. O aquífero subterrâneo tende a funcionar como um reservatório de água para os rios, sendo que o tipo de interação entre o rio e as água subterrâneas depende de um conjunto de condições geológicas e geomorfológicas que influenciará no grau de exportação ou importação de água do rio. Além desta relação com o lençol freático, os rios podem possuir uma região abaixo da interface água-sedimento denominada zona hiporréica, que abriga uma fauna heterotrófica. A quarta dimensão provém da escala temporal que depende do organismo(s) de interesse e também do fenômeno a ser investigado, que vão desde o tempo necessário para provocar uma resposta comportamental ao tempo necessário para uma possível evolução. Esta escala é importante para compreendermos a estrutura e dinâmica das comunidades como também os impactos dos possíveis distúrbios.

As primeiras tentativas de lidar com a complexidade dos ambientes lóticos por meio de sua divisão em zonas específicas e longitudinalmente ordenadas se mostraram insustentável (Hawkes, 1975; Townsend, 1996). Posteriormente, o Conceito do Contínuo Fluvial (River Continuum Concept – RCC) proposto por Vannote et al. (1980) visualizou os sistemas lóticos como uma rede integrada e linear como um gradiente ecológico contínuo. O RCC baseia-se na ordem dos rios, no tipo de matéria orgânica particulada e no tipo de invertebrados bentônicos presentes. Este conceito considera que o sistema fluvial apresenta um gradiente contínuo de condições físicas, resultando em um contínuo de adaptações bióticas e em padrões longitudinais de carregamento, transporte, utilização e armazenamento de matéria orgânica. O RCC ressalta que os organismos e as características de cada região lótica evoluíram de acordo com as condições físicas e químicas determinadas pela geologia e geomorfologia da bacia e do canal fluvial, sendo que ocorre um ajuste das comunidades biológicas a este gradiente de condições para que toda entrada de energia seja utilizada eficientemente (Vannote et al., 1980).

O RCC teve e ainda tem grande impacto na limnologia fluvial, porém o conceito foi desenvolvido para rios naturais e para ambientes lóticos que não sofreram interferências

antrópicas já que os aportes pontuais e difusos podem perturbar o equilíbrio deste sistema e desviá-lo do modelo geral (Greathouse & Pringle, 2006). Além disto, as previsões do RCC para a importância da matéria orgânica derivada do “escoamento trófico” proveniente da cabeceira têm sido criticadas pela perspectiva da dimensão lateral proposta pelo Conceito do Pulso de Inundação (Junk & Wantzen, 2004) e, de um ponto de vista da produção autóctone, de acordo com modelo de produtividade em ecossistemas lóticos (Thorp & Delong, 1994, 2002).

Alguns outros conceitos e modelos têm sido propostos para explicar, em diferentes escalas espaciais e temporais, os padrões estruturais e funcionais da biocomplexidade dos ambientes lóticos, tais como a espiral de nutrientes (Newbold et al., 1982), interações entre rede fluvial e a planície terrestre (Junk et al., 1989; Montgomery, 1999; Gomi et al., 2002; Benda et al., 2004), descontinuidade serial e as interações com barragens (Ward & Stanford, 1983). Outros têm analisado processos operacionais em média e pequena escalas, envolvendo uma hierarquia de habitats pré-definidos (Frissell et al., 1986; Poff, 1997), o regime do fluxo (Poff et al., 1997; Thoms & Parsons, 2003; Lytle & Poff, 2004), perturbações gerais (Townsend et al., 1997), retenção costeira (Schiemer et al., 2001; Hein et al., 2005; Thoms et al., 2005), dinâmica de trechos (Pringle et al., 1988; Townsend, 1989) e o descontínuo de rios (Poole, 2002).

Montgomery (1999) concluiu que a perspectiva de continuidade só é válida para bacias hidrográficas com relevo pouco íngreme, clima relativamente homogêneo e geologia simples, enquanto que o Conceito de Domínios dos Processos (Process Domains Concept - PDC), baseado na importância das condições geomorfológicas locais e nos distúrbios da paisagem, é aplicável em bacias hidrográficas localizadas em regiões com relevo íngreme, clima variável e com geologia complexa. De fato, Estiliano (2006), estudando a bacia do rio Paraíba do Sul, encontrou um gradiente (não contínuo) dentro da bacia, uma vez que a bacia em questão é extensa e complexa, sendo ela formada por diversas unidades geomorfológicas. Camargo et al. (1996), estudando rios do litoral sul paulista, constataram que aspectos fisiográficos tais como altitude e geologia foram os principais fatores responsáveis pelas características limnológicas dos ecossistemas lóticos da bacia hidrográfica do rio Itanhaém, enquanto que em rios submetidos ao lançamento de esgotos orgânicos, a poluição foi o fator determinante das características físicas e químicas da água.

Ward e Stanford (1983) postularam o conceito da Descontinuidade Serial assumindo as suposições do RCC, ou seja, define a bacia como livre de poluição e outros distúrbios, exceto o represamento. O conceito é direcionando para bacias hidrográficas impactadas pelo

homem, abordando as consequências da introdução da descontinuidade no sistema fluvial, como é o caso da construção de barragens, em termos da estrutura das comunidades e processos ecológicos decorrentes. Desta forma a posição da atividade impactante ao longo do contínuo lótico, determinará a direção das alterações longitudinais dos processos bióticos e abióticos.

Outro conceito que visa ajustar alguns pontos falhos do RCC refere-se ao Conceito de Pulso de Inundação (Flood Pulse Concept - FPC), o qual foi baseado principalmente em observações feitas nos rios tropicais como o Amazonas. Junk et al. (1989) afirma que o pulso é gerado pelas características geomorfológicas e hidrológicas da bacia hidrográfica, e promove as trocas laterais entre o canal do rio e sua planície associada. Explica também que o ciclo e a extensão das inundações devem ser visto como uma força fundamental para substituir os padrões de fluxo longitudinal. Durante a época de cheia, ocorre a transferência dos nutrientes presentes no rio para a vegetação ripária, por sua vez a importação de nutrientes pelas enchentes favorece a produtividade primária. Enquanto as águas das enchentes recuam, os fluxos de nutrientes e partículas orgânicas tendem a voltar para o sistema fluvial associada com o aumento da biomassa. A vegetação terrestre se regenera enquanto as zonas úmidas marginais secam (Zamora-Arroyo et al., 2001). De acordo com Johnson & Richardson (1995) o Pulso de Inundação, assim como o Contínuo Fluvial (RCC) está focalizado em princípios naturais sem considerar as influências antrópicas, como por exemplo, a remoção da mata ciliar e o represamento que interrompem as condições imaculadas de um contínuo fluvial, proporcionando mudanças nos padrões previstos (Ta Fang, 2010).

Poole (2002) propôs que os rios são compostos de segmentos descontínuos onde a comunidade responde às características locais da paisagem fluvial e que uma comunidade dentro de um segmento não é necessariamente mais semelhante estrutural e funcionalmente com comunidades em segmentos adjacentes do que é de grupos localizados mais a montante ou a jusante. O conceito da Imparidade com o Descontínuo Fluvial assume que os rios são sistemas ímpares, isto é, únicos em estrutura e função na escala da bacia hidrográfica. A bacia é formada por manchas que são características de cada segmento (vegetação, sedimentos, fluxo, solo, etc.), e a dinâmica dessas manchas ao longo do sistema é que caracteriza o rio. Os tributários, além das barragens e outros empreendimentos, é um fator de interferência no gradiente longitudinal do rio, dessa forma, cada bacia possui seu próprio mosaico de manchas denominados de meta-estrutura, e um rio nunca seria um contínuo, pois as manchas se comportam de modo bastante desigual no contexto geral. De fato, Camargo e Henry-Silva

(2006), ao estudarem a comunidade de macrófitas aquáticas na bacia hidrográfica do rio Itanhaém no, litoral sul de São Paulo, constataram que apesar da bacia estar submetida a condições climáticas semelhantes, não existe uma homogeneidade física, química e biológica de seus ecossistemas lóticos, visto que as principais sub-bacias apresentam características geológicas e geomorfológicas distintas. Neste estudo o médio curso da bacia apresentou a maior riqueza de espécies, com a ocorrência de macrófitas exclusivas desta região, mas também com a ocorrência de espécies que eram mais abundantes nas regiões de alto e baixo cursos, sendo portanto considerada como um área ecotonal. Na região de alto curso, onde transparência da água era maior e as concentrações de nutrientes na água eram menores, ocorreram exclusivamente macrófitas aquáticas submersas (*Egeria densa* e *Cabomba furcata*), enquanto que na região de baixo curso foram identificadas apenas macrófitas aquáticas que possuem capacidade de sobreviver em ambientes com valores elevados de salinidade, tais como *Spartina alterniflora*, *Crinum procerum*, *Scirpus californicus* e *Hibiscus pernambucensis*. Ferreira & Petrere Jr. (2009), em estudo sobre zonação de peixes na mesma bacia hidrográfica, constataram que a distribuição dos peixes ao longo de um gradiente longitudinal na bacia é determinada pelas necessidades ecológicas de cada espécie de peixes e que os diferentes padrões de distribuição sugere a ocorrência de quatro zonas (manchas).

Thorp et al. (2006), ao abordarem a biocomplexidade em redes hidrográficas ao longo do espaço e do tempo, associaram o modelo da dinâmica hierárquica de trechos derivado de ecossistemas terrestres (Wu & Loucks, 1995) com a eco-geomorfologia (Thoms & Parsons, 2002) para propor o Riverine Ecosystem Synthesis (RES), que basicamente é uma síntese teórica do funcionamento de rios e riachos. Esta síntese se baseia na zonação das características hidrológicas e geomorfológicas, que seriam responsáveis por formar manchas hidrogeomórficas. As condições climáticas, declividade e conectividade do ambiente influenciariam estas manchas devido a modificação do transporte de água, sedimento, matéria orgânica e nutrientes. Estas manchas podem ser os canais anastomosados, braços de rios, lagoas conectadas ou não ao canal principal, baías, planícies alagadas, entre outros (Ferreira et al, 2010). As manchas hidrogeomórficas podem ser diferenciadas em relação as dinâmicas laterais, verticais, na produtividade do sistema, na velocidade em que ocorre a ciclagem de nutrientes e o transporte de matéria orgânica. Estas manchas servem de suporte para a definição das Zonas de Processos Funcionais (Functional Process Zones), que estão relacionadas com os seus mecanismos ecológicos.

Para facilitar a compreensão da integração dos conceitos do RES, Thorp et al. (2006) ressaltam que os ambientes lóticos possuem frequentes descontínuos nos padrões observados

ao longo das dimensões longitudinais e laterais e ressaltam ainda a importância dos padrões ecológicos locais ou regionais nas diferentes escalas temporais e espaciais. Os autores definem ainda a biocomplexidade como fenômenos estruturais e funcionais decorrentes das interações dinâmicas entre os elementos bióticos do ecossistema e entre esses componentes e o ambiente físico-químico. Dois princípios importantes para a compreensão do RES é que os ecossistemas lóticos possuem uma natureza de quatro dimensões (Ward, 1989) e que os rios são mais do que um único segmento passando por uma paisagem terrestre (Ward & Tockner, 2001).

Thorp et al (2006) utilizou o Modelo de Dinâmica Hierárquica de Manchas - Hierarchical Patch Dynamics Model (HPD) (Wu & Loucks, 1995; Wu, 1999) na tentativa de compreender melhor o funcionamento e a estruturação dos ecossistemas lóticos. Este modelo integra uma teoria geral da heterogeneidade espacial (dinâmica de manchas) com a teoria da hierarquia, expressando relações entre padrão, processo e escala em um contexto de paisagem. O termo "mancha" é definido como uma unidade espacial relativamente homogênea que difere em natureza e aparência de seus arredores. O tamanho da mancha é dependente da escala, dos organismos, e dos processos, podendo variar muito em tamanho e dimensão temporal (por exemplo, de uma única rocha a um segmento de rio ou uma área de várzea).

O modelo HPD é composto por cinco aspectos principais. O primeiro refere-se aos sistemas ecológicos como “uma hierarquia descontínua em um mosaico de manchas”. Esta característica permite identificar o papel das pequenas manchas (por exemplo, tipos de substrato) dentro de grandes manchas (como por exemplo, grandes Zonas de Processos Funcionais). As pesquisas iniciais realizadas em manchas relativamente pequenas focavam nas interações bióticas, tais como predação, competição e herbivoria e nos aspectos relacionados com a sucessão (Peckarsky, 1979; Fisher, 1983; Georgiano & Thorp, 1992). Por outro lado, existe outros trabalhos que consideram os organismos aquáticos como sendo influenciados muito mais pelas interações entre o ambiente físico e os padrões de fluxo de corrente (Power et al., 1995; Poff, 1997; Resh et al., 1998), o que resultaria em um mosaico de manchas dinâmicas que variam em composição, tamanho e fase de recuperação.

O segundo aspecto ressalta que a dinâmica dos sistemas ecológicos é derivada de um composto da dinâmica intra-manchas e inter-manchas. Essas interações entre as manchas produzem uma propriedade emergente dos ecossistemas lóticos que não é tão evidente quando se estuda as manchas de forma isolada. É importante ressaltar, que a estrutura e o funcionamento de um ecossistema em um dado momento são a soma dos processos

dinâmicos, determinísticos e estocásticos que ocorrem dentro e entre manchas de diferentes escalas espaço-temporais (Pickett & White, 1985). Além disso, as consequências de qualquer processo específico não serão reveladas em um sistema hierarquicamente organizado sem uma investigação no próximo nível mais alto, nem os mecanismos podem ser demonstrados sem se estudar um ou mais níveis abaixo do nível em que ocorreu o processo específico (O'Neill, 1988). Isto pode ser ilustrado pela dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas em rios, como por exemplo, ao avaliar a importância local de processos determinísticos com experimentos *in situ*, testando os efeitos da herbivoria por peixes sobre a densidade relativa das espécies de diferentes formas biológicas.

O terceiro aspecto do Modelo de Dinâmica Hierárquica de Manchas ressalta que os padrões e processos são interligados e dependentes da escala. Vários processos, como por exemplo, uma espiral de nutrientes, podem criar, modificar ou eliminar os padrões em escalas espaço-temporais, enquanto ao mesmo tempo, certos padrões espaciais e temporais (por exemplo, as diferenças nas características de fluxo) podem alterar substancialmente os processos ecológicos.

Já o quarto aspecto ressalta que as condições de não-equilíbrio e processos estocásticos desempenham um papel dominante na chamada "estabilidade do ecossistema". Ao longo do último quarto de século, houve uma mudança, em geral, na percepção de que os ecossistemas lóticos são dirigidos principalmente por forças estocásticas relacionadas às enchentes ou secas (Ward et al., 2002; Dodds et al., 2004). Alguns trabalhos mencionam que os processos estocásticos operam em largas escalas espaciais e temporais em sistemas lóticos, mas os processos de pequena escala, geralmente tendem a ser mais estocásticos e menos previsíveis (Wu, 1999). Por outro lado, a importância dos fatores determinísticos tende a estar mais relacionada a escalas espaciais menores, onde operam as interações predador-presa, parasita-hospedeiro e competição interespecífica. A evidência atual sugere que os fatores determinísticos são relativamente mais proeminentes em áreas de águas calmas, enquanto fatores estocásticos alcançam a sua maior importância em canais de água corrente, onde o estresse hidráulico é maior (Johnson et al., 1995; Thorp & Casper, 2003). Os processos determinísticos ainda podem contribuir significativamente para a regulação da comunidade dentro de uma determinada mancha, mas em uma escala hierárquica, processos estocásticos são mais importantes entre as manchas.

O último aspecto do HPD refere-se a um estado metaestável de quase-equilíbrio dos ambientes lóticos (Wu & Loucks, 1995; Thorp et al., 2006). É razoável questionar que estes ambientes podem nunca atingir o equilíbrio, pois são sistemas abertos sujeitos a grandes

variações hidrológicas nas mais diversas escalas temporais, o que introduz uma substancial estocasticidade dentro e entre os as manchas. No entanto, é teoricamente possível que um estado metaestável de quase-equilíbrio venha a desenvolver-se em um nível do ecossistema (Paine & Levin, 1981; O'Neill et al., 1989). Esta característica permite verificar semelhanças na riqueza de espécies, apesar da abundância relativa e densidade absoluta variarem de um período para o outro.

É importante ressaltar que os sistemas ecológicos são intrinsecamente complexos, e que é relevante levar em consideração a organização longitudinal das redes hidrográficas e a aplicação seletiva de um modelo de paisagem (hierarquia da dinâmica de manchas) como ferramentas para entender os sistemas lóticos. A compreensão dos processos que governam o funcionamento dos ecossistemas fluviais também é imprescindível para nortear o planejamento de projetos que possam minimizar os efeitos antrópicos sobre estes ecossistemas aquáticos.

Referências Bibliográficas

- BENDA L, POFF LR, MILLER D, DUNNE T, REEVES G, POLLCK M, PESS G. Network dynamics hypothesis: spatial and temporal organization of physical heterogeneity in rivers. *BioScience* 54: 413–427. 2004.
- BRIGANTE, J; ESPÍNDOLA, E.L.G. *Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu*. São Carlos: Rima, 278 p, 2003.
- CAMARGO, A.F.M.; FERREIRA, R.A.R.; SCHIAVETT, A.; BINI, L.M. Influence of physiography and human activity on limnological characteristics of lotic ecosystems of the south coast of São Paulo, Brazil. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 8: 231-243, 1996.
- CAMARGO, A.F.M.; HENRY-SILVA, G.G. Macrófitas aquáticas em ecossistemas lóticos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*. 35(1): 12-14, 2006.
- COTTINGHAM, KL; CARPENTER, SR. Population, community, and ecosystem variates as ecological indicators: phytoplankton responses to whole-lake enrichment. *Ecol. Appl.*, vol. 8, no. 2, p. 508-530, 1998.
- DODDS, W.K; GIDO K.; WHILES M.R.; FRITZ, K.M.; MATTHEWS, M.J. Life on the edge: the ecology of Great Plains prairie streams. *BioScience* 54:207–218, 2004.
- ELWOOD, J.W; NEWBOLD, J.D; O'NEILL, R.V; Van Winkkle, V. Resource Spiralling an Operational Paradigm for Analysing Lotic Ecosystem. pp 3-27. In: T.D. Fontaine & S.M. Bartell (Eds.) *Ann Arbor Science Publishers*. 1985.

- ESTILIANO, E.O. Influência da geomorfologia fluvial na distribuição espacial das assembléias de peixe do Rio Paraíba do Sul. Seropédica: UFRRJ, 2006. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.
- FERREIRA, F.C. & PETRERE JR. M. The fish zonation of the Itanhaém river basin in the Atlantic Forest of southeast Brazil. *Hydrobiologia*. 636: 11-34, 2009.
- FERREIRA, F.C.; SOUZA, U.P.; PETRERE JR. M. Zonação longitudinal da ictiofauna em ambientes lóticos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*, 38 (1):1-17, 2010.
- FISHER, S.G. Succession in streams. In *Stream Ecology: Application and Testing of General Ecological Theory*, Barnes JR, Minshall GW (eds). Plenum Press: New York; 7–27, 1983.
- FRISSELL, C.A.; LISS, W.J.; WARREN, C.E.; HURLEY, M.D. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* 10: 199–214, 1986.
- GALINKIN, M.(ed). *GeoGoiás 2002*. Goiânia. Agência Goiana de Meio ambiente,
- GEORGIAN, T.; THORP, J.H. Effects of microhabitat selection on feeding rates of net-spinning caddisfly larvae. *Ecology* 73: 229–240, 1992.
- GOMI, T.; SIDLE, R.C.; RICHARDSON, J.S. Understanding processes and downstream linkages of headwater streams. *BioScience* 52: 905–916; 47:107–119. 2002.
- GREATHOUSE, E.; PRINGLE, C.M. Does the river continuum concept apply on a tropical island? Longitudinal variation in a Puerto Rican stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 63:134-152, 2006.
- HANSSON, L; FAHRIG, L; MERRIAN, G. *Mosaic Landscape and Ecological Processes*. IALE Studies in Landscape Ecology 2, Chapman & Hall, London, 1995.
- HAWKES, H.A. River zonation and classification. In *River Ecology*, Whitton BA (ed.). Blackwell Science Publishers: Oxford, UK;312–374. 1975.
- HEIN T.; RECKENDORFER, W.; THORP, J.; SCHIEMER, F. The role of slackwater areas and the hydrologic exchange for biogeochemical processes in river corridors: examples from the Austrian Danube. *Archiv fur Hydrobiologie Suppl.* 155 (Large Rivers Vol. 15): 425–442. 2005.
- HENRY-SILVA, G.G; CAMARGO, A.F.M. Impacto do lançamento de efluentes urbanos sobre alguns ecossistemas aquáticos do município de Rio Claro (SP). *Revista Ciências Biológicas e do Ambiente*, 2(3): 317-330, 2000.

- JOHNSON, B.L; RICHARDSON, W.B. Past, Present, and Future Concepts in Large River Ecology. *Bioscience*, 45: 134-142, 1995.
- JUNK, W. J; WANTZEN, K. M. The flood pulse concept: New aspects, approaches, and applications—an update. In Welcomme, R. & T. Petr (eds), *Proceedings of the 2nd Large River Symposium (LARS)*, Pnom Penh, Cambodia. Bangkok. RAP Publication: 117–149. 2004.
- JUNK, W.J; BAYLEY, P.B; SPARKS, R.E.. The flood pulse concept in river - floodplain systems. *Canadian Fishery Aquatic Science*. In: Dodge, D.P. (ed). *Proceedings of the International Large River Symposium*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 106: 110-127, 1989.
- LIKENS, G. E. Biogeochemistry, the watershed approach: some uses and limitations. In: *Frontiers of Catchment Biogeochemistry*. CSIRO Land and Water, Canberra, Australia. *Marine and Freshwater Research*, 52 (1):5-12, 2001.
- LYTLE, D.A.; POFF, N.L. Adaptation to natural flow regimes. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 94–100. 2004.
- MARKENSTEN, H. Climate effects on early phytoplankton biomass over three decades modified by the morphometry in connected lake basins. *Hydrobiologia*, vol. 559, no. 1, p. 319-329, 2006.
- MINGOTI, S. A. *Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, águas subterrâneas, 2003. Disponível em: www.mma.gov.br, acesso em 15/07/2011.
- MONTGOMERY, D.R. Process domains and the river continuum. *Journal of the American Water Resources Association*, 36, 397-410, 1999.
- NEWBOLD, J.D.; O'NEILL, R.V.; EIWOOD, J.W.; VAN WINKLE, W. Nutrient spiraling in streams: implications for nutrient and invertebrate activity. *American Naturalist* 120: 628–652, 1982.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 421p, 1989.
- O'NEILL, R.V. 1988. Hierarchy theory and global change. In *Scales and Global Change*, Rosswall R, Woodmansee G, Risser P (eds). Wiley: New York.
- O'NEILL, R.V.; JOHNSON, A.R.; KING, A.W. A hierarchical framework for the analysis of scale. *Landscape Ecology* 3: 193–205, 1989.
- PAINE, R. T; SIMON, A. Intertidal Landscapes: Disturbance and the Dynamics of Pattern. *Ecological Monographs* 51:145–178. 1981.

- PECKARSKY, B.L. Biological interactions as determinants of distributions of benthic invertebrates within stony streams. *Limnology and Oceanography* 24: 59–68. 1979.
- PEREIRA, A. L. Princípios da restauração de ambientes aquáticos continentais. *Boletim da Associação Brasileira de Limnologia*, 39(2): 1-21, 2011.
- PICKETT, S.T.A.; WHITE, P.S. (eds). *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press: New York; 472. 1985.
- POFF, N.L. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 391–409. 1997.
- POFF, N.L.; ALLAN, J.D.; BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., POOLE, G.C. Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river continuum. *Freshwater Biology* 47: 641-660. 2002.
- POWER, M.E.; SUN, A.; PARKER, M.; DIETRICH, W.E.; WOOTTON, J.T. Hydraulic food-chain models: an approach to the study of food-web dynamics in large rivers. *BioScience* 45: 159–167. 1995.
- PRINGLE, C.M; NAIMAN, R.J; BRETSCHKO, G.; KARR, J.R; OSWOOD, M.W; WEBSTER, J.R; WELCOMME, R.L; WINTERBOURN ,M.J. Patch dynamics in lotic systems: the stream as a mosaic. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 503–524. (1988)
- RESH, V.H.; BROWN, A.V.; COVICH, A.P.; GURTZ, M.E.; LI, H.W.; MINSHALL, G.W.; REICE, S.R.; SHELDON, A.L.; WALLACE, J.B.; WISSMAR, R. The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 433–455. 1988.
- SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus, BA : Editus, 2002. 293p.
- SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus, BA : Editus, 2002. 293p.
- SCHIEMER F; KECKEIS H; RECKENDORFER W; WINKLER G. The ‘inshore retentivity concept’ and its significance for large rivers. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement* 135, *Large Rivers* 12: 509–516, 2001.
- SILVEIRA, Mariana Pinheiro. Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios / Mariana Pinheiro Silveira.-- Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 68p.-- (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 36). 2004

- SMITH, S.W; PETRERE, JR. Caracterização limnológica da bacia de drenagem do Rio Sorocaba, São Paulo, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 12: 173-186, 2001.
- TA FANG, W.E.I. River-Continuum and Flood-Pulse: Exploring Ecological and Hydrologic Concepts in Riparian-wetland. National Taiwan Museum Special Publication, nº. 14: 101-111, 2010.
- THOMS, M.C.; SOUTHWELL M; MCGINNESS, H.M. Water resource development and the fragmentation of floodplain river ecosystems. *Geomorphology* 71: 126–138. 2005.
- THOMS, M.C.; PARSONS, M. Eco-geomorphology: an interdisciplinary approach to river science. *International Association of Hydrological Sciences* 276: 113–120. 2002.
- THOMS, M.C.; PARSONS, M. Identifying spatial and temporal patterns in the hydrological character of the Condamine-Balonne River, Australia, using multivariate statistics. *River Research and Applications* 19: 443–457. 2003.
- THORP, J.H.; CASPER, A.F. Importance of biotic interactions in large rivers: an experiment with planktivorous fish, dreissenid mussels, and zooplankton in the St. Lawrence. *River Research and Applications* 19: 265–279. 2003.
- THORP, J.H.; CASPER, A.F. Potential effects on zooplankton from species shifts in mussel planktivory: a field experiment in the St. Lawrence River. *Freshwater Biology* 47: 107–119. 2002.
- THORP, J.H; THOMS, M.C.; DELONG, M.D. The riverine ecosystem synthesis: biocomplexity in river networks across space and time. *River Research & Applications* 22: 123-147. 2006.
- THORP, J.H; DELONG, M.D. Dominance of autochthonous autotrophic carbon in food webs of heterotrophic rivers? *Oikos* 96: 543-550. 2002.
- THORP, J.H; DELONG, M.D. The riverine productivity model: an heuristic view of carbon sources and organic processing in large river ecosystems. *Oikos* 70: 305-308. 1994.
- TOWNSEND, C.R. The patch dynamics concept of stream community ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 8, 36–50. 1989.
- TOWNSEND, C.R. Concepts in river ecology: pattern and process in the catchment hierarchy. *Archiv fur Hydrobiologie, Supplement* 113, Large Rivers 10: 3–21.1996.
- TOWNSEND, C.R.; SCARSBROOK, M.R.; DOLE, D.E.C.S. The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams. *Limnology and Oceanography* 42: 938–949. 1997.

- TUNDISI, J. E. M. Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para gestão integrada dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Médio Tocantins/ José Eduardo Matsumura Tundisi. – São Carlos. UFSCar, 152p, 2006.
- TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. Estud. av. São Paulo, v. 22, n. 63, 2008.
- TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T. “The Lobo-Broa: Ecosystem Research”, in: J. G. Tundisi; C. E. M. Bicudo; T. Matsumura-Tundisi (eds.). *Limnology in Brazil*. Brazilian Academy of Sciences, Brazilian Limnological Society, 1995.
- TUNDISI, J. G; SAIJO, Y. eds. *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Brazilian Academy of Sciences, EESC/USP, CRHEA, 1997.
- TUNDISI, J. G; SCHIEL, D. A bacia hidrográfica como laboratório experimental para o ensino de Ciências, Geografia e Educação Ambiental. In: Schiel, D.; Mascarenhas, S.; Valeiras, N.; Santos, S. A. M. (org.). *O estudo de bacias hidrográficas, uma estratégia para educação ambiental*. São Carlos, Rima, p. 12-17. Valeiras, N e Lozada, R. 2002.
- TUNDISI, J.G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos. Ed. Rima, 248p, 2003.
- VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E.. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130-137, 1980.
- WARD, J.V. The Four Dimensional Natures of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 8: 2-8, 1989.
- WARD, J.V; STANFORD, J.A. The serial discontinuity concept in lotic ecosystems. In: FONTAINE, T.D & BARTHELL, S. M., eds. *Dynamics of lotic Ecosystems*. Ann Arbor Scien. Publ., Ann Arbor. Michigan, 347-356, 1983.
- WARD, J.V.; TOCKNER K. Biodiversity: towards a unifying theme for river ecology. *Freshwater Biology* 46: 807–819, 2001.
- WARD, J.V.; TOCKNER, K.; ARSCOTT, D.B.; CLARET, C. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47: 57–539. 2002
- WU, J.; LOUCKS, O.L. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology* 70:439–466, 1995.
- WU, J. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing* 25: 367–380, 1999.
- ZAMORA-ARROYO, F. P.L; NAGLER, M. BRIGGS; D. RADTKE; H. RODRIGUEZ; J. GARCIA; C. VALDES; A. HUETE; E.P. GLENN. Regeneration of Native Trees in

Response to Flood Releases from the United States into the Delta of the Colorado River, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 49: 49-64, 2001.